



МИННО - ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ”
„МИННО-ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧЕН ФАКУЛТЕТ”
Катедра: „Електрификация на минното производство”

Професионално направление :

5.2 „Електротехника, електроника и автоматика“

маг. инж Николай Василев Савов

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ ПРИ
ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА БИОГАЗОВИ ИНСТАЛАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертационен труд за придобиване на образователна и
научна степен „ДОКТОР“**

Научни ръководители: проф. д-р инж. Ивайло Гинев Ганев
доц. д-р Ангел Георгиев Зъбчев

Научно жури :

Вътрешни членове за МГУ „Св.Иван Рилски“

1. доц. д-р инж. Илиян Христов Илиев – МГУ катедра ЕСЕО

Външни членове за МГУ „Св.Иван Рилски“

2. проф. д-р инж. Васил Димитров Димитров – ВТУ „Тодор Каблешков“

3. доц. д-р инж. Ивайло Стефанов Стоянов – ТУ Русе

4. доц д-р инж. Орлин Любомиров Петров – ТУ Русе

5. доц д-р инж. Христо Тодоров Ибришимов – ТУ Габрово

Резервни членове на Научното жури

доц. д-р инж. Валери Петров Гочев – МГУ

проф д-р инж. Цанчо Борисов Цанев – външен член

2022, София

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита в съответствие с Решение на Факултативният съвет на МЕМФ от 08.04.22г (Протокол № 26)

Дисертационният труд съдържа 142 (155 страници с приложенията). Състои се от увод, четири глави, заключение, списък на публикациите по труда, списък на използваната литература от 125 заглавия, от които 45 на кирилица и 80 на латиница. Броят на фигурите в основната част е 37, на графиките 14, а на таблиците 16 и 1 приложение (13 страници),

Номерирането на главите, фигурите, таблиците, формулите и цитираната литература и списъкът ѝ в автореферата съответстват на тази в дисертационния труд.

Публичната защитата на дисертационният труд ще се проведе на 30.06.2022 г. от 11:00 часа в зала 105, МТФ на МГУ „Св. Иван Рилски“

Материалите за защитата са на разположение на интересувашите се в Ректората на МГУ „Св. Иван Рилски“ ет.3

През 2009 г., лидерите на ЕС си поставят за цел, делът на възобновяемите енергийни източници в потреблението на енергия в ЕС да достигне 20% до 2020 г. През 2018 г., е поставена за цел, делът на възобновяемите енергийни източници в потреблението на енергия в ЕС до 2030 г. да достигне 32% [6].

Това е довело до насочване на вниманието върху контролиран анаеробен процес на биодegradация (биоразграждане) на органичните съединения, известен като метанова ферментация. Процесът води до получаване на т.н. биогаз, където основен компонент е метан (CH_4).

ЦЕЛ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Да се разработи механизъм за повишаване електроенергийна ефективност при експлоатацията на биогазови инсталации.

ОСНОВНИ ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Да се проведе задълбочен изследователски процес върху нормативните документи и стандарти в областта на енергийната ефективност и да се разработи критичен подход за недостатъците, и дефектите в съществуващата нормативна база. Въз основа на това да се формулират принципи и концепции за адекватни нормативни изисквания,

с насоченост в областта на електроенергетиката, отразяващи специфичните особености на ВЕИ, респективно на биогазовите технологии.

2. Да се проведат изследвания в реална когенерационна биогазова централа при различни технологични режими, да се моделират процесите на добив на биогаз и електрическа енергия и се набележат съществените фактори и условия за постигане на висока енергийна ефективност. В съответствие с това да се разработи алгоритъм, даващ възможност за постигане на оптимални енергийни характеристики и високи технико-икономически резултати.

3. Да се синтезира адекватна теоретична постановка, даваща възможност за точен анализ на електроенергийните характеристики на процеса на генерация на електрическа енергия. В постановката да бъдат застъпени най-тежките и сложни процеси възникващи в условията на експлоатация на биогазови централи, както при генерацията на електрическа енергия, така и при контрола и отчетността ѝ.

4. Да се проведат комплексни изследвания от технологичен и електротехнически характер в действаща биогазова централа, като се маркират диференцирано факторите, въздействащи върху технологичните режими и тези оказващи влияние върху електротехническите показатели. С помощта на разработената теоретична постановка и с използване на апаратурни способности да се даде количествена оценка на изследователският процес и се анализират резултатите от гледна точка на електроенергийната ефективност на централата. В изследването да се приложи детайлизиран подход, като отделно се анализират електротехническите характеристики на генериращият източник, контролно измервателните средства и трансфериращите съоръжения.

ПЪРВА ГЛАВА - АНАЛИЗ НА НОРМАТИВНИТЕ ДОКУМЕНТИ И СТАНДАРТИ, СВЪРЗАНИ С ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКАТА

1.1. Хронологична последователност на нормативните документи по енергийна ефективност в ЕС.

Енергийната ефективност е съществена част от политиката на Европейския съюз в областта на енергетиката, климата и икономическото развитие.

Възможните ключови действия, които могат да бъдат предприети са:

- Приемане на годишни планове за действие за енергийна ефективност на национално равнище;
- Предоставяне на гражданите на по-добра информация и подобряване на етикетирането на продуктите;

1.2. Хронология на националната законодателна дейност

През 1998 г. е приета „Национална стратегия за развитие на енергетиката и енергийната ефективност“. Тя си поставя дългосрочни цели за постигане на сигурно електроснабдяване, енергийна ефективност, опазване на околната среда и ядрена безопасност. [103]

В България е установена схема ЕЕО_s (Energy Efficiency obligations) с предварително одобрен списък от мерки. Във връзка с разработените от ЕС пътна карта (SEERMAD)за Югоизточна Европа, включително и България, до 2050 г. са разработени три сценария за българския електроенергиен сектор:

- Сценарий „Без цел“;
- Сценарий „Декарбонизация“;
- Сценарий „Забавена декарбонизация“.

1.3. Стандарти в областта на енергийната ефективност.

Процесът по стандартизация на управление на енергията се ръководи от Европейският комитет по стандартизация (СЕН). Стандартите за енергийни спестявания, енергийни обследвания и енергиен мениджмънт са в обхвата на Технически комитет 79 „Електроенергетика“ на Български институт по стандартизация (БИС).

1.4. Показатели за енергийна ефективност

Характеристиките за енергийна ефективност се разглеждат в две основни направления:

- Характеристики въз основа на разхода на енергия;
- Характеристики въз основа на породени вредни емисии.

1.5. Системи за производство на електроенергия и електроснабдителни системи /ЕСС/

В обхвата на електроснабдителните и електропреработващите системи влизат електрическите централи /електропроизвеждащи системи/,

електрическите подстанции, разпределителните мрежи на различни нива на напрежение

Въпросът за корекция на фактора на мощността е въпрос на оптимизация. Загубите в кабелите са пропорционални на квадрата на тока. Намаляването на общия ток в проводника с 10% например ще намали загубите с почти 20%.

Намаляване на хармоничните съставлящи

Хармониците на тока протичащи в разпределителните мрежи, предизвикват смущения в потока на електричеството. Качеството на електричеството се влошава, а ефективността на системата намалява.

Има три различни типа решения за намаляване на хармониците:

- Модификации в устройствата геериращи хармоници; I_v^2
- Специални устройства в захранващата система;
- Филтриране.

1.6.Критичен концептуален анализ и подход върху проблемите на енергийната ефективност в системите за консумация и генерация на електрическата енергия

Обстойното разглеждане на нормативните документи в областта на енергийната ефективност и техния задълбочен анализ дава основание да се формулират следните по-верни препоръки, напътствия и указания:

В тези широки сфери е необходимо да се обърне специално внимание на възобновяемите енергийни източници, като източници на енергия на бъдещето, още повече, че настоящите нормативни документи по енергийна ефективност са доста оскъдни по проблемите на рационалната им експлоатация.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ РЕЗУЛТАТИ КЪМ ПЪРВА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. В международните и националните нормативни документи понятието „електроенергийна ефективност“ не е дефинирано, като специална категория, свързана с електроенергийното обследване. Не съществува терминология, специфични показатели, изчислителни процедури и методически постановки за оценка на електроенергийната ефективност /ЕЕЕф/.
2. Електроенергийната ефективност е хубаво да се дефинира и регламентира, като самостоятелна енергийна категория, като се

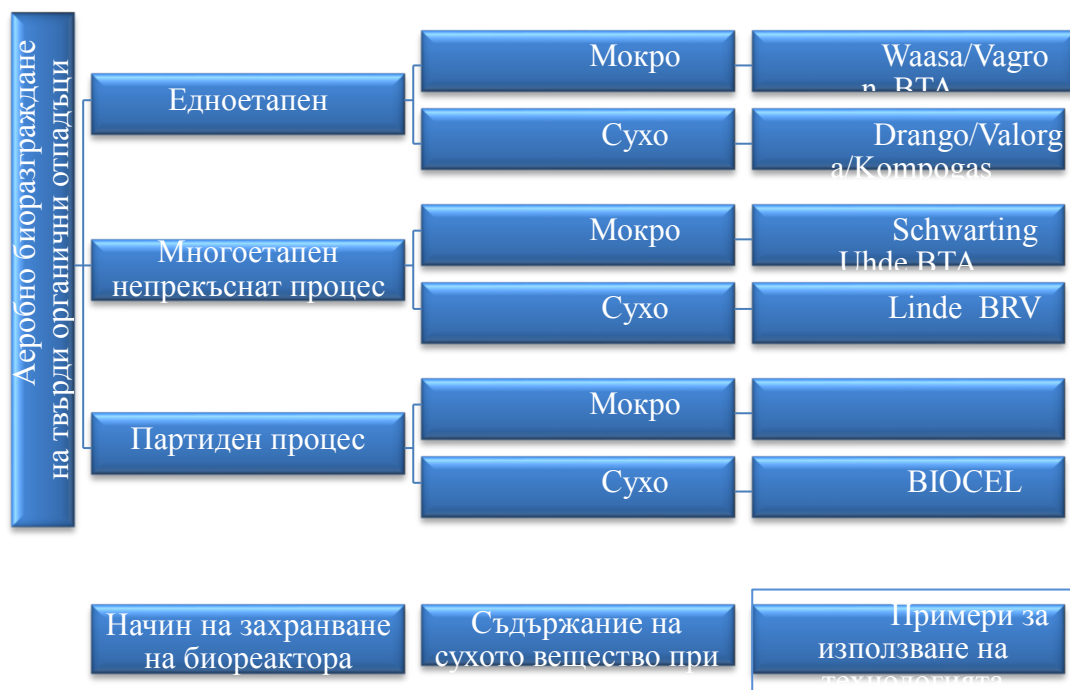
маркират и формулират основни параметри, характеристики и критерии, отразяващи по правилен начин природата и физическата същност на електроенергийните процеси и явления. Методите за оценка на ЕЕЕф трябва да дават възможност да се формулират оптимизационни задачи по различни критерии, които да отразяват влиянието на загубите на мощност и електрическа енергия, показател за качеството на електрическата енергия и др. енергетични показатели върху параметъра на оптимизация.

3. Енергийната ефективност в областта на ВЕИ, трябва да отчита специфичните особености на генериране на ел.енергия, свързани с нейното качество, регистрираните активни загуби на мощност, надеждността и устойчивостта на генериращите източници, а също така и възможностите за регулиране, управление и оптимизация на количествата електрическа енергия в условията на либерализиран и балансиран пазар. Това в пълна степен се отнася и за биогазовите централи, въпреки техните неголеми мощности. Необходимо е разработването на адекватно нормативна база за електроенергийна ефективност, чрез която да се осъществява нормативно уредено регулиране на електрическите параметри на централите при взаимноизгодни условия, както за доставчика на ел.енергия, така и за оператора.

ВТОРА ГЛАВА- ПРИНЦИПИ НА ИЗГРАЖДАНЕ, ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕНОСТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА БИОГАЗОВИ ИНСТАЛАЦИИ

2.1. Общи принципи на изграждане и видове биогазови инсталации

Производство на електроенергия от възобновяеми източници води до повишено търсене на анаеробни биореактори за твърди органични отпадъци. През последните две десетилетия са разработени няколко типа индустриални инсталации, които се предлагат на пазара. На Фигура 2.1 са изобразени наличните технологии за анаеробно разлагане на органичен твърд отпадък. По-подробно са разгледани следните типа процеси:



Фигура 2.1. Налични технологии за анаеробно разлагане на органичен твърд отпадък.

Разгледани се различни видове системи и процеси :

Система „BIOCEL”

Процес „DRANCO”

Система „VALORGA”

Система „KOMPOGAS”

Процес „WAASA”

Процес „BTA”

Процес „SCHWARTING-UHDE”

Процес „LINDE-BRV”

Анализ на възможностите за използване на ултразвук

Технологиите, свързани с анаеробното разлагане на органични субстрати, непрекъснато се развиват за да се повиши ефективността на производството на биогаз. Използването на методи за дезинтеграция на органични субстрати, би подобрило ефективността на производството на газ. Потенциалът на отпадъци подлежащи на биологично третиране е сериозен и ефективното им използване дава перспектива за получаване на важен възобновяем енергиен носител под формата на биогаз, богат на метан. Ултразвукова дезинтеграция може да играе специална роля при предварителната обработка на субстрати, подложени на метанова ферментация. Предварителната обработка на входящия материал с ултразвук има положителен ефект върху наличието на анаеробни

съединения, освободени от клетъчните структури на микроорганизмите. Физическите методи са най-честите в процеса на предварителна дезинтеграция. Бързото освобождаване на енергия по време на декомпресия води до разрушаване на структурата на клетките, подложени на дезинтеграция [122]. Ултразвукова обработка води до увеличаване на производството на биогаз от 10% до 24% [60]. Фактори, които влияят са и тези, които характеризират ултразвуковото излъчване, т.е. честота, мощност, интензитета и времето на обработка.

2.2. Критичен анализ на биогазовите инсталации и възможности за подобряване на енергийната ефективност

През последните години има негативно отношение към ВЕИ. Основно, защото се изграждат отделни - соларни, вятърни, водноелектрически централи и централи работещи на биогаз. Това поставя енергийната система пред риск да има нужда от енергия и точно тогава ВЕИ да не могат да я подадат.

При изграждане на комплекс от соларна и биогаз централа, може да се използва голяма част от соларната енергия за отопление и поддържане на необходимия температурен режим на биореактора, а произведеният биогаз да се съхранява и да се пуска да работи КТЕЦ, когато няма слънце през нощта или през върховите моменти на консумация. По този начин се постига своеобразен студен резерв.

Възможности за подобряване на енергийната ефективност на биогазовите инсталации

Разгледани бяха различните алтернативните варианти при избора на биореактор. Изведе се като най-надеждно за случая следните технологични решения:

- Изграждат се три биореактора, с мокра ферментация, проточен тип;

- Изборът на броят на реакторите се определя от следните фактори:

Осигуряване на работа на част от ферментаторите при пълно натоварване, в периодите на намелено количество входящ отпадък;

Подгръване на материала през зимните месеци с по-малко разходи за електрическа и топлоенергия, когато се очаква и по-малко количество входящ отпадък;

Оптимизиране поддържането и ремонтиране оборудването на биореакторите;

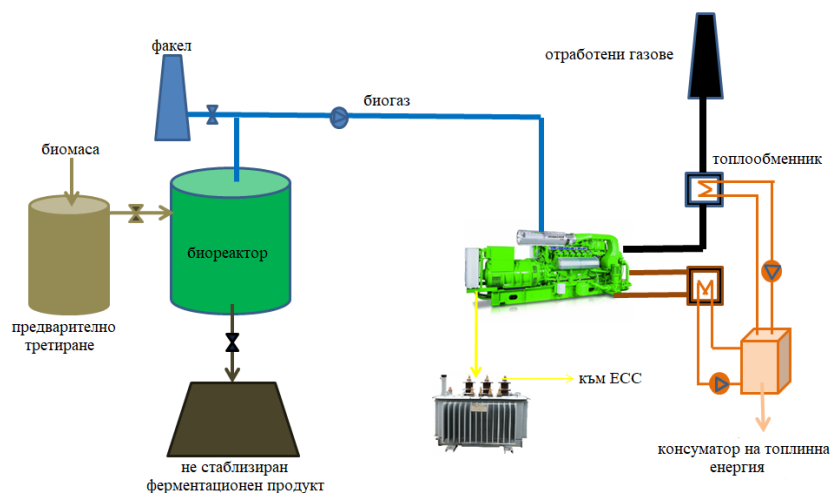
- Намаляване на загуби при рецептурни проблеми в даден реактор;

- Получаване на дебит на биогаз с по-малки колебения.

Биореакторите са разположени в близост един до друг, като пространството над тях е покрито и изолирано за намаляването на топлинните загуби.

Когенерация с биогаз

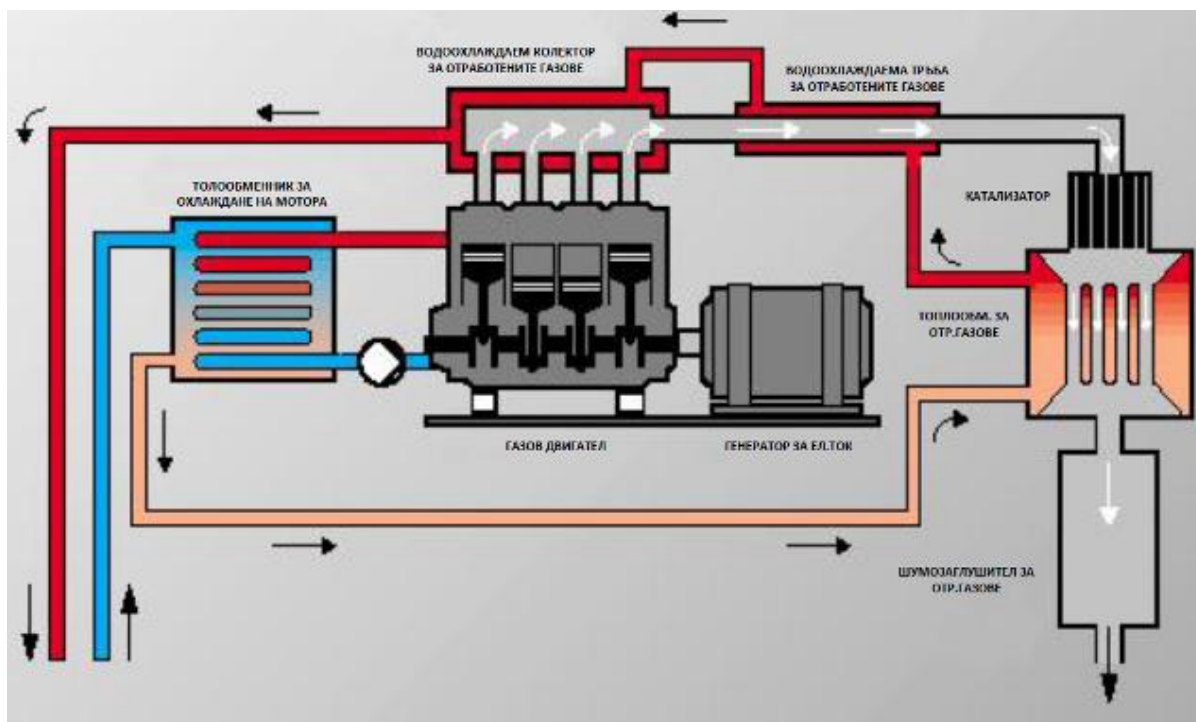
Принципна схема на когенерационна централа работеща на биогаз е показана на Фигура 2.8



Фигура 2.8. Схема на когенерационна централа работеща на биогаз

Стремежът е да се повиши коефициентът на електрическата ефективност, защото в повечето случаи електроенергията се реализира полесно и при по-добри условия, като енергия от ВЕИ. Поради тази причина е предложено в този дисертационен труд да бъде осъществена колаборация между две по принцип независими генериращи инсталации. Инсталация за анаеробно разграждане на биоотпадъци и инсталация за производство на електрическа енергия от Слънцето. Двете инсталации се допълват и позволяват акумулиране на биогаз, който да може да бъде реализиран при нужда.

При метода на комбинирано производство на два или повече вида енергия, може да се отчете ефективност около 80-90%. Обикновено получената топлинна енергия е с 1/3 повече от генерираната ел.енергия. На Фигура 2.9 е представена принципна схема на когенератора:



Фигура 2.9 Принцип на работа на когенератор [110]

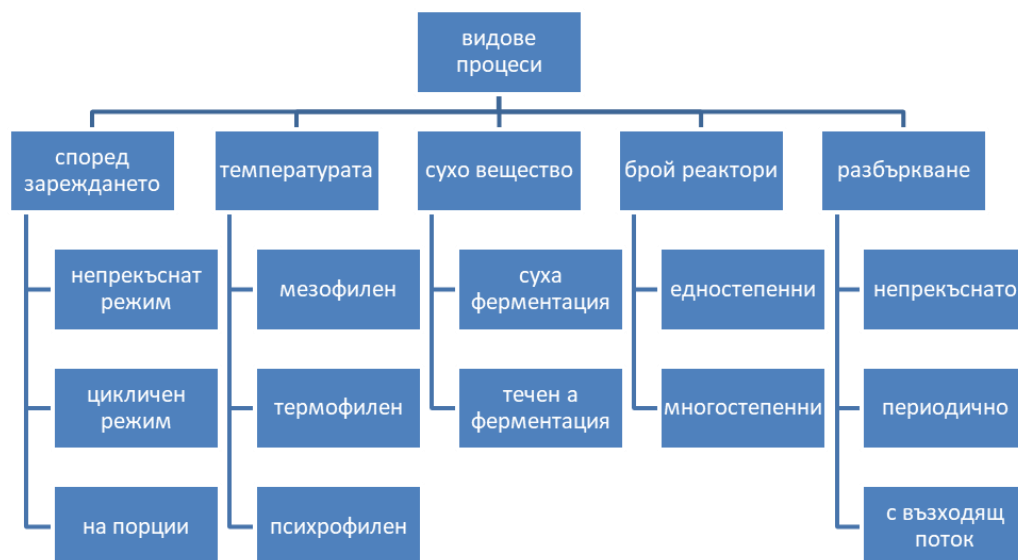
Когенераторната система включва три функционално свързани помежду си модула - двигател с вътрешно горене, електрически генератор и топлообменници за отвеждане на отделяната топлина.

Топлинната генерация се извършва на две температурни нива. Теплообменниците, свързани към охлаждането на блока и маслената система на двигателя, от тези два топлини източника се получава топлинна енергия на ниво 80-90°C

При изграждане на комплекс от соларна и биогаз централа, може да се използва голяма част от соларната енергия за отопление за поддържане на необходимия температурен режим на биореактора, а произведените биологичен газ да се съхранява и да се пуска да работи КТЕЦ, когато няма слънце през нощта или през върховите моменти. По този начин се постига своеобразен студен резерв.

2.3 Основни параметри оказващи влияние върху енергийната ефективност на биогазовите инсталации

В литературата [45,46,52,57,61] могат да бъдат намерени различни основни категории параметри: експлоатационни, които могат да се определят чрез измерване и такива, които могат да се пресметнат въз основа на измерените данни. Биогазовите инсталации имат различни конструкции и процесите на анаеробно разграждане са разработени в различни варианти(Графика 2.3).



Графика 2.3.Класификация на биогазовите инсталации

Процесите на анаеробно разграждане могат да бъдат класифицирани в зависимост от съдържанието на сухо вещество (TS) в субстрата, както и по броя степени на реакторите. Материалът в реактора се разбърква с бъркалки или хидравлично. Концентрацията на сухата маса (SM) в реактора е <12 - 15% от отпадъците. Водното съдържание е >85%.

Влияние на суровинния материал при добив на биогаз и качество

Състава на биоразградимите отпадъци оказва съществено влияние на протичането на процеса на анаеробно разграждане.

При биоотпадъците, например, които представляват смес от кухненски и градински отпадъци, се наблюдава среден добив на биогаз от приблизително 120 m³/t отпадъци.

Съществено влияние оказва и предварителната подготовка на суровинния материал чрез раздробяване и разбъркване върху добива и качеството на биогаза, от където се влияе и количеството произведена електрическа енергия

Въздействие на хидравличното време на задържане при добива на биогаз

Производството на електроенергия е пряко свързано с добива на биогаз, а той с хидравличното време на задържане и скоростта на растеж/възпроизвеждане на анаеробните микроорганизми, които да нарастват при мезофилни условия.

Времето за продължителността на престой на хранителния субстрат в реактора, се изчислява, като отношение на обема на биореактора, количеството и състава на подаваната биомаса за денонощие. Развитието на бактериите и разграждането на органичната материя зависят от

температурата, условията и характеристиките на преработвания биоотпадък. Важен параметър за определяне на размерите на биореактора е хидравличното време на престой (HRT).

Време на задържане на сухо вещество - СВ

В това отношение органичният товар е важен експлоатационен параметър, който показва какво количество суха органична материя може да бъде подадено в биореактора за един кубичен метър обем и единица време

При биореакторите със задържане или връщане на биомасата, времето на задържане на СВ може да превишава хидравличното време на задържане неколккратно, в резултат на което може да се постигне същата степен на преобразуване на СВ в газ при значително по - малък обем на биореактора.

Теоретично определяне на най-подходящи показатели за осигуряване на електроенергийна ефективност при експлоатацията на биогазовите инсталации

Третирането с ултразвук повишава добива на биогаз, но и увеличава консумацията на електроенергия. Това налага да се направи енергиен баланс. В следствие на ултразвуковото третиране на царевичен силаж, кавитацията, предизвикана от ултразвук, причинява повишаване на локалната температура (до 5000°K) и налягане (до 1000 atm), и образуване на струйни потоци (113). Необходима е допълнителна енергия, тъй като положителният енергиен баланс е ключово условие за осъществимостта на обработката.

Математическо моделиране на процесите за постигане на максимална електроенергийна ефективност при експлоатацията на биогазовите инсталации. Математически модел на „Buswell“

Класификация на моделите

Най - общо математическите модели на процесите могат да се разделят на структурни и неструктурни, според това дали включват микробния метаболизъм или не [4].

Основни модели на анаеробната биодегradация.

Развитието на математическото моделиране в областта на анаеробната биодегradация на органични отпадъци [61] с изграждане на т.н. динамични модели от Hill & Barth [62, 63]. По-късно се оформят три основни тенденции в моделирането на анаеробните процеси.

Първата е свързана с разработения от Hashimoto et al. [64, 65, 66, 67, 68, 69] неструктурен, несегрегирен модел, основан на кинетични уравнения от типа Monod или Contois, изследващи влиянието на

температурата и концентрацията на субстрата върху стойностите на специфичната растежна скорост μ .

Втората главна тенденция е свързана с предложения от Hill [70, 71, 72] неструктурен, сегрегирен модел, включващ шест уравнения и десет параметъра, вземащ под внимание два различни типа биомаса-ацидогенни и метаногенни бактерии.

Последната-трета тенденция, е свързана със структурния, сегрегирен модел на Angelidaki et al. [73, 74], изграден на база четири реакции: ензимна хидролиза, ацидогенеза, ацетогенеза и метаногенеза.

Понастоящем най-широко разпространение са получили динамичен тип модели на метановата ферментация. За даден класически биотехнологичен процес, какъвто е метановата ферментация динамичният растеж на една популация микроорганизми върху единичен лимитиращ субстрат в CSTR

Модели, описващи по - сложни реакционни схеми

Към тази група принадлежат модели, основани на по-задълбочени биохимични и микробиологични проучвания, включващи редица диференциални и алгебрични уравнения.

Избор на модел, предимства и недостатъци - ADM1 (Anaerobic Digestion Model № 1)

От множеството известни модели на процесите на анаеробно разграждане, най - широко приложим и обхващащ всички съществени параметри на процеса е разработения от IWA Task Group модел ADM1 (Anaerobic Digestion Model Nr.1). Това е моделът [151,152,119], разработен от IWA (International Water Association). В структурата му влизат 19 диференциални уравнения и 7 микробни биомаси. Моделът се базира на 5 - стадийна реакционна схема, включваща дезинтеграция, хидролиза, ацидогенеза, ацетогенеза и метаногенеза.

Ефективност на биохимичните процеси

За ефективността и стабилността на процесите може да се съди индиректно по следните показатели:

Съдържанието на метан в биогаза е добър индикатор за стабилност (125). Тъй като ниската метаногенна активност е ключовият фактор, водещ до дисбаланс, намаляването на съдържанието на метан е ключов показател за работата на биореактора и от там производството на електрическа енергия и е използван, като показател за текущ контрол.

Изчисление на очакваното производство на биогаз

Енергийната и инвестиционна ефективност при оползотворяването на торовата маса зависи главно от количеството на произвеждания биогаз и неговата енергийна калоричност.

Стойностите на максимално възможно анаеробно разлагане (V_0) на животинска тор са в границите $0,32 - 0,48 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ за килограм ЛСВ.

Запълването на биореактора се смята за оптимално, когато обемът на торовата маса се поддържа в граници $0,85 - 0,93$ от обема на биореактора. Тогава и λ и μ ще има оптимални стойности, което означава че най-пълно се използва обема му.

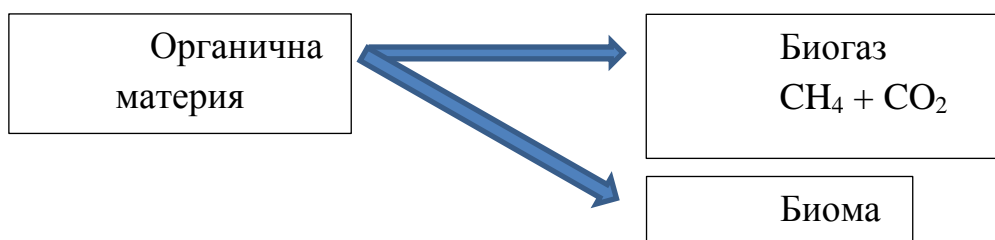
Затова алгоритъмът за изчисляване не е еднозначен, а алтернативен, което налага използването на специализиран софтуер.

Оптималните температури са 35°C и 56°C . При тях се отделя най-голямо количество метан и съответно V има най-големи стойности.

Математически модел на „Buswell“

Анаеробно разлагане и получаване на енергия [109]

Изчисление на количеството въглерод в анаеробни ферментатори

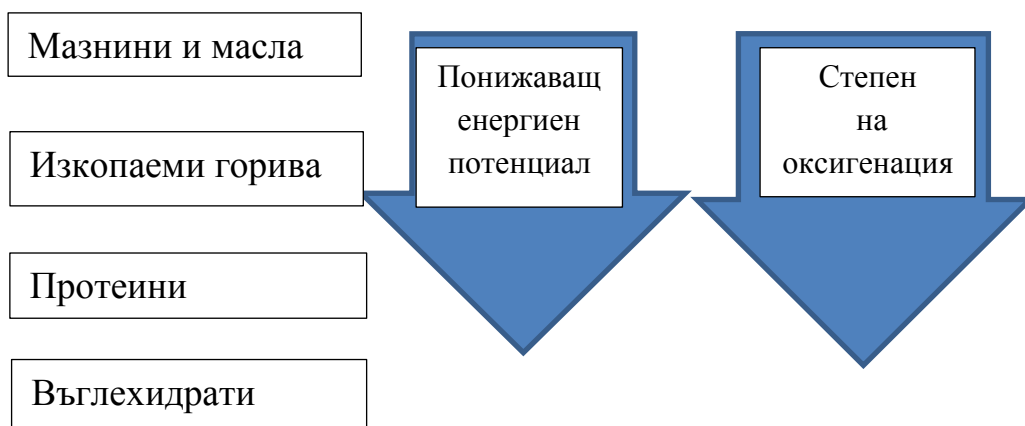


Енергиен еквивалент

CO₂ Окислен въглерод - без енергийна стойност

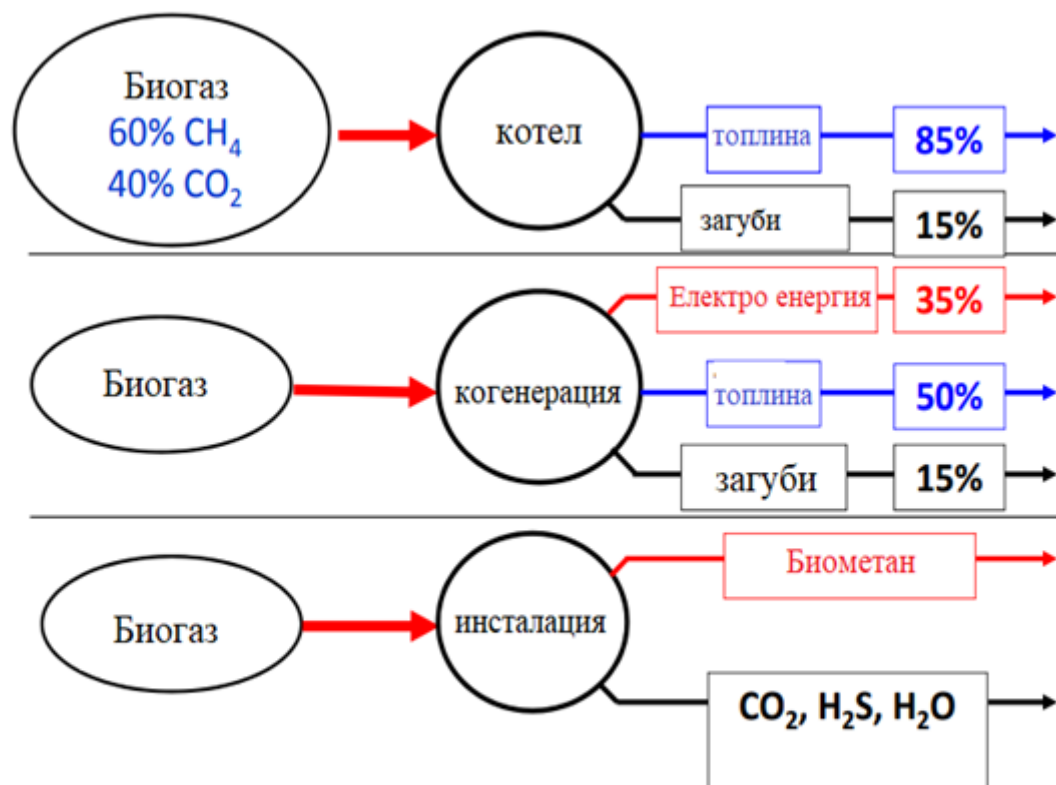
CH₄ Редуциран въглерод - с енергийна стойност

Енергиен потенциал на материалите



Измерване на енергийни стойности

- Калориметрията е изследване на промяната на енталпията (енергията) – обикновено се обозначава, като ΔH ;
- Разчита се главно на откриване на промяна на температурата;
- Съществуват много видове калориметри за различни цели;
- При измерване на енергийния потенциал на материалите, които подлежат на обработка в енталпията на горене или калоричността (CV) на материала



Графика 2.4 *Различни варианти за оползотворяване на биогаз*

Предполага 100% разграждане на подаденият субстрат. Използва се уравнението на „Buswell“, за да се изчисли теоретичния състав на биогаза и да се продължи, да се прилага въглероден баланс за изчисляване на специфичния метан в химическа композиция [109]

Теоретичен - Метод

- Съдържанието на въглерод в силажния материал може да се използва в комбинация с уравнението на Buswell за оценка производството на метан
- Прави се оценка каква част от материалът (силаж) се разгражда в процеса
- Базира се на типични стойности за различни материали
- C₄₅₀ H₂₀₅₀ O₉₅₀ N₁₂ S₁

От уравнението на Buswell : 53% от CH_4 ; 47% от CO_2 ,

Стъпки за оценка на добива на газ и енергия:

Изчислява се въз основа на съдържанието на въглерод в отпадъците

Въглероден баланс

- 4 gVS съдържа 0,5 g въглерод, от който 75 % е разграден = 0,375 gC / gVS

- 58,4% от въглерода се превръща в метан = $0,375 * 0,584 = 0,219$ gC / gVS

- 0,219 gC е $(0,219 / 12) = 0,01825$ mols C и 1 мол от C \equiv 1 mol CH_4 , така че 1gVS произвежда 0,01825 mols на метан

- 1 mol газ заема 22,4 L при STP => 0,01825

моловете заемат $(0,01825 * 22,4) = 0,408$ L.

Специфичното производство на метан = 0,408 l / gVS

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ВТОРА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯТ ТРУД

1.Разгледани са съвременни биогазови инсталации, принципа им на действие според различните технологии за анаеробно разлагане, анализирани са различни технически системи, като са маркирани предимствата и недостатъците им. Посочени са положителните страни на ултразвуковата дезинтеграция и нейната ефективност за подобряване на скоростта и ефективността на метановата ферментация. Тези постановки обуславят възможността за разработване на основните стратегически насоки за развитие на биогазовите инсталации по критерий електроенергийна ефективност.

2. Разработен е критичен подход за анализ на недостатъците на този перспективен за страната възобновяем източник. Изследвани са възможностите за подобряване на енергийната ефективност, чрез оптимизиране на биореакторите и системите за изгаряне на произведения биогаз, а също са анализирани и възможностите за използването му в транспорта и когенерацията. Такъв комплексен подход е с висока степен на адекватност , значимост и обосновааност и създава условия за изграждане на биогазови инсталации с висока електроенергийна ефективност.

3. В теоретичен аспект са получени параметрите и характеристиките, оказващи най-силно влияние върху енергийната

ефективност на биогазовите инсталации. Обърнато е внимание на влиянието на качеството на субстрата за добива на биогаз, респективно на електроенергия. Изследвано е въздействието на различните технологични времена, влиянието на температурата, обработката на суровината с ултразвук и реагенти. Съставен е математически модел, обхващаш параметрите на анаеробната биодеградация, а също и на прецизни модели базирани на по сложни микробиологични процеси. Ефективността на моделите е определена чрез оценка на съдържанието на метан в биогаза, като за целта са приложени научно обосновани теоретични постановки . С помощта на подробно разгледаният модел на „Buswell” е прогнозирано очакваното производство на биогаз и ефективността на електрическото преобразуване.

ТРЕТА ГЛАВА – ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА РАЗЛИЧНИ ТЕОРЕТИЧНИ ИНСТРУМЕНТАРИУМИ ЗА ОЦЕНКА НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА БИОГАЗОВИ ИНСТАЛАЦИИ

3.1. Теоретично-практични подходи за определяне мощността и генерираната ел.енергия на биогазови инсталации

Произведената електроенергия от биогазовите инсталации обикновено е на ниско напрежение (НН) 0,4 kV и за пренасянето ѝ с малки загуби на мощност е необходимо да бъде трансформирана на по-високо напрежение (6,10,20kV). По настоящем когенерационните централи, работещи на биомаса, биогаз и биогорива с мощност до 10 MW, задължително се свързват към преносната и разпределителната мрежа, като продават електрическата енергия на преференциални цени.

Диференциалната мощност D се състои от произведения на напрежените и токовете хармоници с различни номера \mathcal{V} . В съответствие с това , в [15] се предлага деформационната мощност D да се определи с помощта на израза:

$$D = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_0^T \sum_{\nu=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} [U_{\nu}(t) \cdot I_j(t) - U_j(t) \cdot I_{\nu}(t)]^2 dt} \quad (3.8)$$

където :

T – разглеждан времеви интеграл при текуща стойност;

\mathcal{V} и j – различни номера на хармоничните съставлящи на U и I .

Реактивната мощност в [15] се определя по аналогичен начин с израза (3.5), като реактивните потоци на различните хармонични

съставящи могат да имат различни посоки т.е в даден момент от времето реактивният поток на една хармонична съставяща може да е насочена от генериращия източник към товара (мрежата), а реактивният поток на друга хармонична съставяща да е в обратна посока – от товара (мрежата) към източника (генератора) Следователно под мощност на генериращия източник (конвенционален или ВЕИ), се разбира пълната мощност S , която създава активната мощност P , реактивната мощност Q и деформационната мощност D

Ако основните хармоници на тока $I_{A_1}, I_{B_1}, I_{C_1}, I_{N_1}$ се разложат на съставящи с права обратна и нулева последователност, за D се получава израза:

$$D^2 = [S^2 + N^2 + (3n+1) \cdot S_0] \frac{k_n^2}{1-k_n^2} \quad (3.13)$$

където:

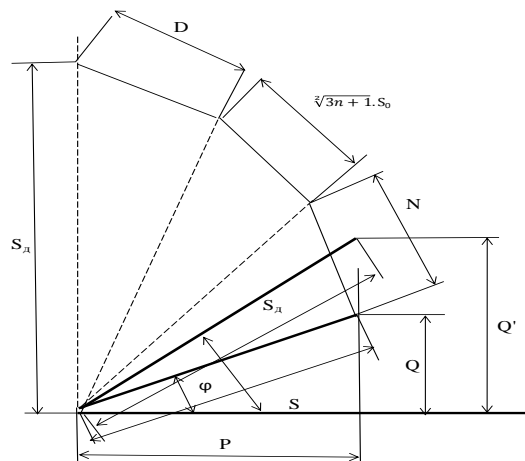
$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ пълна мощност при симетричен и синусоиден режим, пулсираща мощност;

S_0 – скрита мощност на системата генератор – мрежа.

Указаните мощности могат да се определят от мощностната диаграма представена на фиг.3.1 и от изразите :

$$D = K_n S_d = K_n \sqrt{P^2 + Q^2 + N^2 + (3n+1)S_0^2 + D^2}$$

$$N = \varepsilon_i \cdot S = \varepsilon_i \cdot \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.14)$$



Фигура 3.1 Структура на пълната мощност S

Горните изрази показват, че пълната мощност при не симетрична и несинусоидна система S_d се описва със значително по сложен израз от пълната мощност S при напълно симетрична и синусоидна система.

От израза (3.14) и фигура 3.1 следва, че пренасянето на активната мощност P в електрическите мрежи се съпровожда не само с наличие на реактивна мощност Q , но и на пулсираща мощност N , предизвикана от несиметричното натоварване, Скрита мощност S_0 , предизвикана от неуравновесеност на товара и деформационна мощност D , предизвикана от висшите хармоници на тока:

$$S_d = P^2 + Q^2 + N^2 + (3n + 1)S_0^2 + D^2$$

Активните загуби на мощност при нелинейни и несиметрични режими се определят от израза:

$$\Delta P = \frac{1}{P^2} [P^2 + Q^2 + N^2 + (3n + 1)S_0^2 + D^2] \cdot 100\% \quad (3.15)$$

Връзката между фактора на мощността K_p и $\cos \varphi$ се определя чрез изразите:

$$K_p = q \cdot \cos \varphi \quad q = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + N^2 + (3n + 1)S_0^2 + D^2}}$$

При напълно симетричен и синусоиден режим и без трансфер на реактивна мощност (т.е. Q, N, S_d и D са равни на нула) израза (3.15) добива вида:

$$\Delta P = \frac{P^2}{P^2} \cdot 100 = 100 \quad (3.16)$$

В съответствие с (3.15) може да се определят парциалните съставлящи на неактивните мощности и да се уточни тегловното участие в % на тези съставлящи в общите загуби на активна мощност :

- Парциална част на загубите от реактивна мощност $\Delta P_Q = \frac{Q^2}{P^2} * 100\%$
- Парциална част на загубите от пулсираща мощност $\Delta P_N = \frac{N^2}{P^2} * 100\%$
- Парциална част на загубите от скрита мощност $\Delta P_{S_0} = \frac{S_0^2}{P^2} * 100\%$
- Парциална част на загубите от деформационна мощност

$$\Delta P_D = \frac{D^2}{P^2} * 100\% \quad (3.17)$$

Представена е блок схема съставена с помощта на разработената по горе методология [8,16]. Чрез използване на съвременни измервателни средства (мрежови анализатори) и разработено специално софтуерно осигуряване, следвайки алгоритъм, може да се създаде автоматизиран измервателен комплекс за експресен анализ на електроенергийната ефективност на всяко ВЕИ, включително и на биогазови централи .

3.2 Изследване на грешките при измерване на електрическата енергия в условия на несинусидални режими на генериращите източници .

Измервателният комплекс за измерване на електрическа енергия при биогазови инсталации се състои от токови трансформатори (ТТ), напреженови трансформатори (НТ), електронни електромери и съединителни проводници . С помощта на измервателният комплекс се измерва генерираната от централата електрическа енергия (активна и реактивна), а също и консумираната ел енергия за технологични нужди .

3.2.1 Погрешност на ТТ и НТ

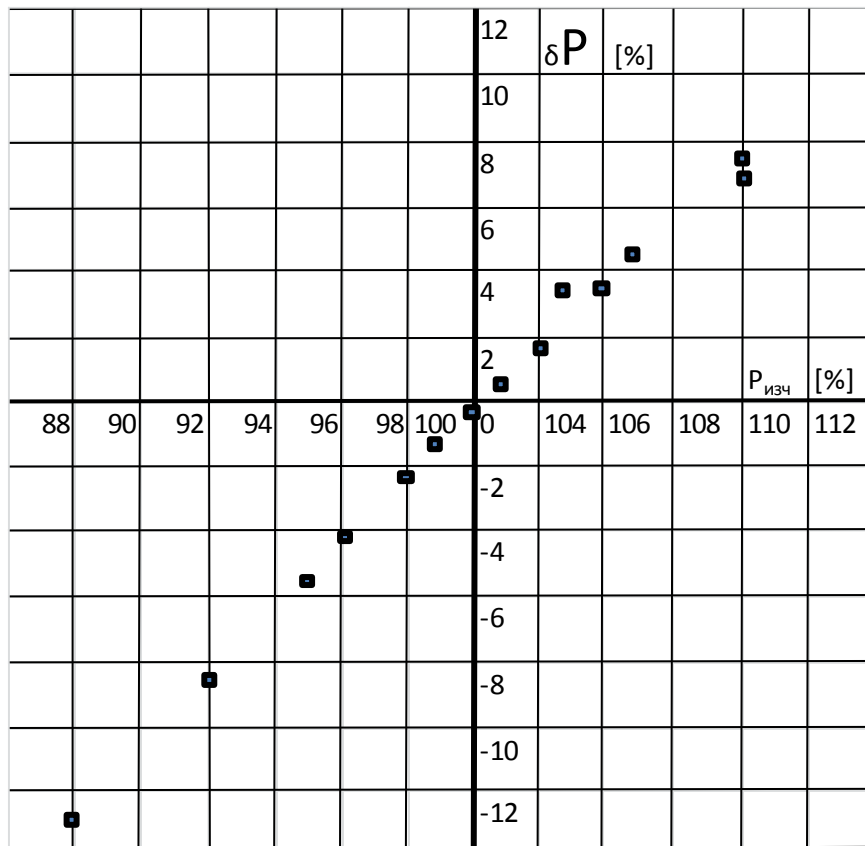
ТТ и НТ имат токова (f) и ъглова (δ) погрешност, като първата се определя от грешката в коефициента на трансформация, а втората зависи от фазовото изместване между първичното и вторичното напрежение. В условията на понижена генерация на ВЕИ, натоварването на ТТ е възможно да спада до $5 \div 30$ % от номиналните стойности.

Електронните електромери, които се явяват товар във вторичната намотка на ТТ, имат няколкократно по-малък импеданс Z от индукционните и следователно по-малко ги натоварват (в малка степен увеличават Z_2 на ТТ).

Погрешността на ТТ и НТ обуславя разлика в отчитането на реално генерираната ел. енергия ш положителна или отрицателна посока , което и в двата случая е неправомерно. При отрицателни отчети това води до негативно отражение върху финансовото състояние на биогазовата централа или въобще ВЕИ.

3.2.2 Погрешност на електронните електромери

При наличието на висши хармоници на тока и напрежението, показанията на електромерите се различават от случая, когато съществуват само основните хармоници. По принцип тази разлика не следва да се счита за погрешност на електромера от технически характер. В [17] са изследвани електронни електромери при различен хармоничен състав на тока и напрежението, като данните са сравнени с резултатите от еталонен калибратор. Влиянието на 5^{ти} и 7^{ми} хармоник на тока и напрежението е отчетено чрез оценка на разликата (грешката) δP между еталонното измерване и изчислените и измерени от електромерите стойности $P_{изч}$ по израза(3.9) На фигура 3.3 са маркирани 15 точки за различни хармонични комбинации, които определят дискретната зависимост $\delta P=f(P_{изч})$



Фигура 3.3 Зависимост $\delta P = f(P_{\text{изч}})$

Хармонични комбинации, които определят дискретната зависимост $\delta P = f(P_{\text{изч}})$.

По сложен е въпросът за установяване на влиянието на висшите хармоници върху точността в измерването на реактивната енергия. Както беше показано по горе, анализа на израза (3.10) показва, че генерираната реактивна мощност, не е само сума от реактивните мощности на всички хармоници, а се прибавя и още една сума, отчитаща взаимодействието на отделните хармоници:

В проведеното изследване най-напред по израза (3.10) се изчисляват стойностите за Q , а след това експериментално се определя тази стойност от показанията на електронните електромери.

По аналогия на израза (3.18) за реактивната енергия V може да се запише израза:

$$V = [Q_1 \pm \sum_{v=2}^n Q_v (1 + j_v)]. T \quad (3.19)$$

На фиг.3.4 са показани криви на погрешността δQ на електронните електромери за 5^{ти} хармоник на тока и напрежението U_5 и I_5 в зависимост от фазата φ_5 при различен реактивен товар на първият хармоник ($\varphi_1=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$)

С увеличаване на ъгъла φ_5 се преминава от режим на консумация в режим на генерация на реактивна мощност на висшите хармоници (т.е реактивната мощност на висшите хармоници от индуктивен характер приема капацитивен характер) и δQ рязко се увеличава.

3.3. Особенности на експлоатационните характеристики на силовите трансформатори в биогазовите инсталации

3.3.1. Режим на работа на силовите трансформатори

Силовите трансформатори (СТ) в биогазовите инсталации обикновено работят в режим на ненатоварване. Причина за това обикновено са нерационални проектантски решения, чрез които проектанта търси възможност за добро подsigуряване и постигане на висока надеждност. В тези случаи се регистрират повишени загуби на активна мощност в процеса на тяхната експлоатация, което от своя страна способства за понижаване на електроенергийната им ефективност. В тази връзка много често се поставя въпроса за замяна на преоразмерените СТ с по маломощни.

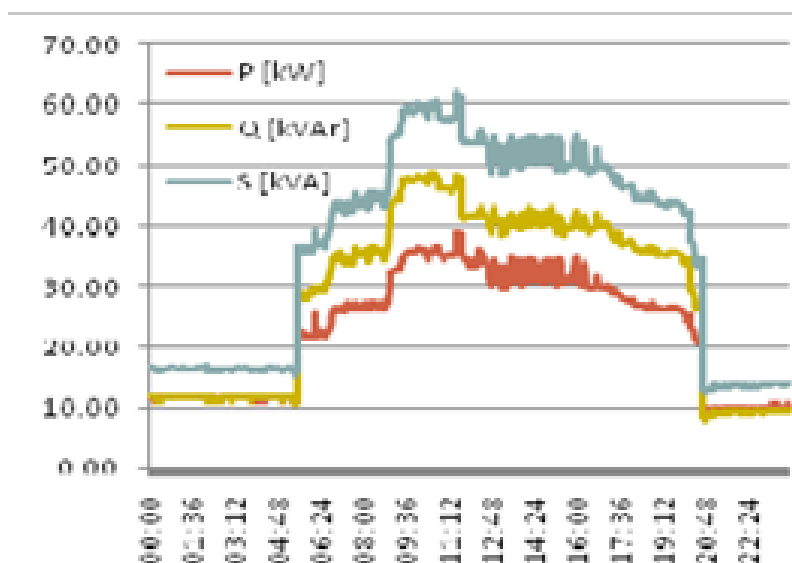
При продължителна експлоатация ΔP_0 и ΔP_k се повишават, като това повишение е по интензивно при работа на СТ в условия на нелинейно и несиметрично натоварване. В таблица 3.4 са представени усреднени данни за паспортните и действителните ΔP_0 и ΔP_k за някои типове и мощности СТ при тяхната продължителна експлоатация [22, 27].

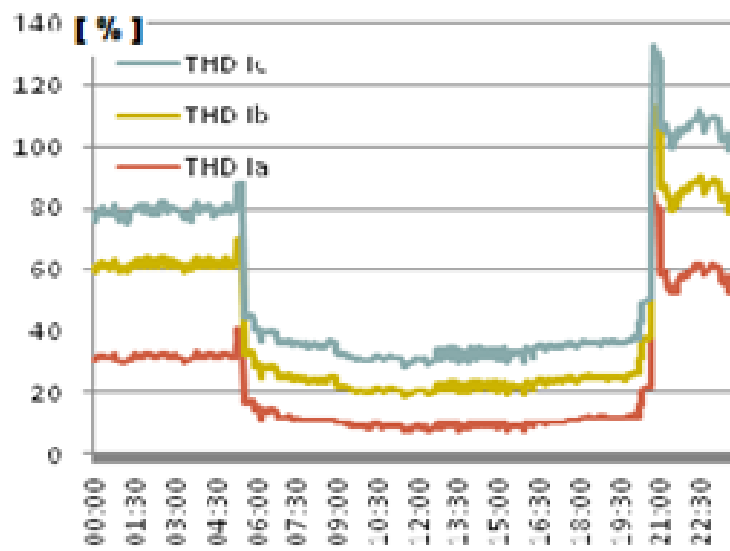
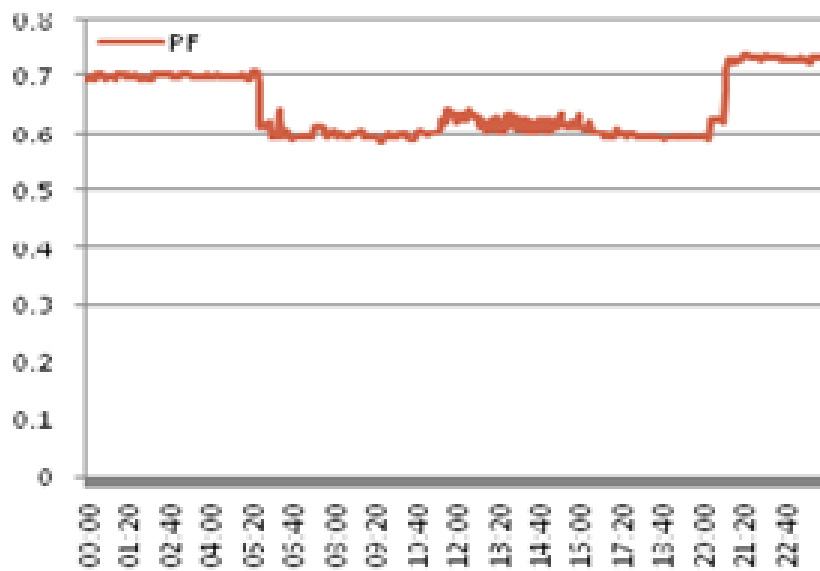
Таблица 3.4 Осреднени данни за $\Delta P_0 / \Delta P_k$ [W]			
Тип и брой на СТ	Паспортни данни $\Delta P_0 / \Delta P_k$ [W]	Действителни данни $\Delta P_0 / \Delta P_k$ [W]	Разлика $\Delta P_0 / \Delta P_k$ [%]
ТМ 1000	2100	3280	35,97
	12750	14500	12,06
ТМ 630	1440	1690	14,79
	8500	12850	33,85
ТМ 560	2100	3450	39,13
	9500	11300	15,92
ТМ 400	980	1680	41,66
	5920	8130	27,18
ТМ 320	1400	2750	49,09
	5600	6780	17,4

Вижда се , че действителните загуби на мощност в повечето случаи са над два пъти по-големи от теоретично определените.

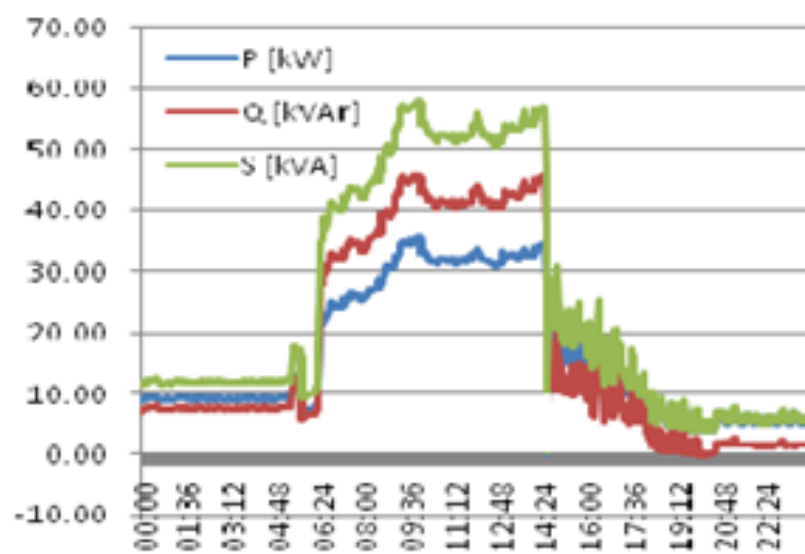
Анализа на $\Delta P_{\text{опт}}$ показва, че той се изменя в границите $\Delta P_{\text{опт}} = (0,36 \div 0,63)$ и въобще не достига стойността $\Delta P_{\text{опт}} = 0,71$, като по често $\Delta P_{\text{опт}} > \Delta P$. Следователно понятието оптимално натоварване на СТ, разглеждано в теоретичен аспект, не бива да се свързва с експериментално получените стойности за $\Delta P_{\text{опт}}$. Също така минималните загуби на мощност ΔP_{min}

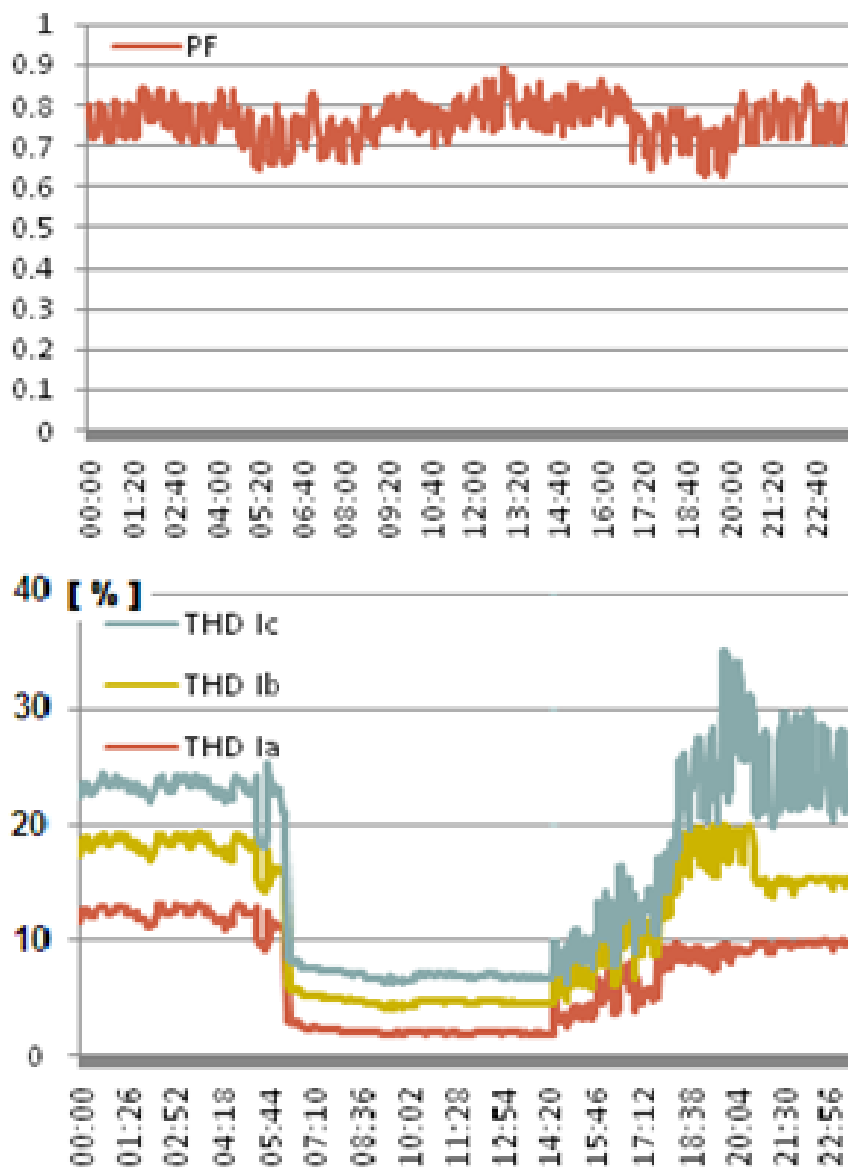
Факторът на мощността PF за летният период достига твърде ниски стойности до $PF = 0,6$, докато за зимният период минималните стойности са около $PF \approx 0,7$. Това обуславя и необходимостта от компенсация на реактивните товари. Интегралният коефициент на несинусоидалност THD_I за токовете на трите фази за летният период се изменя в твърде широки граници $THD_I \approx (10 \div 100)\%$, а за зимният период $THD_I \approx (5 \div 30)\%$.





Фигура 3.8 Електротехнически параметри за летен период [22]





Фигура 3.9 Електротехнически параметри за зимен период [22]

3.3.2 Влияние на висшите хармоници върху експлоатационните характеристики на силовите трансформатори.

Висшите хармоници протичащи през СТ, предизвикват допълнителни загуби от блуждаещи токове, пропорционални на квадрата на тока и квадрата на честотата. Освен това се увеличават загубите в активното съпротивление на намотките от протичащият по-голям ток, като самото активно съпротивление на намотките се увеличава от скин ефекта при високите честоти. т.е предизвиква се ускорено стареене, съпроводено с влошаване на магнитните свойства на СТ.

Изследванията на различни автори [22,24,26] показват, че с продължаване на експлоатацията на СТ над нормативно определения срок от 15 до 20 г., в значителна степен се повишават загубите на празен ход

ΔP_0 и на късо съединение ΔP_k , като това увеличение е приблизително право пропорционално на $\sqrt[2]{V}$. Причината за това е повърхностния ефект и ефекта на близост, които спомагат увеличаване от 2 до 4 пъти съпротивлението на к.с. на СТ при наличие на хармоници в границите от $V=3$ до $V=13$ [21,22,25]

Препоръчва се в новоизграждащи се биогазови инсталации силовите трансформатори да удовлетворяват в пълна степен изискванията на Директива 2009/125/ЕО на Европейския парламент за малките, средните и големите силови трансформатори, а при действащите инсталации да се проведат мероприятия за оптимизиране режимите на работа и постигане на максимална електроенергийна ефективност.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ТРЕТА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА:

1. В трета глава на дисертационната работа е разработен теоретико-практичен подход за определяне мощността и генерираната ел.енергия в биогазови инсталации. Предложени са формули, характеризиращи всички субстанции на пълната мощност S_d при несиметрични и несинусоидални режими на генерация – активна мощност P , реактивна Q , пулсираща N , скрита S_0 и деформационна D . Формулиран е метод за изчисляване на пропорционалните загуби на мощност, които имат пряко отношение към електро енергийната ефективност на различните ВЕИ. На база на представените формализации е предложена блок схема, с помощта на която може да се създаде софтуерно приложение към автоматизиран измервателен комплекс за оценка на електро енергийната ефективност на биогазови централи. Предложената методология е оригинална и иновативна за тази нова област от електроенергетиката, каквито са биогазовите инсталации.
2. В условията на несиметрични и несинусоидални режими, характерни за процеса на генерация в биогазовите централи, е от съществено значение създаването на условия за предпоставки за точно измерване на произведената ел.енергия. В тази връзка е проведено теоретично изследване за погрешността на отделните елементи на измервателния комплекс, състоящ се от токови и напреженови трансформатори и електронни електромери. Потвърдено е, че токовата и ъгловата грешка на измервателните трансформатори, зависи както от натоварването и компенсацията на реактивните товари, така и от несиметрията и

несинусоидалност на напрежението и тока. Представени са експериментално определени апроксимиращи функции, характеризиращи тези зависимости. Констатирано е, че се регистрират разлики в отчитането на реално генерираната ел.енергия в положителна или отрицателна посока, което и в двата случая е неприемливо. При отрицателни отчети, негативния ефект води до влошени икономически показатели на състоянието на биогазовата централа и съществени финансови загуби.

3. Електронните електромери, преобладаващо използвани в биогазовите инсталации при несинусоидална генерация отчитат различни стойности на ел.енергия от тази, получена за първия хармоник на тока и напрежението. На базата на експериментални изследвания е установено, че при некачествена ел.енергия, наситена с висши хармоници на тока и напрежението се отчитат по-малки стойности на произведената активна енергия, т.е.производителят търпи икономически загуби. При измерване на реактивната енергия с влошено качество, погрешността при отчитането е по-голяма в сравнение със случаите на повишена несинусоидалност. При това положение производителят ще плати за генерирана реактивна енергия по-голяма сума или ще бъде санкциониран в съответствие с изискванията на $\cos \varphi$ - тарифата.
4. Силовите трансформатори, като основно звено в ЕСС на биогазовите инсталации имат доминиращо значение за подобряване на електроенергийната им ефективност. Минимални загуби на активна мощност, като най-важно условие за постигане икономия на ел.енергия, може да се реализира чрез създаване на оптимални режими на работа на силовите трансформатори. В теоретичен и експериментален план са показани възможности за постигане.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА – ПРАКТИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ЗА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА БИОГАЗОВИ ИНСТАЛАЦИИ

Националната дългосрочна програма за насърчаване използването на биомаса в България за периода от 2008 до 2020 г., е предвидено през 2020 г., при пълно усвояване на представения в програмата енергиен потенциал от биомаса, делът ѝ да достигне 8,5% от brutното вътрешно потребление.

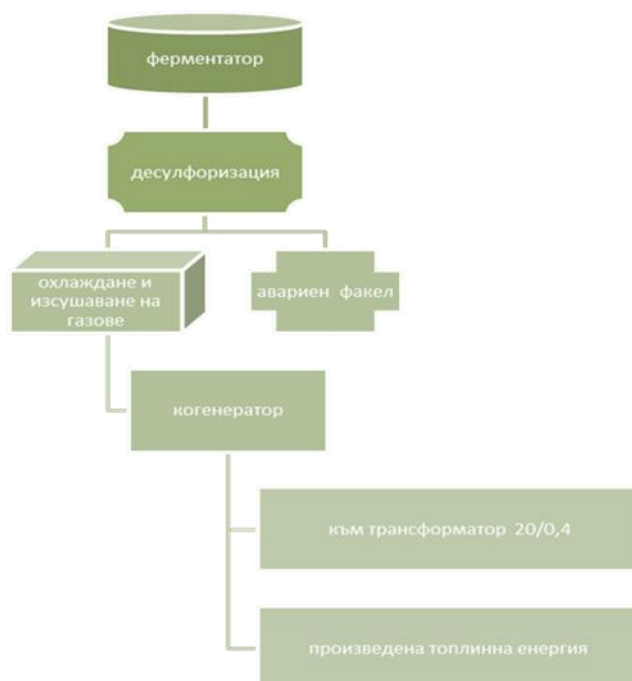
4.1. Особенности на технологичния процес в изследваната биогазова централа

Обект за изследване е биогазова централа в с. Окоп, обл. Ямбол.

Технологията за преработка на биоотпадъци в обекта включва следните основни процеси:

- Приемане на отпадъци и предварителна механична подготовка;
- Анаеробно разграждане /ферментация/ и получаване на биогаз;
- Пречистване на получения биогаз, произвеждане на топлинна и ел.енергия;
- Компостиране на остатъците от анаеробното разлагане.

На фиг.4.2 е представена така описаната технология за преработка на биоотпадъци.



Фигура 4.2 Технология за преработка на биоотпадъци

В инсталацията са монтирани три биореактора, всеки с обем от 1000 м³. Преди газът да навлезе в когенератора, той се охлажда, температурата му се понижава и се отделя кондензат (изсушава се), след което постъпва в газовия компресор, налягането му се повишава до оптимални стойности за процеса на работа на когенератора. Полученият биогаз се събира и анализира в система за биогаз, а частично стабилизираният ферментационен продукт, се компостира. След пречистване и изсушаване, биогазът постъпва в когенератора (КТЕЦ), представляващ бутален газов двигател INNIO Jenbacher A6200 / 585 kVA /400 V (фиг.4.3), чиято

ефективност достига 49,9% при енергоносител биогаз [31]. Към двигателят е куплиран синхронен генератор



Фигура .4.3 Бутален газов двигател INNIO Jenbacher A6200 / 585 kVA /400 VC независимо възбуждане STAMFORD type HCI 534 E2/544 E .

От произведената електроенергия част от нея се използва за собствени технологични нужди, а по-голямата част се изнася в ЕЕС с търговски цели.

Общото количество електрическа и топлинна енергия за поддържане на технологичните режими на биореактора е в границите от 10 до 22,5 kWh. дневно.

4.2. Експериментални изследвания от технологичен характер.

В обхвата на експерименталните изследвания са извършени опити, целящи подобряване оползотворяването на отпадъците и оттам повишаване на електроенергийната ефективност. Чрез предварителна обработка на биоотпадъците се извлича максимум от разградимата органична маса.

4.2.1. Изследване при различни режими на работа на биогазовите инсталации.

Проведени са експериментални изследвания за различни режими на работа на биогазовите инсталации както следва:

- Режим на максимално натоварване с наличие на качествени отпадъци;
- Режим на ниски температури с лошокачествени отпадъци;
- Режим с цел максимална производителност на ел.енергия.

Във всички изследвания е заложена теоретична мощност на генератора 200 kW, при която се постига средна производителност на ел.енергия 1363,2 kWh. в съответствие с уравнението на „Buswell“ за 7500 т./год. оползотворена биомаса (приложение П3) в таблица 4.1. и фиг.4.4. са представени планирано и реално постигнато производство на ел.енергия за периода от 29.09.2021 г. до 02.10.2021 г.

Таблица 4.1 планирано и реално постигнато производство на ел.енергия за периода от 29.09.2021 г. до 02.10.2021 г.				
дата	мощност	отработени часове	количество което трябва да се получи	реално получено количество
	kW	час	kWh	kWh
29.сеп	165/200	18/4	3600	3600,0
30.сеп	165/200	17,5/6,5	4200	4187,5
1.окт	165/200	7/17	4800	412,5
2.окт	165/200	10	2000	2000,0

За периода 03.10.2021 г. до 07.10.2021 г. резултатите са представени в табл.4.2 и фиг.4.5, като в този експеримент произведеният биогаз се съхранява в хранилище и се доставя при намаляване на производителността на биореактора. Теоретичните изчисления в съответствие с метода на „Buswell“ е за 12500 т./год. оползотворена биомаса (приложение П5). В този режим без подаване на силаж, генерираната ел.енергия е 3679,5 kWh

Таблица 4.2 планирано и реално постигнато производство на ел.енергия за периода от 03.10.2021 г. до 07.10.2021 г				
дата	мощност	отработени часове	количество което трябва да се получи	реално получено количество
	kW	час	kWh	kWh
3.окт	165	15,5	2500	2557,5

4.окт	165	24	4000	3960,0
5.окт	165	24	3900	3960,0
6.окт	165	24	4000	3960,0
7.окт	165	24	4000	3960,0

За добиване на максимално количество електрическа енергия са проведени циклични изследвания в периода от 18.10. 2021г. до 22.10.2021 г., като е достигнато средно дневно производство от 4100 kWh. Теоретичните изчисления са оползотворяване на биомаса в обем от 15 000 т./год.(п-ние Пб),а резултатите са представени на фиг.4.7 и таблица 4.4

Таблица 4.4 планирано и реално постигнато производство на ел.енергия за периода от 18.10. 2021г. до 22.10.2021 г		
дата	теоретично изчислено количество	реално получено количество
	kWh	kWh
18.окт	4100	4257,5
19.окт	4700	4700,0
20.окт	3900	3960,0
21.окт	3800	3960,0
22.окт	4000	3960,0

При ниски температури целулозата в биореактора не се разгражда напълно, което рязко намалява производството на биогаз, електрическа и топлинна енергия. На 25, 26 и 27.10.2021 г. са проведени изследвания в един биореактор при ниски температури и некачествени отпадъци при теоретични изчисления по „Buswell“ за 2500 т./год. оползотворена биомаса (приложение П1). В таблица 4.5 и фигура 4.8 са представени получените резултати.

Таблица 4.5 планирано и реално постигнато производство на ел.енергия за периода от 25, 26 и 27.10.2021 г				
дата	мощност	отработен и часове	количество което трябва да се получи	реално получено количество
	kW	час	kWh	kWh
25.окт	165	16	3000	2640,0
26.окт	165	13	2300	2145,0
27.окт	165	11,5	2000	1897,5

4.2.2. Експериментални изследвания с използване на технически средства за подобряване режима на биореакторите.

Високоэффективен метод в тази насока е въздействието с ултразвук и създаване на кавитационни, турбулентни и др. ефекти. Методът има следните предимства:

- *Намаляване вискозитета на материала, добавя се по-малко вода, по-малък е обема на материала във ферментатора*
- *Увеличава се добивът на метан с над 10%;*
- *Увеличава се концентрацията на метан с $1 \div 2\%$.*

В изследователският процес се използва ултразвуков прибор РХ 30А 6L с обща мощност 430 W (фиг.4.9), съответно от 180 W ултразвукова мощност и 250 W мощност на нагревателя.

Ултразвуковата обработка се извършва с различни стъклени съдове, кавитацията протича в течната фаза, на пробите в стъклениците се добавя вода за да се получи фино миксирана смес.

В хода на изследването е установено, че за производство на 1MWh електрическа енергия е необходим 3448 кг.отпадък, обработен с ултразвук, докато при необработен отпадък количеството е 11820 кг. В експеримента обаче се използва силаж и тор, поради което за получаване на 1 MWh ел.енергия се изразходваха 13350 кг., но се констатира увеличение количеството на произведения биогаз между $12 \div 28,4\%$, метана се увеличи с $15,8 \div 28,9\%$, което доказва енергийната и екологична ефективност от прилагането на ултразвукова обработка.

При паралелен опит с воден $8\%^{-\text{ен}}$ разтвор на царевичен силаж се установи, че обработеният с ултразвук биореактор, увеличава метана с около $14 \div 18\%$, а произведения биогаз се увеличава с $12 \div 28,7\%$. Доказано е, че механичното третиране на субстрата е по-малко ефективно от ултразвуковото, а комбинацията между двата дава много добри резултати. Препоръчва се да се използва ултразвук с честота 40 kHz, специфичната мощност $P^* \geq 40 \frac{W}{m^2}$ и време на обработка от 30 секунди.

При тези параметри на ултразвука и продължителност на експеримента около 500 часа, увеличението на произведения биогаз и метан е съответно в границите $13 \div 29,5\%$ и $16,9 \div 29,5\%$.

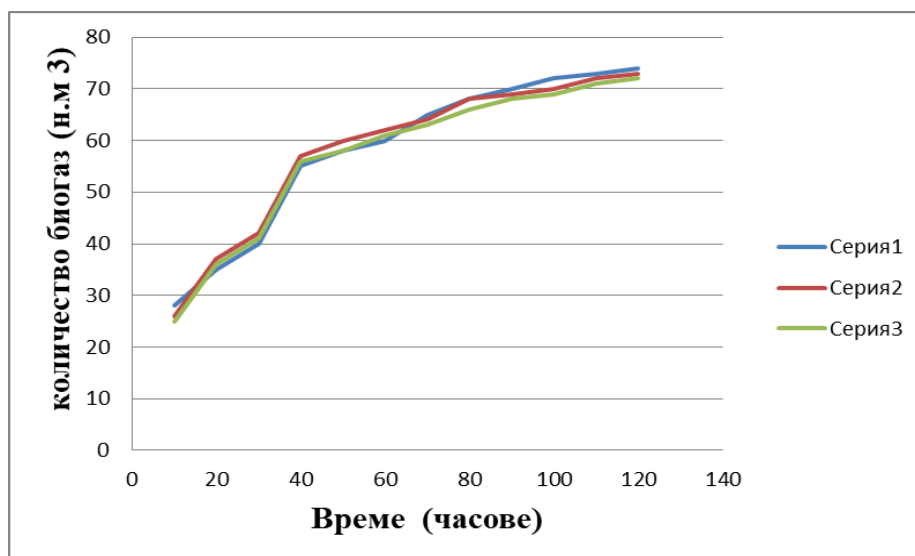
Създадена е експериментална миниинсталация за обработка на биоотпадъци, показана на фигура 4.10.



Фигура 4.10 *Експериментална инсталация за обработка на субстрат*

Установено е, че колкото е по-голям обема на ваната, толкова е по-голяма концентрацията на добивания газ. Оптималната температура на ултразвуковата система е $36 \div 37$ °С. По-голяма или по-малка стойност оказва негативно влияние. Позиционирането трябва да бъде на равни разстояния от краищата на ваната, като това разстояние е $\frac{3}{4} \lambda$.

От графиката се вижда, че под влияние на ултразвуковото поле, температурата варира в границите от $36,8 \div 37,2$ °С. Динамиката на процеса при получаване на биогаз от субстрат на силаж при ултразвукова обработка, е представен на фиг.4.13, където графически са представени три серии при които са спазени еднакви условия.



Фигура 4.13 *Добив на биогаз от силаж, обработен с ултразвук*

Наблюдават се две фази:

- Експоненциална фаза с продължителност 40-50 ч;
- Стационарна фаза от 50 до 120 ч.

Направените изследвания дават възможност да се констатира, че при ултразвуковата обработка на заложения субстрат, последният се асимилира много по-лесно от микроорганизмите. Експерименталните изследвания и последващите анализи със съответни изчисления са основание да се направи извода, че производството на електроенергия в биогазовата инсталация, поставена в дефинираната оптимизационна среда може да нарасне до 20,7%.

ОБОБЩЕНИЕ

Биореактор със субстрат третиран с ултразвук

Първият паралелен опит беше извършен със смлян царевичен силаж фракция 0 ÷ 40 mm, разреден с вода до разтвор от 8 %. Резултатите показаха минимален ефект от ултразвуковото третиране върху царевичният силаж, поради това, че кавитацията не е ефективна при тази фракция. Наличието на по-големи парчета прави обработката с ултразвук не ефективна. Решението е да се обработи механично (пасиран) и след това обработен с ултразвук.

Енергиен баланс

Резултатите от експериментите доказаха интензификация на процеса на разграждане.

Биореакторът, в който е третиран материала с ултразвук спира производството на биогаз след около 280 ÷ 285 часа. След този период все още има биогаз, но той е минимален. Докато при този, в който не е приложена обработка с ултразвук, показва леко увеличение в края на ферментационният период.

Установи се, че биореактора при който е обработван материала с ултразвук се увеличава добива на метана с около 30 ÷ 32 % за 20 часа, докато биореактора - без обработка – метана е в границите до 16 %.

Увеличаването на добива на биогаз, поради ултразвуковата обработка на биомаса е в диапазона от 12 ÷ 28,7%, а увеличаването на добива на CH₄ е в диапазона от 15,2 ÷ 28,4%. Тези резултати трябва да се считат за валидни само за конкретната експериментална система, Измерената електроенергия, необходима за разграждане на субстрата се основава на проведените опити. По изчисления се очаква добив на метан

около $Y_{CH_4} 180 \text{ Nm}^3/\text{kg VS}$. Количеството електрическа енергия, която се генерират от нетретираният продукт е около $E_{el} = Y_{CH_4} \cdot \Delta H_{comb} \cdot \eta_{el} = 2255 \text{ kJ} / \text{kg VS}$, откъдето следва, че производството на електроенергия от биогазова инсталация ще нарасне с приблизително 20,7%.

При механично обработени проби е препоръчително да се използва ултразвук с ниска честота от 20 kHz $I > 40 \text{ W m}^{-2}$ и $PV \approx 250 \text{ W m}^{-3}$. При тези параметри на ултразвук и време на обработка от 30 s , се очаква степен на разграждане от около 8%.

4.3. Изследване на електроенергийната ефективност в биогазови инсталации , чрез апаратурни изследвания и анализ на електроенергетичните процеси

4.3.1. Въведение

Под електроенергийна ефективност в биогазовите инсталации следва да се разбира повишаване на отчетената от измервателните средства активна мощност и ел. енергия доставена на купувача, без да се увеличават енергийните характеристики на първичният енергоносител.

В изследваната биогазова инсталация, не е въведена система за диспечерско управление и енергиен мениджмънт. Те представляват многоканални микропроцесорни системи за събиране на данни с входно ниво около 100 mV , и на отделни напреженови и токови входове, аналогоцифров преобразовател (АЦП) и трансформаторни или токови клещи (токови преобразователи) в комбинация с шунтов резистор.

4.3.2. Анализ на генериращият източник

В биогазовата централа е инсталиран генератор STAMFORD HC 534E2 с номинална мощност $S_H = 585 \text{ kVA}$ и номинално напрежение $U_H = 400/231 \text{ V}$.

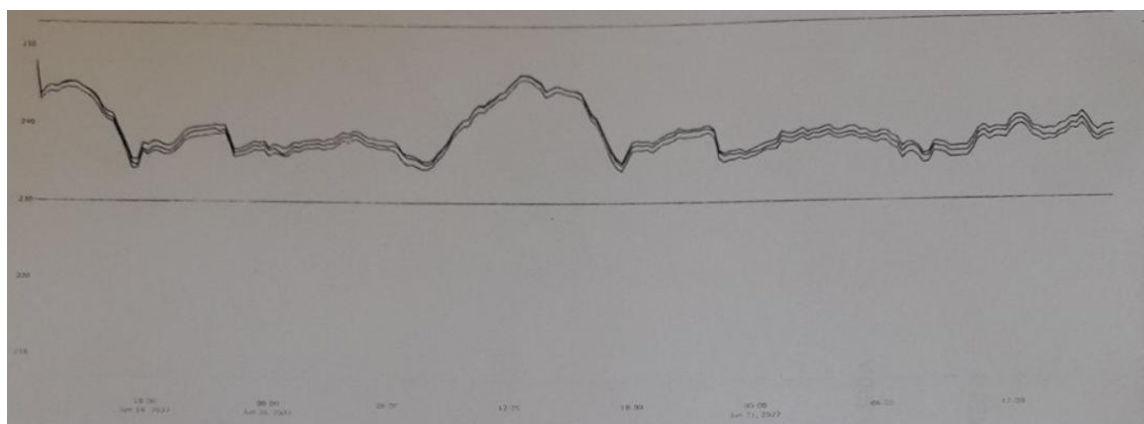
4.3.3. Провеждане на изследователският процес

Въпроса с локацията (точката) на измерването, в конкретният случай е лесно определим и дори тривиален – за точка на измерване е определено силовото табло НН.

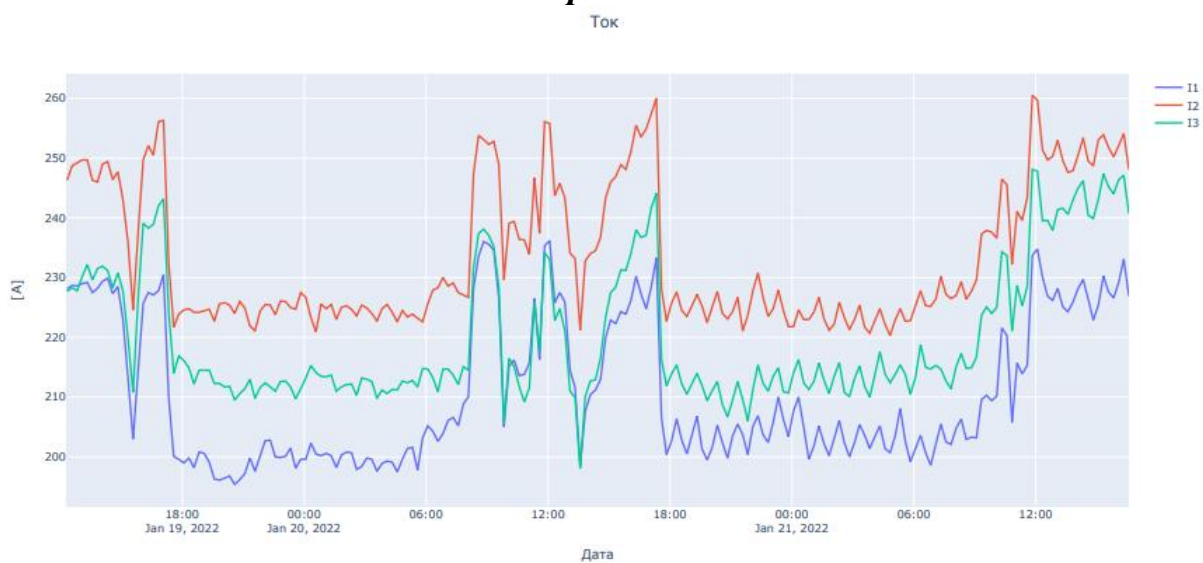
Към прибора се подават шест аналогови сигнала – трите фазни тока и трите фазни напрежения. Дигитализирането им се осъществява чрез АЦП, а в последствие чрез прилагане на „Бързо преобразуване на Фурие“ и използване на специални процедури се изчисляват различни характеристики на енергетичните процеси, описани по-долу:

- При определена дискретизация зададена от прибора, в динамичен вид се определят ефективните, средните и максималните стойности на фазните токове и напрежения $I_a, I_b, I_c, U_a, U_b, U_c$;
- Чрез разработен специализиран софтуер, с използването на данните от прибора, се определят активната, реактивната и пълната мощности P [kW], Q [kVAr], S [kVA],
- Определят се характеристиките, свързани с качеството на електрическата енергия – отклонение и колебание на напрежението δU и ∇U ; симетрия на тока и напрежението, оценени чрез коефициентите на несиметрия ε_I и ε_U ; неуравновесеност на тока и напрежението, оценени с помощта на коефициентите α_I и α_U ; несинусоидалността на тока и напрежението оценени чрез коефициентите на хармоника и интегралният коефициент на несинусоидалност $K_{vI}, K_{vU}, THDI, THDU$.

В трета глава на дисертационната работа (т.3.1) е представена методология за определяне на мощността и генерираната ел. енергия в биогазовата централа. В тази връзка на фиг.3.2 е синтезирана блок схема, на базата на която е разработено софтуерно приложение със среда MATHCAD. За целта са съставени матрици на токовете и напреженията ($I_a, I_b, I_c, U_a, U_b, U_c$), на ъглите на дефазиране $P_{haa}, P_{hab}, P_{hac}$ на напреженията спрямо реперното напрежение U_a и ъглите на дефазация на токовете P_{faa}, P_{fab} щ, P_{fac} спрямо съответните напрежения, отчетени за първи хармоник. Определени са хармониците на токовете и напреженията до $\mathcal{V}=15$, а също и характеристиките на несиметричните режими. В съответствие с методиката в т.3.1 от Трета глава, са определени активната P , реактивната Q , пулсиращата N , скрита S_0 , деформационната D и действителната пълна мощност S с помощта на които се изчисляват парциалните загуби на мощността $\Delta P_q[\%], \Delta P_{S_0}[\%], \Delta P_d[\%]$. В таблица 4.6 е синтезирано във формализован вид софтуерното приложение [33].



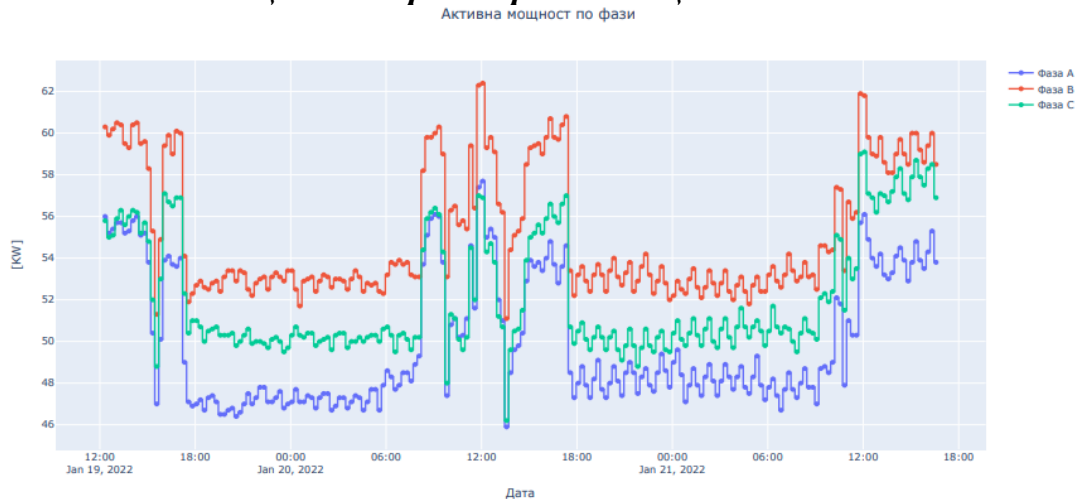
Графика 4.2 Изменение на напрежението за разглежданият период по фази



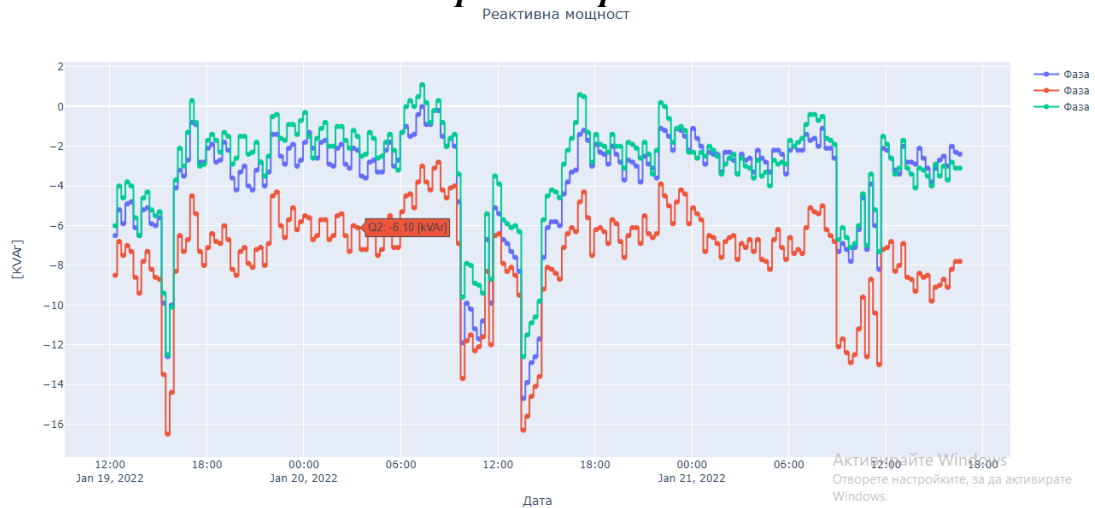
Графика 4.3 Изменение на токовете за разглежданият период по фази



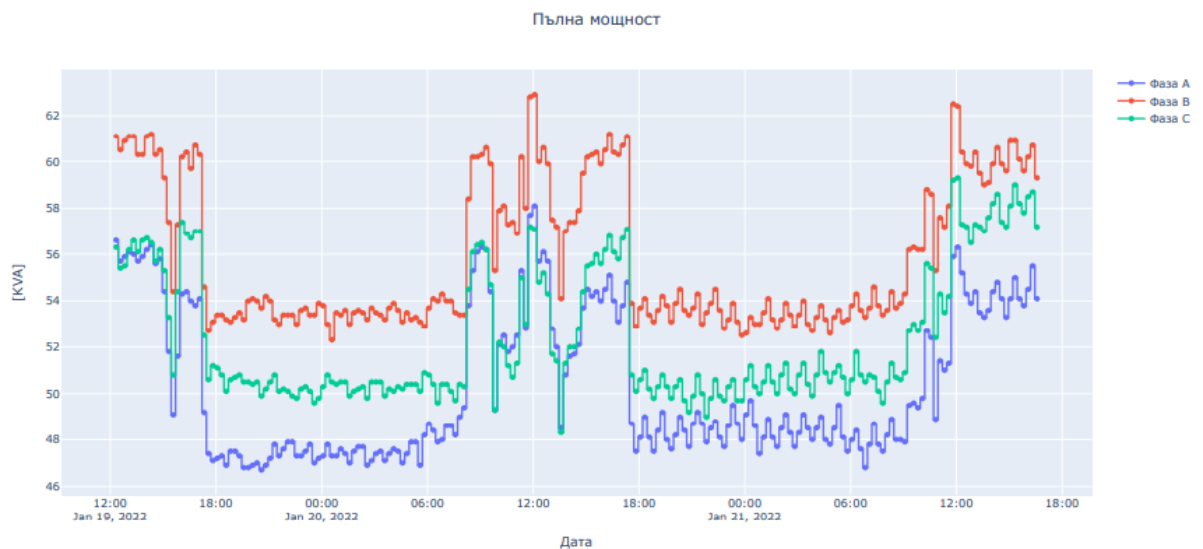
Графика 4.4 Изменение на активната, реактивната и пълната мощност и фактора на мощността PF



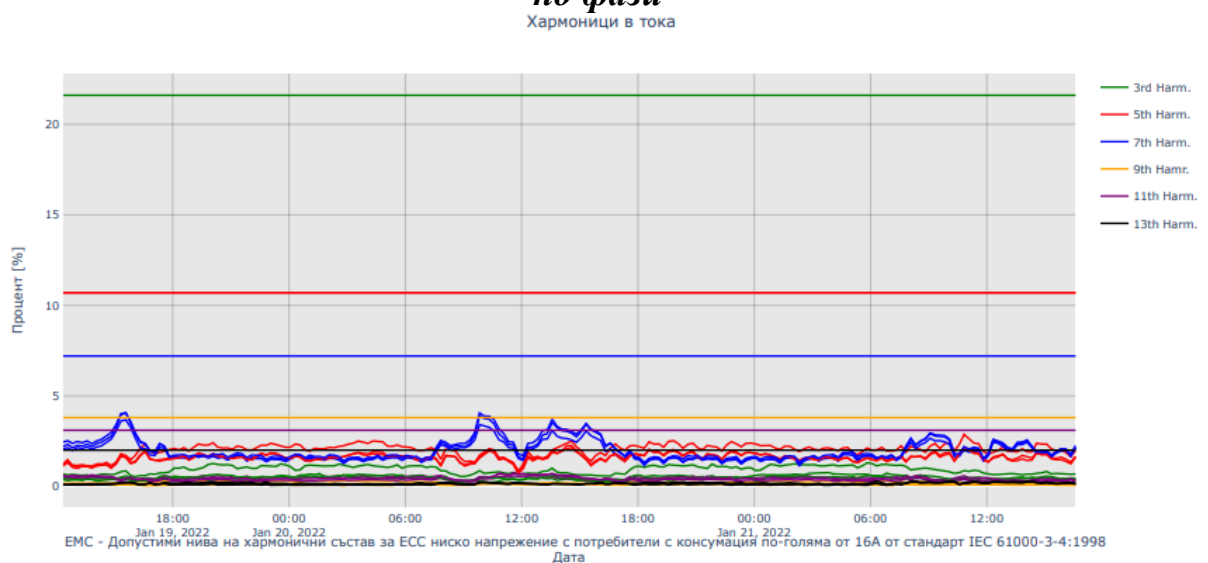
Графика 4.5 Изменение на активната мощност за разглежданият период по фази



Графика 4.6 Изменение на реактивната мощност за разглежданият период по фази

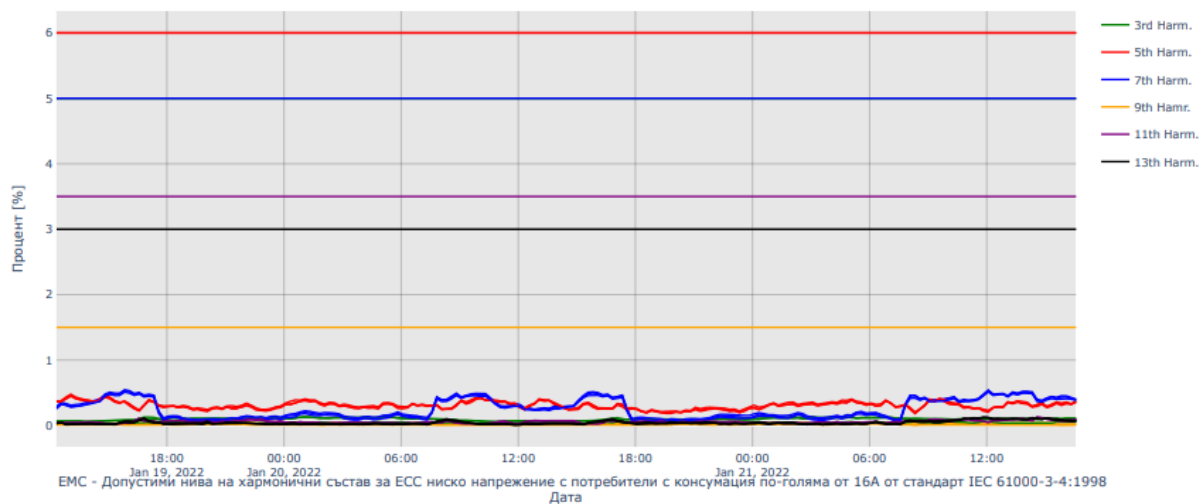


Графика 4.7 Изменение на пълната мощност за разглежданият период по фази

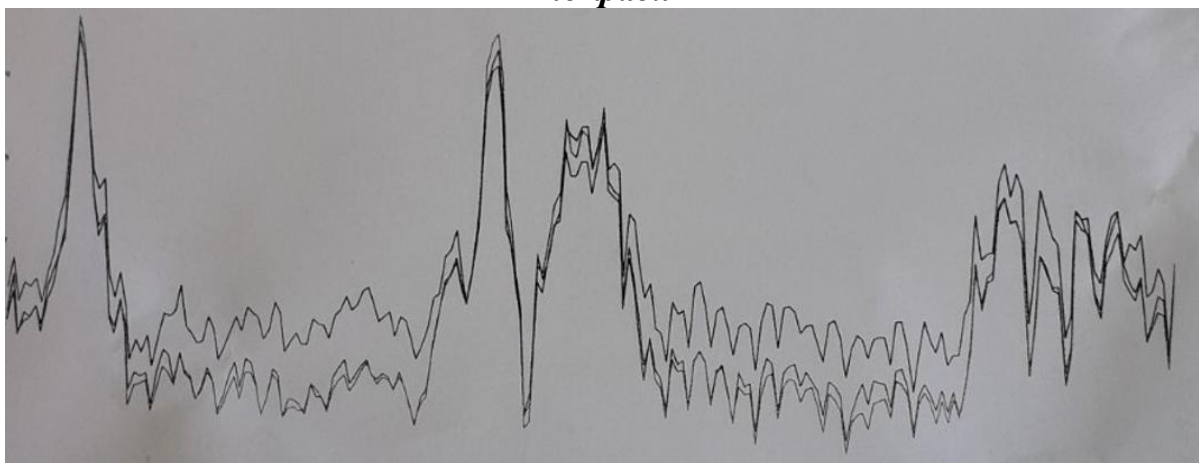


Графика 4.8 Изменение на хармониците на тока за разглежданият период по фази

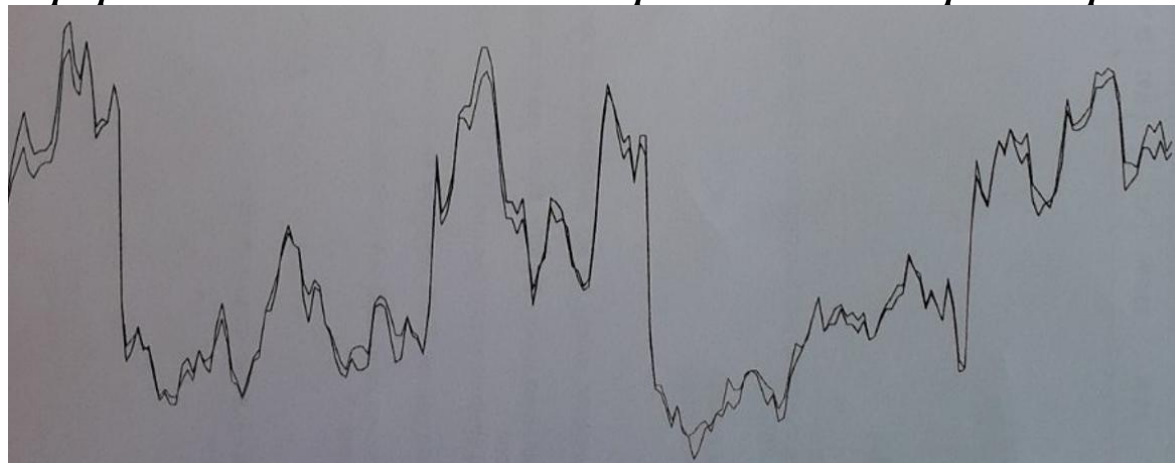
Хармоници в напрежението



Графика 4.9 Изменение на хармониците на U за разглежданият период по фази



Графика 4.10 Изменение на THD_I за разглежданият период по фази



Графика 4.11 Изменение на THD_U за разглежданият период по фази

Таблица 4.6 Софтуерно приложение във формализован вид

№	Изчислителн	Формули за определяне на	Пояснения
---	-------------	--------------------------	-----------

	и примери	изчислителните примери	
1	2	3	4
1	<p>Ефективни стойности за токовете и напреженията за всяка фаза</p> <p>$U_{Aef}, U_{Bef}, U_{Cef}, I_{Aef}, I_{Bef}, I_{Cef}$</p>	$U_{Aef} = U_a \sqrt{1 + \frac{(U_a)_2^2 + (U_a)_3^2 + \dots + (U_a)_{15}^2}{100^2}}$ $U_{Bef} = U_b \sqrt{1 + \frac{(U_b)_2^2 + (U_b)_3^2 + \dots + (U_b)_{15}^2}{100^2}}$ $U_{Cef} = U_c \sqrt{1 + \frac{(U_c)_2^2 + (U_c)_3^2 + \dots + (U_c)_{15}^2}{100^2}}$ $I_{Aef} = I_a \sqrt{1 + \frac{(I_a)_2^2 + (I_a)_3^2 + \dots + (I_a)_{15}^2}{100^2}}$ $I_{Bef} = I_b \sqrt{1 + \frac{(I_b)_2^2 + (I_b)_3^2 + \dots + (I_b)_{15}^2}{100^2}}$ $I_{Cef} = I_c \sqrt{1 + \frac{(I_c)_2^2 + (I_c)_3^2 + \dots + (I_c)_{15}^2}{100^2}}$	<p>$(U_a)_i, (U_b)_i, (U_c)_i, (I_a)_i, (I_b)_i, (I_c)_i, i=2 \div 15$</p> <p>хармоници на напрежението и тока</p> <p>получени от измервател – ният комплекс</p>
2	<p>Вектори на токовете и напреженията за всяка фаза</p> <p>$U_{Aef}, U_{Bef}, U_{Cef}, I_{Aef}, I_{Bef}, I_{Cef}$</p>	$\dot{U}_a = U_{Aef}$ $\dot{U}_b = U_{Bef} [\cos(P_{hab}) + j \sin(P_{hab})]$ $\dot{U}_c = U_{Cef} [\cos(P_{hac}) + j \sin(P_{hac})]$ $\dot{I}_a = I_{Aef} [\cos(P_{faa}) + j \sin(P_{faa})]$ $\dot{I}_b = I_{Bef} [\cos(P_{hab} + P_{fab}) + j \sin(P_{hab} + P_{fab})]$ $\dot{I}_c = I_{Cef} [\cos(P_{hac} + P_{fac}) + j \sin(P_{hac} + P_{fac})]$	<p>$P_{haa}, P_{hab}, P_{hac}$ – дафазация на напреженията U_A, U_B, U_C, спрямо реперно напрежение U_a; $P_{haa}, P_{hab}, P_{hac}$ дефазация на токовете спрямо съответните напрежения, отчетени по първи хармоник</p>

3	<p>Вектори на правата, обратната и нулевата последователност на токовете и напреженията</p> <p>$\dot{U}_0, \dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_0, \dot{I}_1, \dot{I}_2$</p>	$\dot{U}_0 = \frac{1}{3}(\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c)$ $\dot{U}_1 = \frac{1}{3}(\dot{U}_a + a\dot{U}_b + a^2\dot{U}_c)$ $\dot{U}_2 = \frac{1}{3}(\dot{U}_a + a^2\dot{U}_b + a\dot{U}_c)$ $\dot{I}_0 = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c)$ $\dot{I}_1 = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a\dot{I}_b + a^2\dot{I}_c)$ $\dot{I}_2 = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + a^2\dot{I}_b + a\dot{I}_c)$	$a = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ <p>оператор на Щайнмец</p>
4	<p>Модули на векторите на правата, обратната и нулевата последователност на токовете и напреженията</p> <p>$\dot{U}_0, \dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_0, \dot{I}_1, \dot{I}_2$</p>	$\dot{U}_0 = \sqrt{[R_e(\dot{U}_0)^2 + [I_m(\dot{U}_0)^2]}$ $\dot{U}_1 = \sqrt{[R_e(\dot{U}_1)^2 + [I_m(\dot{U}_1)^2]}$ $\dot{U}_2 = \sqrt{[R_e(\dot{U}_2)^2 + [I_m(\dot{U}_2)^2]}$ $\dot{I}_0 = \sqrt{[R_e(\dot{I}_0)^2 + [I_m(\dot{I}_0)^2]}$ $\dot{I}_1 = \sqrt{[R_e(\dot{I}_1)^2 + [I_m(\dot{I}_1)^2]}$ $\dot{I}_2 = \sqrt{[R_e(\dot{I}_2)^2 + [I_m(\dot{I}_2)^2]}$	<p>R_e и I_m – означение за реална и имагинерна част на напреженията и токовете</p>
5	<p>Коеф. на несим. и неуравновесеност</p> <p>$\varepsilon_U, \varepsilon_I, \alpha_U, \alpha_I$</p>	$\varepsilon_U = \frac{U_2}{U_1}, \varepsilon_I = \frac{I_2}{I_1}, \alpha_U = \frac{U_0}{U_1}, \alpha_I = \frac{I_0}{I_1}$	
6	<p>Парциална мощност</p> <p>S_a</p>	$\dot{S}_a = 3 \cdot \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1;$ $\text{mod } S_a = \sqrt{[R_e(\dot{S}_a)^2 + [I_m(\dot{S}_a)^2]}$	<p>Показва сим. съставляща на пълната мощност при несим. и несинусоидална система</p>
7	<p>Активна</p>	$P = R_e(\dot{S}_a)$	

	мощност P		
8	Симетрична съставка на реактивната мощност Q	$Q = \sqrt{(\text{mod } S_a)^2 - p^2}$	$\text{mod } S_a$ – модул на \dot{S}_a
9	Пулсираща мощност N	$N = \varepsilon_i \text{ mod } \dot{S}_a$	
10	Скрита мощност S_0	$S_0 = d_i S_a ; S_a = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad S_0 = \frac{P}{\cos \varphi} d_i$	Показва мощността при несиметричен режим в нулевият проводник
11	Деформ. мощност D, определена , чрез $\text{Sum } \dot{I}_a$, $\text{Sum } \dot{I}_b$, $\text{Sum } \dot{I}_c$	$\text{Sum } \dot{I}_a = \frac{(I_a)_2^2 + (I_a)_3^2 + \dots + (I_a)_{15}^2}{100^2}$ $\text{Sum } \dot{I}_b = \frac{(I_b)_2^2 + (I_b)_3^2 + \dots + (I_b)_{15}^2}{100^2}$ $\text{Sum } \dot{I}_c = \frac{(I_c)_2^2 + (I_c)_3^2 + \dots + (I_c)_{15}^2}{100^2}$ $D = \sqrt{3} U_1 \left[\sqrt{\sqrt{(I_a)^2 \text{Sum } \dot{I}_a} + \sqrt{(I_b)^2 \text{Sum } \dot{I}_b}} + \sqrt{(I_c)^2 \text{Sum } \dot{I}_c} \right]$	
12	Действителна пълна мощност	$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + N^2 + D^2}$	
13	Фактор на мощност K_m	$K_m = \frac{P}{S}$	
14	Потенциални загуби на мощност в % ΔP_q % , ΔP_n % ΔP_{S_0} % ΔP_d % ,	$\Delta P_q \% = \frac{Q^2}{p^2} \cdot 100\%$ $\Delta P_n \% = \frac{\text{mod } N^2}{p^2} \cdot 100\%$ $\Delta P_{S_0} \% = (3n+1) \frac{S_0^2}{p^2} \cdot 100\%$ $\Delta P_d \% = \frac{D^2}{p^2} \cdot 100\%$ $\text{Sum } \Delta P = \Delta P_q + \Delta P_n + \Delta P_d$ $DP = \left[\left(\frac{S}{\text{mod } S_a} \right)^2 - 1 \right] \cdot 100\%$	DP е увеличението на загубите на мощност в % несинусоидален и несиметричен режим спрямо загубите при симетрична и синусоидална система

Резултати, получени след използване на софтуерното приложение от таблица 4.6 и формули (4.1), са представени в таблица 4.7.

Таблица 4.7 Резултати за парциалните и общите загуби на мощност				
ΔP_Q [%]	ΔP_N [%]	ΔP_{S_0} [%]	ΔP_D [%]	$\Delta P_Q + \Delta P_N + \Delta P_{S_0} + \Delta P_D$
2,18	8,62	5,35	2,66	18.81

Коефициента на използване $K_{\text{и}} = 0,266$ и това е белег за понижена ефективност. Коефициента на формата на товаровият график $K_{\text{ф}}$ и коефициента на максимума $K_{\text{М}}$ имат високи стойности, съответно $K_{\text{ф}} = 1,46$ и $K_{\text{М}} = 1,24$. Изследванията показват, че е регистрирана съществена такава несиметрия при нива на напреженовата несиметрия в допустимите граници.

При влошено качество на електрическата енергия, каквото в известна степен е установено в направените изследвания, се регистрират по-малки количества на произведената активна ел. енергия и по –голямо количество на генерираната реактивна ел. енергия.

4.3.3.3 Влияние на режимните параметри върху експлоатацията на силовият трансформатор

Повишаващият силов трансформатор в биогазовата инсталация е тип ТМ 400kVA с напрежение на к.с. $U_k = 5,76\%$, схема и група на свързване Dy_n-5 ; 400/231 V и паспортни загуби на празен ход и к.с. , съответно $\Delta P_0 = 980 \text{ W}$ и $\Delta P_k = 5920 \text{ W}$.

Силовият трансформатор, както стана ясно от резултатите от изследването, представени в таблица 4.18 ÷ 4.26 , работи в условията на несиметрично и несинусоидално натоварване.

Допълнителните загуби на активна мощност в силовият трансформатор са причинени от протичащите в тях токове на обратна последователност и токовете на висши хармоници. В съответствие с това се разглеждат последователно тези два режима [34].

- При несиметричен режим загубите ΔP_T са съответно :

$$\Delta P_T = \left[\varepsilon_T^2 \left(\Delta P_0 + \frac{\Delta P_k}{T_k^2} \right) \right] S_H \text{ [kW]} \quad (4.2)$$

където : ε_T – коефициент на несиметрия по напрежение (таблица 4.18)

Първото събираемо в (4.2) е значително по-малко от второто и при изчисленията може да не се взема предвид.

- При наличие на висши хармоници на напрежението U_{ν} , Загубите на празен ход $\Delta P_{0\nu}$ и загубите на късо съединение $\Delta P_{k\nu}$ се определят от изразите:

$$\Delta P_{0\nu} = (\Delta P_0 \cdot \sum_{\nu=2}^{\infty} U_{\nu}^2) \cdot S_H \text{ [kW]}; \Delta P_{k\nu} = \left(0,607 \frac{\Delta P_k}{U_k^2} \cdot \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{U_{\nu}^2}{\nu \cdot \sqrt{\nu}} \right) \cdot S_H \text{ [kW]} \quad (4.3)$$

В силовият трансформатор възникват и допълнителни загуби от вихрови токове $\Delta P_{\text{доп}}$, както при наличие на висши хармоници са съществени и се определят от израза [34]:

$$\Delta P_{\text{доп}\nu} = (\nu^2 \cdot 0,05 \cdot \Delta P_k) \cdot S_H \text{ [kW]} \quad (4.4)$$

В съответствие с данните от фиг.4.24, таблица 4.8 и параметрите на силовият трансформатор ТМ 400 kVA, а именно $\Delta P_0 = 0,98 \text{ kW}$, $\Delta P_k = 5,92 \text{ kW}$ и $U_k = 5,76\%$, изчисленията по израза (4.5), определят стойност за $\Delta P_{T\Sigma} = 20,93 \text{ kW}$, което е приблизително 5,23 от мощността, съответно от трансферираната от СТ ел. енергия.

Загубите на празен ход и на к.с. в СТ при несиметрични и несинусоидални режими (ННР) $\Delta P_0^{\text{ННР}}$ и $\Delta P_k^{\text{ННР}}$, съобразно формули (4.2) до (4.5), се определят от изразите:

$$\Delta P_0^{\text{ННР}} = [\Delta P_0 (\varepsilon_U^2 + \sum_{\nu=2}^{\infty} U_{\nu}^2)] \cdot S_H \text{ [kW]} \quad (4.7)$$

$$\Delta P_k^{\text{ННР}} = \left[\varepsilon_U^2 \left(\frac{\Delta P_k}{U_k^2} \right) + 0,607 \frac{\Delta P_k}{U_k^2} \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{1+0,05\nu^2}{\nu \cdot \sqrt{\nu}} U_{\nu}^2 \right] S_H \text{ [kW]} \quad (4.8)$$

Изчислените стойности за $\Delta P_0^{\text{ННР}}$ и $\Delta P_k^{\text{ННР}}$ са следните:

$$\Delta P_0^{\text{ННР}} = 1,22 \text{ [kW]}; \Delta P_k^{\text{ННР}} = 19,72 \text{ [kW]}$$

Реалният КПД на трансформатора при работа в ННР, в съответствие с (4.6) при липса на охлаждане е:

$$\eta = 1 - \frac{2,1,22}{400 \cdot \sqrt{\frac{1,22}{19,72}}} = 0,975$$

Теоретичният максимален КПД, определен от фиг.3.7 при напълно симетричен и синусоиден режим и при оптимално натоварване на СТ в границите $\square = 0,5 \div 0,6$, е $\eta = 0,978$ При натоварване на СТ $\square = K_H = 0,375$, КПД ще бъде по-ниско - в рамките на $\eta = 0,95 \div 0,96$, което е неефективен режим на работа на СТ.

Следователно е необходимо да се приложат технически мероприятия за симетриране на несиметричните режими и минимизиране нивото на висшите хармоници на тока и напрежението в биогазовата инсталация.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И РЕЗУЛТАТИ КЪМ ЧЕТВЪРТА ГЛАВА НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. В биогазовата централа са проведени експериментални изследвания от технологичен характер. Установено е влиянието на целулозните влакна, температурният режим, цикличността и други параметри върху енергетичните характеристики при усвояване на биомасата. Изследвано е въздействието на ултразвук за увеличаване добива и концентрацията на метан. Предложен е оптимизационен модел по отношение на характеристиките на субстрата и параметрите на ултразвуковата технология. Обработеният с ултразвук биореактор подобрява системата на разграждане и се получава по пълноценно разграждане на органичните съединения от микроорганизмите през целият период на анаеробно разграждане. В резултат на това добивът на метан е увеличен в диапазона от (30 ÷ 32) % за 20 часа, а производството на ел. енергия в биогазовата инсталация при тези условия нараства с 20,7%.

2. Инсталираният синхронен генератор е съоръжен с автоматичен регулатор на напрежение, работи в капацитивен режим на генерация на реактивна енергия и конструктивното му изпълнение осигурява минимум на хармониците на напрежение, кратни на три. Проведените измервания с помощта на мрежовият анализатор и последващо използване на софтуерно приложение, дават възможност да се определят парциалните загуби при генерацията на ел. енергия от биогазовата централа. Установено е, че техният общ дял от конвенционалните загуби е 18,81%, като загубите от пулсираща мощност са процентно най-големи в този микс (8,62%). Регистрирана е съществена токова несиметрия със стойности на коефициентите на несиметрия и неуравновесеност съответно $\varepsilon_I - 45,8\%$ и $\alpha_I - 27,8\%$. В резултат на установено от изследванията влошено качество на електрическата енергия, се прогнозира занижение на произведената активна енергия в границите (1 ÷ 4) % и повишаване на реактивната енергия в интервала (0,5 ÷ 1,5) %, което ще доведе до влошаване в известна степен на икономическите показатели на централата.

3. Повишаващият силов трансформатор в биогазовата централа е натоварен около 37% и в резултат на генерираните висши хармоници на напреженията и токовете и несиметрията на фазните токове, работи недоизползван с около 8,3%. Сумарните загуби на активна мощност в условията на несиметрични и несинуидални режими са около 5,2% от мощността му, а реалният КПД е в границите $\eta = 0,95 \div 0,96$, което е

характеристика за неефективен режим за работа на СТ. Необходимо е въвеждане на технически мероприятия за подобряване на качеството на генерираната ел. енергия. С това ще се подобрят експлоатационните показатели на трансформатора, забави и минимизира неговото стареене и повиши жизненият цикъл на използваемостта му.

ОБЩИТЕ ИЗВОДИ НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. Определени са недостатъците на съществуващите биогазови инсталации, както са посочени възможностите за подобряване на енергийната ефективност при експлоатация. Предложена е инсталация за оползотворяване на биоотпадъци, чрез изграждане на три броя биореактора по 5000 м³ вместо един от 15 000 м³, което ще намали загубите на енергия и ще позволи по – добра ефективност. Установено е, че при работа на инсталацията в режим на ниски температури и липса на качествени отпадъци, икономически и целесъобразно е използването само на един от биореакторите, като другите два се използват за резервоари за биогаз.

2. Определено е разположението на ферментен реактор в ултразвуковата вана, с което е достигната максимална ефективност на ферменторите. Установено е, че натрупването на субстрат протича интензивно в центъра на ултразвуковата вана, поради тази причина пиезокерамичният излъчвател е поставен под и в центъра на работния метален корпус, така че да генерира ултразвукови вълни, които покриват максимален работен обем в металния корпус.

3. Определено е изменението на температура под въздействие на ултразвуково поле в експерименталният реактор. Установено е, че температурата под действието на ултразвуково поле варира в граници от 36.8 – 37.2°C. В следствие на провеждането на експеримента, под въздействието на ултразвуково поле се наблюдава изменение в температурата на реакционната среда с 0,5°C, само в граничните обеми на съда.

4. Определена е оптималната температура за максимална ефективност на микроорганизмите при усвояване на суровини съдържащи целулоза. За максимална ефективност на работа на биореактора е необходимо работната температура да бъде понижена от 39°C на 37°C.

5. Предложено е към биореакторите с. Окоп да се монтира паралелно фотоволтаична централа. Определени са техническите параметри на цялостната фотоволтаична инсталация. Изчислено е, че при

монтаж на 66 броя монокристални соларни панели и класически инвертор от 30 kW, както и монтаж на акумулаторен блок с 5000 Ah може да произведе около 42 MWh. Тази енергия би била достатъчна да се използва за отопление и поддържане на нормален технологичен режим в инсталацията. Използването на акумулаторните блокове ще позволи да бъде минимизирано въздействието на пусковият ток и други пикови токове за различните устройства. От направените изчисления, средното време за ползване е около 4 часа на ден, дневни слънчеви часове - 6 часа, загуби - 20%, системно напрежение 12 V, позволено ниво на разреждане до 70 %, дневна консумация на енергия-36 kWh, необходимият капацитет на батерията е 4928,6 Ah., въпреки че има монтирани честотни регулатори.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД КЪМ ИЗСЛЕДВАНАТА ОБЛАСТ

1. Научно-теоретични

- Обоснована е нова теоретична рамка за анализ на енергийната ефективност в областта на ВЕИ, отчитат се специфичните особености на генериране на ел.енергия, свързани с нейното качество, регистрираните активни загуби на мощност, надеждността и устойчивостта на генериращите източници, а също така и възможностите за регулиране, управление и оптимизация на количествата електрическа енергия в условията на либерализиран и балансиран пазар. Това в пълна степен се отнася и за биогазовите централи, въпреки техните неголеми мощности. Чрез прилагане в сферата на ВЕИ, в частност в развитието на биогазовите централи е обосновано ново теоретично виждане за процесите и динамиките при навлизането в традиционни сектори като енергийния.

- Разработен и е приложен нов методически подход за анализ и е извършено математическо моделиране на процесите за постигане на максимална електроенергийна ефективност при експлоатацията на биогазовите инсталации

- Формулиран е метод за изчисляване на пропорционалните загуби на мощност, които имат пряко отношение към електро-енергийната ефективност на различните ВЕИ. На база на представените формализации е предложена блок схема, с помощта на която може да се създаде софтуерно приложение към автоматизиран измервателен комплекс за оценка на електро енергийната ефективност на биогазови централи. Предложената методология е оригинална и иновативна за тази нова област от електроенергетиката, каквито са биогазовите инсталации

- Формулирани са препоръки за въвеждане на политика по електроенергийна ефективност във ВЕИ-сектора където да се дефинира и идентифицира понятието „електроенергийна ефективност“ като енергийна категория, за която нормативните изисквания и стандартите да определят специална територия с методически указания и правила за приложение, одитиране и контрол.

- Разработен теоретико-практичен подход за определяне мощността и генерираната ел.енергия в биогазови инсталации. Създаден е метод за изчисляване на пропорционалните загуби на мощност, които имат пряко отношение към електроенергийната ефективност на различните ВЕИ. На база на представените формализации е предложена блок схема, с помощта на която може да се създаде софтуерно приложение към автоматизиран измервателен комплекс за оценка на електро енергийната ефективност на биогазови централи.

Практико-приложни

- Установено е, че удължаването на времето за действие на ултразвуковото поле не оказва значително влияние върху увеличаване производството на биогаз. Проследени са измененията в активността на микроорганизмите при различни реакционни условия, като е установено, че в присъствие на ултразвуково поле, активността на използваните микроорганизми нараства в границите от 8 до 14 %..

- В действаща биогазова централа са проведени изследвания от технологичен характер, направен е критичен анализ на енергийната й ефективност и са предложени редица мероприятия за подобряване на експлоатационните характеристики на съоръжението

- За повишаване ефективността на работа на биореактора е внедрено използването на ултразвук при обработка на материалите, като разхода за обработка на 1m³ отпадък преди подаването му в биореактора е само 4 kWh. Обработваният с ултразвук биореактор увеличава добива на метан с около 30-32 % за 20 часа, докато биореактора без обработка е в границите до 16 %.

- Експериментално е определена работната честота на източник на ултразвуково поле, като дължината на ултразвуковата вълна, генерирана от използваният пиезоелектричен източник и е равна на 4.6 см, а реалната й честота - 40 kHz. В хода на проведените експерименти се установи, че за оптимална работа на ултразвуковата система е необходима температура, в диапазона от 36°C - 37°C. Извън този диапазон за температурата на

работната среда, значително се влошава ефекта от ултразвуковата обработка.

**ОСНОВНИТЕ РЕЗУЛТАТИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД СА
ОТРАЗЕНИ В СЛЕДНИТЕ ПУБЛИКАЦИИ:**

1. Irina Schneider, Nora Dinova, Ivaylo Yotinov, Elmira Daskalova, Nikolay Savov, Yana Topalova, COMPARATIVE ASSESSMENT OF DENITRIFICATION / NITRIFICATION PROCESSES IN WATER TREATMENT TECHNOLOGIES IN WWTP “SADINATA” AND WWTP “KUBRATOVO”, Ecological Engineering and Environment Protection, IX, 2017, p. 66-75.
2. Teodora Hristova, Nikolai Savov, Petya Gencheva, Causes of malfunctions with installations for refuse derived fuel and a non-hazardous waste landfill, Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски, ISSN 1312-1820,58, II, (2017) 90-95.
3. Р. Александров., Н. Савов, Устройство за селективна магнитна флукулация, Сборник с доклади Национална научно - техническа конференция с международно участие "Автоматизация в минната индустрия и металургията", ISSN 1314 - 4537, БУЛКАМК' 18, София, 15-16.11.2018 г, с. 105 – 109.
4. Nikolay Savov, Teodora Hristova, Petya Gencheva, Exploring possible accidents and recommendations for biological waste treatment installations, 8th International Multidisciplinary Symposium „Challenges and opportunities for sustainable development through quality and innovation in engineering and research management”, UNIVERSITARIA SIMPRO 2018, ISSN–L 1842 – 4449 ISSN 2344 – 4754, p.393-398.
5. T Hristova, A Yanev, N Savov, Determination of the influence of jaw movement frequency of jaw crusher on energy consumption, Annals of the University of Petrosani, Electrical Engineering, 20 (2018)
6. Н Савов, Относно „ефективността“ на националната политика и законодателството по „енергийна ефективност“ в областта на електроенергетиката, Списание „Енергиен форум“ 2022 год. , ISSN 1313-2962. стр. 12-14
7. Teodora Hristova, Nikolai Savov, Peyo Hristov, Investigation of the possibilities for application of DLT in the production of electricity from biogas, 12th Electrical Engineering Faculty Conference 978-1-7281-9439-4/©2020 IEEE.