



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
Инженерно – педагогически факултет
Катедра Електротехника, автоматика и информационни
технологии

Маг. инж. Атанас Колев Атанасов

**СЪЗДАВАНЕ НА ХИБРИДНА ИНТЕЛИГЕНТНА
ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА
АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика

Научна специалност: Електрически мрежи и системи

Научни ръководители: Проф. д-р инж. Стефка Неделчева
Доц. д-р инж. Таня Пехливанова-Гочева

СЛИВЕН, 2020 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Електротехника, електроника и информационни технологии“ към ИПФ – Сливен на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 6.07.2020 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 09.11.2020 г. от 13.00 часа в зала 1207 на ИПФ, гр. Сливен, бул. „Бургаско шосе“ 59 на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ- 5.2-84/ 17.07.2020 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Доц. д-р Диляна Николаева Господинова – председател
2. Проф. д-р Никола Петров Михайлов – научен секретар
3. Проф. д.т.н. Миролуб Иванов Младенов
4. Проф. д.т.н. Чавдар Иванов Дамянов
5. Доц. д-р Лилия Анестиева Станева

Рецензенти:

1. Проф. д-р Никола Петров Михайлов
2. Доц. д-р Диляна Николаева Господинова

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ИПФ - Сливен на ТУ-София, бул. „Бургаско шосе“ №59, Сливен.

Дисертантът е докторант свободна форма към катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ на ИПФ - Сливен. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Атанас Атанасов

Заглавие: Създаване на хибридна интелигентна електрическа мрежа за хранване на автономен електроенергиен обект

Тираж: 20 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Изследванията в дисертационния труд са в областта на изграждането на хибридни интелигентни електрически мрежи с малка мощност, наречени още мини-интелигентни хибридни системи (МИХС) или активно - адаптивни мрежи, изградени от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), съставени от фотоволтаични и вятърни генератори на електрическа енергия.

Акцентираща се върху създаване на концепция за изграждане на мини-интелигентна хибридна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект. Разгледани са специфични въпроси свързани с факторите влияещи върху капацитета на акумулиращите системи, изчисляване на оптималния брой дни автономност според конкретните експлоатационни условия на МИХС.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на изследването е създаване на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект.

Основните задачи за изследване в дисертацията са:

- Да се създаде методика и алгоритъм за структуриране на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект. Да се определи товаровият график на потребителя и да се оптимизира съставът на хибридната система в съответствие със захранвания електрически товар.
- Да се проведе енергиен одит на участващите енергийни източници в състава на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект.
- Да се създаде методика за избор и оразмеряване на акумулиращата система в хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект.
- Да се изготви технико-икономически анализ на приложимостта на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект.

За изпълнение целта на изследването се използват теоретичен анализ, методи на математическата статистика, експериментални изследвания, методи за оптимизация.

Научна новост

Научната новост се състои в разработване на методика за избор на оптимален състав на автономна слънчево-вятърна хибридна система в съответствие със захранвания електрически товар, отчитаща излишъка на произведена енергия и изравнената цена на произведената енергия (LCOE) и методика за изготвяне на технико-икономически анализ на приложимостта на хибридна мини-интелигентна електрическа система за захранване на автономен електроенергиен обект.

Практическа приложимост

- Направени са изследвания на ветровия потенциал в региона на гр. Ямбол за период от една година. Измерени са средните скорости на вятъра през интервал от 1 час.
- От получените резултати е определено средното очаквано производство на електроенергия от един ветрогенератор.
- С използването на спътникови данни за слънчевото греене в региона е определено очакваното средно производство на енергия от един слънчев панел.
- Проучено е потреблението на електроенергия на жилищни обекти в района на област Ямбол и е построен стандартизиран товаров профил на битов потребител.

- Разработено е устройство за измерване на товаров профил.

Апробация

Дисертационният труд е докладван и обсъден на разширен катедрен съвет на катедра "Електротехника, автоматика и информационни технологии" при ТУ – София, ИПФ – Сливен. Части от темата са докладвани на:

- Списание „Applied Researches in Technics, Technologies and Education“, Vol. 6, No. 2, 2018 ISSN 1314-8788 (print), ISSN 1314-8796 (online).
- Международна конференция за млади учени "Мениджмънт и качество" 2018, Ямбол, 10-12 май 2018.
- Международна конференция "Техника, технологии и образование" ICTTE 2018, Ямбол, 18-19 октомври 2018.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 6 бр. научни статии в България, от които 4 бр. самостоятелни публикувани в списание „Известия на ТУ – Сливен“, № 4, 2018, № 3 и № 4, 2019г. и 2 бр. в съавторство – едната публикувана в Списание „Applied Researches in Technics, Technologies and Education“, Vol. 6, No. 2, 2018, а другата представена на научна конференция "Техника, технологии и образование" ICTTE 2018, Ямбол.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 129 страници, като включва увод, 5 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 154 литературни източници, като 103 са на латиница и 51 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 39 фигури, 2 схеми и 28 таблици. Номерата на фигурите, схемите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА ХИБРИДНА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

Пълното количество енергия, постъпваща на повърхността на Земята от слънчевото излъчване превишава енергията на всички световни запаси от изкопаеми горива и уран. Слънчевата енергия се използва основно по два способа – във вид на топлинна енергия и посредством фотохимическа реакция (фотоволтаика), което е непосредствено преобразуване на слънчевото излъчване в електрическа енергия. В зависимост от материала, конструкцията и начина на производство се различават три поколения фотоволтаични панели. Първите са фотоволтаични панели на основата на пластини от кристален силиций. Второто поколение са изработени от тънки пластини и позволяват да се произвеждат гъвкави, в перспектива и по – евтини панели с голяма площ. Недостатъкът им е по – ниският коефициент на преобразуване. Разработваното в момента, трето поколение е на основата на органични и неорганични материали.

Популярността на използването на вятърната енергия винаги се е изменяла в зависимост от промяната на цената на горивата.

Ветрогенераторът е устройство за преобразуване на енергията на вятъра в електроенергия или в механическа за привеждане в движение на механични устройства. Най-често използваните в момента ветрогенератори, в зависимост от работното двигателно колело и ориентацията на оста в пространството, използват хоризонтални, въртележкови, роторни, барабанни хоризонтални и комбинирани ветродвигатели. В областта на вятърната енергетика има много нови идеи. Една от тях е генератор, който вместо да извършва въртливо движение, размахва „крилата“ си. Технологичен скок напред и революция в този вид енергия са алтернативните вятърни турбини, използващи аеродинамичен ефект. Енергията на вятъра се получава благодарение на колебанията на висок стълб.

Скоростта на вятъра е основния фактор, определящ избора на ветрогенератор. В урбанизираните територии, най – често скоростите на вятъра са много по - ниски от тези в откритите пространства. Това определя и използване на ветрогенератори с малки габаритни размери и малка начална скорост, откъдето и малка мощност. Малката мощност на единичните ветрогенератори се компенсира от възможността за разполагане на повече бройки на по-малка площ.

Производството на електроенергия от вятър и слънце отговаря на всички необходими условия за да бъде причислено към екологично чистите методи за производство на енергия.

Електрическата енергия се разглежда като една от най-лесно достъпните форми на енергия, но в своята форма не може да се съхранява. Единственият начин за съхранение е да се превърне в по - стабилна енергийна форма, която да се съхранява с намерението да се превърне обратно в електричество, когато е необходимо. Различните технологии, които могат да се използват за преобразуване на електроенергия в други форми, се разглеждат като технологии за съхранение на електрическа енергия. Продължителността на съхранение и ефективността са сред ключовите характеристики на технологиите за съхранение на електрическа енергия.

Съществуват много реализирани проекти използващи вятърната и слънчевата енергии в хибридни електрически мрежи, както със, така и без акумулиращи системи. Разработването на ефективна хибридна електро - енергийна система, използваща като първични източници на енергия слънчевата и вятърната енергии, е свързана с търсене и намиране на оптималната ѝ конфигурация и състав, с отчитане на реалните климатически условия на работа, характеристиките на използваното оборудване и особеностите на електропотреблението, включващи очакваните промени в графика на потребление.

Към момента в хибридните системи, захранвани с електрическа енергия от възобновяеми енергийни източници, предназначени за мощности до 100 kW, се използват акумулаторни батерии от различен тип, като акумулираща система за съхраняване на *електричеството, произведено от*

първичния енергиен източник. В автономните системи, използващи възобновяеми енергийни източници е препоръчително да се използват, макар и по-скъпите гелови оловно - киселинни батерии, които по-добре издържат на режимите на циклично зареждане.

1.5. Цели и задачи на изследването

Цел на изследването

Целта на дисертацията е създаване на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект.

Задачи

За постигане на поставената цел е необходимо да се решат следните задачи:

1. Да се създаде методика и алгоритъм за структуриране на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект. Да се определи товарният график на потребителя и да се оптимизира съставът на хибридната мрежа в съответствие със захранвания електрически товар.

2. Да се проведе енергиен одит на участващите енергийни източници в състава на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект.

3. Да се създаде методика за избор и оразмеряване на акумулиращата система в хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект.

4. Да се изготви технико-икономически анализ на приложимостта на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект. Приложимостта на инвестицията е оценена, като се използва параметърът „Изравнена цена на енергия (LCOE)“. LCOE е мярка, която позволява сравняване на различни методи за производство на електроенергия и различни източници на енергия.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

Проектирането на електроенергиен комплекс, изграден въз основа на ВЕИ е възможен само при достатъчно точна информация за посочените на Фиг. 2.1. параметри на географското разположение на обекта, получени в резултат на обработката на статистически данни и на познаването на товарния график на обекта.

2.1. МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ СЪСТАВА НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

При определяне на състава се вземат предвид резултатите за консумираните мощности от товарите графици. Изчислява се очакваното производство на електроенергия от двата типа енергийни източници. Изчислява се очакваното производство при различен брой фотоволтаични панели и ветрогенератори. Определя се окончателният брой на фотоволтаичните панели и на ветрогенераторите, така че да осигуряват производство на електроенергия, покриваща изцяло консумацията.

Хибридната система е проектирана за обект, разположен в урбанизирана територия с географски координати, северна ширина 42,4134 и източна дължина 26,5407, намиращ се в село Окоп, област Ямбол. Последователността при определяне на състава на хибридна вятърно - слънчева система за електрооснабдяване на автономен електроенергиен обект е показана на Схема 2.1.

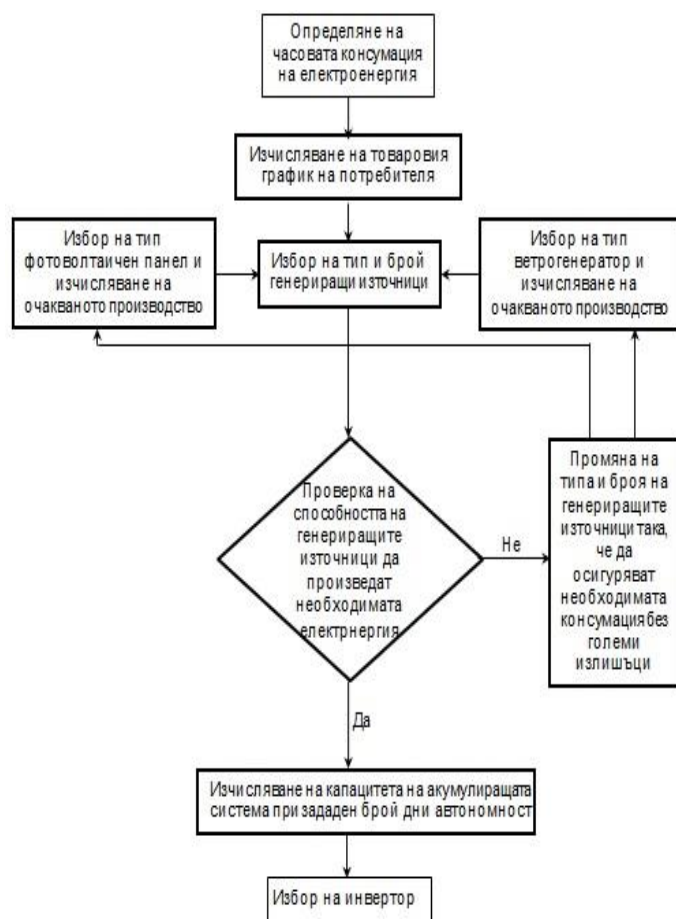


Схема 2.1. Последователност при определяне на състава на хибридна система за електрозахранване на автономен потребител

2.2. МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ГОЛЕМИНАТА НА ЗАХРАНВАНИЯ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТОВАР НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

Консумираната електрическа енергия ($A(t_p)$) за всеки месец през изследвания период е изчислена по формула:

$$A(t_p) = \int_0^{t_p} P(t) dt, \quad (2.1)$$

където,

$P(t)$ – консумирана активна мощност;

t_p – период от време.

Формулата се използва, когато данните за консумираните мощности се снемат от устройство за измерване през зададен интервал, което дава възможност за точно определяне на електрическия товар и товарния график.

По формула:

$$P_{cp} = \frac{A(t_p)}{t_p} = \frac{1}{t_p} \int_0^{t_p} P(t) dt, \quad (2.2)$$

е изчислена средната мощност (P_{cp}) за всеки месец през изследвания период.

Максималната месечна стойност на тази мощност се използва за изчисляване на акумулиращата система.

По формула:

$$P_{ck} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2(t) \Delta(t_i)}{\sum_{i=1}^n \Delta(t_i)}}, \quad (2.3)$$

където,

P_i – активна мощност в i интервал;

$\Delta(t_i)$ – продължителност на интервалите в товарния график;

$i=1, \dots, n$ – брой на интервалите в товарния график,

Средно квадратичната мощност (P_{ck}) е изчислена за всеки месец през изследвания период.

Описаната методика за изчисляване на мощностите позволява използване на данни, снимани от разработено за целта устройство, за измерване на консумираните мощности през зададен интервал.

2.3. МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОЧАКВАНАТА ГЕНЕРИРАНА МОЩНОСТ ОТ ФОТОВОЛТАИЧНАТА ЧАСТ НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

За определяне на слънчевата радиация върху изследвания обект са използвани данни от „CAMS Radiation Service v3.2 all-sky irradiation (derived from satellite data)“ [Sol-19], Provider: MINES ParisTech (France). Географските координати на обекта са Latitude (positive North, ISO 19115): 42.4134 и Longitude (positive East, ISO 19115): 26.5407, които са показани на Фигура 2.2. Измерванията са през един час по универсално време (UTC). Това означава 00.00 часа по Българско (EET) е равно на 22.00 ч. универсално време (UTC). При изчисляване на очакваното количество генерирана мощност са използвани данни за глобално облъчване на хоризонтална равнина на нивото на земята. (Wh/m^2) („Clear sky GHI. Clear sky global irradiation on horizontal plane at ground level (Wh/m^2)“), показани в Таблица 2.1.

Таблица 2.1. Данни за слънчевата радиация върху изследвания обект

# Observation period	GHI
2018-09-30T22:00:00.0/2018-09-30T23:00:00.0	0
2018-09-30T23:00:00.0/2018-10-01T00:00:00.0	0
2018-10-01T00:00:00.0/2018-10-01T01:00:00.0	0
2018-10-01T01:00:00.0/2018-10-01T02:00:00.0	0
2018-10-01T02:00:00.0/2018-10-01T03:00:00.0	0
2018-10-01T03:00:00.0/2018-10-01T04:00:00.0	0
2018-10-01T04:00:00.0/2018-10-01T05:00:00.0	17.5178
2018-10-01T05:00:00.0/2018-10-01T06:00:00.0	44.3269
2018-10-01T06:00:00.0/2018-10-01T07:00:00.0	60.6673
2018-10-01T07:00:00.0/2018-10-01T08:00:00.0	78.8645
2018-10-01T08:00:00.0/2018-10-01T09:00:00.0	94.2524

Изчисляването на електрическата енергия получена от фотоволтаични панели за един час се извършва по формулата:

$$P_{ФВП/ч} = \frac{E.S.N_{ФВП} \cdot \eta_{ФВП} \cdot \eta_{ТОПД}}{1000}, \quad (2.4)$$

където,

$P_{\text{ФВП/ч}}$ – Изработена от системата електроенергия за 1 час, в kWh;

E – Глобално облъчване на хоризонтална равнина на нивото на земята, (Wh/m²);

S – площта на фотоволтаичния панел, (m²);

$N_{\text{ФВП}}$ – брой на фотоволтаичните панели;

$\eta_{\text{ФВП}}$ – коефициент на полезно действие на панела;

$\eta_{\text{ТОПЛ}}$ – топлинен коефициент на фотоелектричния панел, отчитащ загубите при нагряване на панела.

Коефициентът $\eta_{\text{ТОПЛ}}$ денем през летните месеци се приема за равен на 85%, а през зимните месеци е равен на 1.

Основното предимство при използваната методика, е че при изчисляване на очакваното количество генерирана електрическа мощност, участват площта и коефициентът на полезно действие на панела, както и влиянието на загряването върху производителността на панела.

2.4. МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОЧАКВАНАТА ГЕНЕРИРАНА МОЩНОСТ ОТ ВЕТРОГЕНЕРАТОРИТЕ НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО – СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

Прецизното проучване на характеристиките на вятъра и метеорологичните особености на избрания терен са важен аспект от подготовката и експлоатацията на всеки ветроенергиен проект.

За изчисляване на очакваното производство на електроенергия от един ветрогенератор е ползвана формула :

$$P = \frac{\eta \cdot r \cdot S \cdot V^3}{2 \cdot 1000}, \text{ kW} \quad (2.5)$$

където,

η - коефициент на използване на енергията на вятъра, който за малките съвременни трилопаткови ветрогенератори се приема равен на 0,52.

r - плътност на въздуха (kg/m³), приема се за 1,225 kg/m³ при температура 15°C и атмосферно налягане 760 mm Hg;

S - площ на лопатките (m²);

V - скорост на вятъра (m/s), която се взема от едночасовите измервания, отчетени с метеорологичната станция PCE-FWS-20.

Изборът на методиката се определя от наличните данни за моментната скорост на вятъра.

2.5. МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА АКУМУЛИРАЩАТА СИСТЕМА НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

2.5.1. ИЗИСКВАНИЯ КЪМ АКУМУЛАТОРНИТЕ БАТЕРИИ

За да отговарят на определените от производителя спецификации за живота на батерията, се вземат предвид и условията на работа, които влияят на експлоатационния период на батерията:

- ❖ Проектен срок на употреба. Техническите данни по експлоатационен срок са различни, както за отделните производители, така и за различните акумулатори. За акумулаторите VRLA (клапанно-регулирани оловно-кисели батерии) проектният експлоатационен срок е 5, 10 и 12 години;

- ❖ Срок на употреба. Експлоатационният срок в действителност показва приблизителното време, в което акумулаторът с зададен проектен експлоатационен срок от *производителя, ще остане в границите на описаните за него параметри, отчитайки реалната употреба;*

- ❖ Изисквания определени от физическата околната среда при експлоатацията;

- ❖ Изисквания, определени от електрическата среда при експлоатацията

2.5.2. МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА АКУМУЛИРАЩАТА СИСТЕМА

Най – важното предимство на избраната методика, е че при нея акумулиращата система се изчислява съобразно времето на изключване от електроенергийната система. Това в разглеждания случай е равнозначно на брой часове без добив на електрическа енергия от нито един от генериращите елементи т.е. часове автономност. Освен това изчисленията се извършват при известен захранван електрически товар (инсталирана или максимална средна мощност).

За изчисляване на акумулираща система е необходимо да са известни величините:

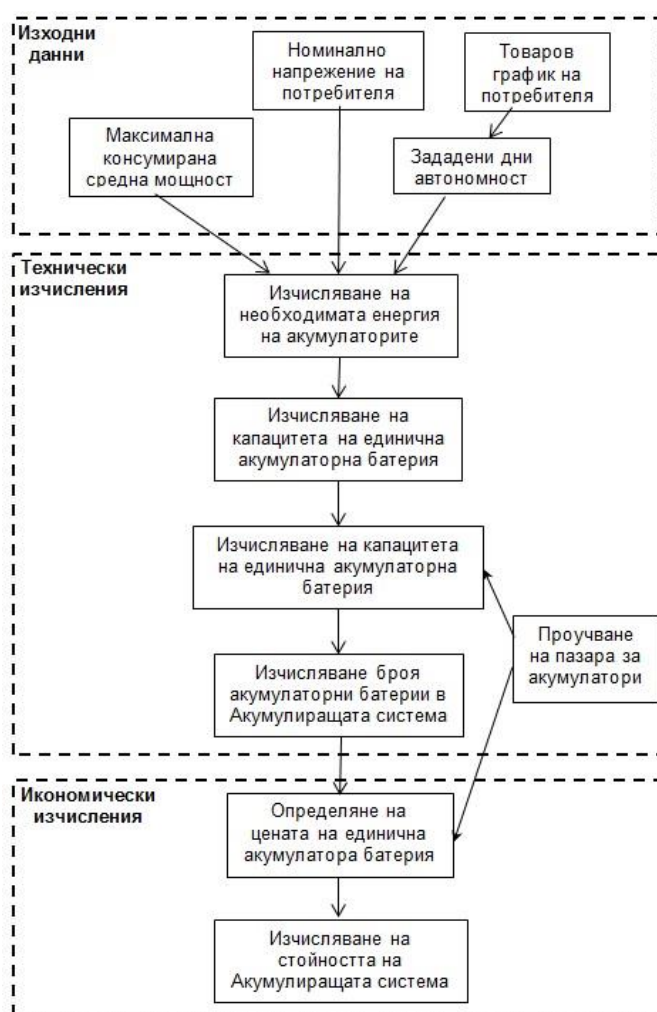
мощност на електроенергийния обект;

напрежение на захранване (изходното напрежение на потребителя);

график на потреблението (товаров график);

брой часове, през които захранването да се осигури от акумулиращата система брой (брой часове автономност);

Методиката на изчисленията е представена на Фигура 2.3.



Фигура 2.3. Методика за изчисляване на параметрите на акумулираща система

1. Изчисляване на номиналния ток на акумулиращата система за избрани часове (дни) автономност, напрежение на акумулиращата система и избран акумулатор:

- Ползва се максималната стойност на изчислената, за всеки месец, по формула (2.2), средна мощност за целия период;

- Брой часове автономност Тизкл (h). Избрани са 3 дни автономност = 72 h. Броят часове автономност се избират като се съпоставят параметрите на вятъра и на слънчевото лъчение за изследваното място. Преценява се за колко часа е възможно електрическият товар да остане без захранване.

- Входно постоянно (DC) напрежение на потребителя $U_{вх}$ (V), което е обект на оптимизация, на волт - амперните характеристики на акумулаторните батерии при последователно и/или паралелно свързване. Като правило $U_{вх}$ е напрежението на изхода на акумулиращата система преди инвертора, Схема 2.2. Напрежението на акумулиращата система се избира същото като напреженията на „вятърната“ и „фотоволтаичната“ части, с цел използване на еднакви напрежения, което ще доведе до икономия на елементи, съответно намаляване на загубите от преобразуване.

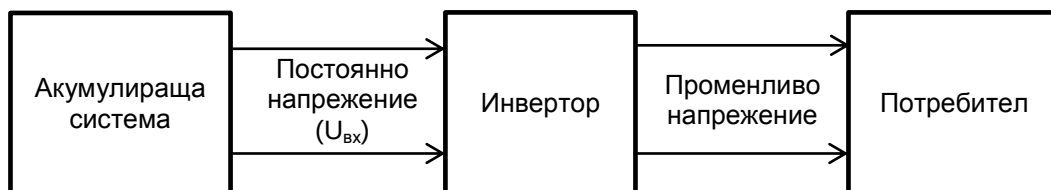


Схема 2.2. Схема на преобразуване на енергията от акумулиращата система до потребителя

$U_{вх}$ за автономния потребител се планира такова, че от гледна точка на безопасността и отсъствие на скъпо струващо силово оборудване, се изпълнява неравенството:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{U_{вх}} < 200, \quad A \quad (2.6)$$

където,

$I_{ном}$ - номиналният ток на акумулиращата система;

$P_{ном}$ – максималната стойност на средната мощност за целия период.

2. Изчисляване на енергията ($E_{АБ}$), потребявана от акумулиращата система по време на дните автономност, на автономния електроенергиен обект, за време $T_{изкл} = 72$ h. (3 дни автономност):

$$E_{АБ} = P_{ном} \cdot T_{изкл}, \quad Wh \quad (2.7)$$

3. Изчисляване на капацитета на акумулиращата система - $C_{АС}$

Взема се консумирания ток $I_{ном}$ от изчисленията във формула (2.6).

Изчисляване на номиналния капацитет на акумулиращата система - $C_{АС/ном}$.

$$C_{АС/ном} = I_{ном} \cdot T_{изкл}, \quad Ah \quad (2.8)$$

Капацитетът на акумулиращата система ($C_{АС}$) с поправка на изискванията по преразряд се получава по формула (2.9):

$$C_{АС} = C_{АС/ном} \cdot \frac{100}{Q}, \quad Ah \quad (2.9)$$

Q е максималната степен на разряд на акумулаторната батерия, посочена от производителя или избрана за изчисленията.

При избор на тип на батерията, с различна максимална степен на разряд от избраната (Q), е необходимо да се направят съответните поправки в изчисленията.

4. Изчисляване на броя батерии в акумулиращата система

Определяне на номиналното напрежение и капацитета на единична батерия изхождайки от възможностите предлагани от пазара:

- Напрежение на единична батерия (U_{ED});
- От данните предоставени от производителя (търговеца) се взема капацитета на единична батерия (C_{ED}):

Спазва се изискването: степента на разряд да не е повече от Q, % (определен от производителя или избран за изчисленията).

4.1. Определяне на броя единични батерии включени последователно $N_{\text{Бат/посл}}$.

$$N_{\text{Бат/посл}} = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{ED}}}, \quad \text{броя.} \quad (2.10)$$

4.2. Сравняване на капацитета на блока последователно свързани батерии ($C_{\text{Бат/посл}}$) с необходимия капацитет на акумулиращата система (C_{AC}).

Ако в случая се изпълнява неравенството

$$C_{\text{Бат/посл}} < C_{AC}, \quad \text{А h,}$$

е необходимо паралелно да се включи същият брой блокове от последователно свързани акумулаторни батерии ($N_{\text{Бат/посл}}$).

Количеството паралелно включени блокове ($N_{\text{Блокове/пар.}}$), ще бъдат:

$$N_{\text{Блокове/пар}} = \frac{C_{AC}}{C_{ED}}, \quad (2.11)$$

Закръглява се $N_{\text{Блокове/пар}}$ до цяло число в зависимост от допустимите отклонения по ниво на преразряда, позволени от производителя.

4.3. Определяне на общото количество батерии в акумулиращата система ($N_{\text{Бат}}$):

$$N_{\text{Бат}} = N_{\text{Бат/посл}} \cdot N_{\text{Блокове/пар}}, \quad \text{броя} \quad (2.12)$$

5. Изчисляване цената на единичната акумулаторна батерия C_{ED} :

6. Изчисляване цената на акумулиращата система (C_{AC}) :

$$C_{AC} = N_{\text{Бат}} \cdot C_{ED}, \quad \text{лв.} \quad (2.13)$$

ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОПТИМАЛЕН СЪСТАВ НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

3.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ ГОЛЕМИНАТА ЕЛЕКТРИЧЕСКИЯ ТОВАР НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

Методики за определяне на товаров график:

- Точно определяне на електрическия товар чрез измерване на консумираната мощност през зададен интервал;
- Закупуване на данните от електроразпределителното дружество;
- Използване на данните от месечната консумация и изчисляване на стандартизиран товаров профил.

3.1.1. ОПРЕДЕЛЯНЕ ГОЛЕМИНАТА ЕЛЕКТРИЧЕСКИЯ ТОВАР ЧРЕЗ СТАНДАРТИЗИРАН ТОВАРОВ ПРОФИЛ

В изследването е използвано изчисляване на стандартизиран товаров профил за “ Битов клиент общ профил, НО” на „Електроразпределение Юг“ за 2018 г. и 2019 г. Коефициентите в стандартизираните товаров профили са преобразувани в часови стойности след изчисляване по дадената от електроразпределителното предприятие методика, като се използват данните от ежемесечните фактури за изследвания период. Изчислените стойности на консумираната електроенергия е увеличена с 20% с цел покриване на непредвидени при изчисленията загуби и евентуално бъдещо увеличаване на потреблението.

В таблица 3.2. са представени данните за консумираната електрическа енергия и изчислените стойности на пълната консумирана електроенергия, средната мощност, средно-квадратичната мощност, за всеки месец, както и за минималната и максималната часова мощност.

Таблица 3.2. Обобщена информация за изчислените стойности на мощностите

месец	Увеличена с 20 %	$A(t_p) = \int_0^{t_p} P(t) dt =$	$P_{cp} = \frac{A(t_p)}{t_p} = \frac{1}{t_p} \int_0^{t_p} P(t) dt =$	$P_{ck} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2(t) \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}} =$	Pmin kW	Pmax kW
октомври 2018	302,4 kWh	252 kWh	0,338255 kW	0,3647602 kW	0,128199	0,628263
ноември 2018	321,6 kWh	268 kWh	0,37222 kW	0,4046629 kW	0,130844	0,724942
декември 2018	365,2 kWh	304 kWh	0,446237 kW	0,4875421 kW	0,155445	0,861247
януари 2019	362,4 kWh	302 kWh	0,419355 kW	0,4563087 kW	0,147317	0,816203
февруари 2019	361,2 kWh	301 kWh	0,447917 kW	0,4872696 kW	0,157225	0,871098
март 2019	333,6 kWh	278 kWh	0,373656 kW	0,4056625 kW	0,1284293	0,711557
април 2019	318 kWh	265 kWh	0,368056 kW	0,3957227 kW	0,139056	0,681467
май 2019	279,6 kWh	233 kWh	0,313172 kW	0,3351064 kW	0,115979	0,568373
юни 2019	270 kWh	225 kWh	0,3125 kW	0,3324811 kW	0,122432	0,55751
юли 2019	292,8 kWh	244 kWh	0,327957 kW	0,3483547 kW	0,128902	0,586973
август 2019	298,8 kWh	249 kWh	0,334677 kW	0,355664 kW	0,13123	0,597575
септември 2019	325,2 kWh	271 kWh	0,376389 kW	0,4031527 kW	0,139771	0,684971
Минимална стойност	270 kWh	225 kWh	0,3125 kW	0,3324811 kW	0,115979	0,55751
Максимална стойност	365,2 kWh	304 kWh	0, 447917 kW	0,4875421 kW	0,157225	0,871098

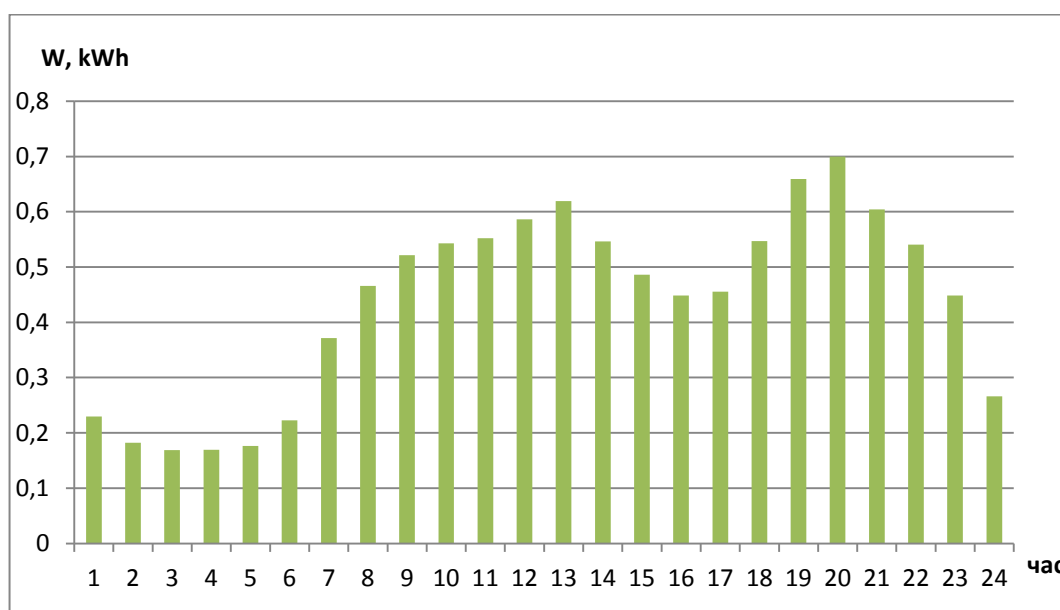
Средната дневна консумация за изследвания период на обекта е определена с помощта на Стандартизирания товаров профил, предоставен от доставчика на електроенергия за региона. Средната консумирана електроенергия през различните сезони е най –голяма през зимата и най – малка през лятото.

Таблица.3.3. Средна консумация на енергия през различните сезони

Средна консумирана енергия	Пролет		Лято		Есен		Зима	
	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh
Средна консумирана енергия	Март	278	Юни	225	Септември	271	Декември	304
	Април	265	Юли	244	Октомври	252	Януари	302
	Май	233	Август	249	Ноември	268	Февруари	301
	Средно	258,7	Средно	239,3	Средно	263,7	Средно	302,3
Прогнозна консумирана енергия (+ 20%)	Март	333,6	Юни	270	Септември	325,2	Декември	365,2
	Април	318	Юли	292,8	Октомври	302,4	Януари	362,4
	Май	279,6	Август	298,8	Ноември	321,6	Февруари	361,2
	Средно	310,4	Средно	287,2	Средно	316,4	Средно	362,9
Общо		931,2		862,5		949,2		1088,7

Обща прогнозна консумация за една година 3831,6 kWh

Целогодишно консумацията на електроенергия е най – ниска в нощните часове, увеличава се с напредване на деня, леко намалява в следобедните и е най- голяма във вечерните часове.



Фигура 3.7. Средна дневна консумация за изследвания период

Средната дневна консумация за изследвания период е показана на Фигура 3.7, тя повтаря графиките от сезонните.

3.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОЧАКВАНАТА ГЕНЕРИРАНА МОЩНОСТ ОТ ФОТОВОЛТАИЧНАТА ЧАСТ НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

При проектиране на фотоволтаичната част на хибридната интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект е избран монокристален фотоволтаичен панел GSM 500-96 (Greensun 96cells Mono 48v Solar Panel 500w) с размери 1956/1310/45mm (S = 2,5624 m²).

Изборът на този панел е обоснован от максималното му напрежение - 48,63 V, което позволява по – лесно съгласуване с останалите елементи на системата. Размерите на панела позволяват максимално запълване на покрива на обекта. Не е маловажна и цената на един брой панел (135\$ ≈ 256 лв) за 500 W мощност на панела.

По избраната в 2.3. методика е изчислено очакваното количество електроенергия от един брой панел. Очакваното производство на електроенергия от слънчевата радиация, за всеки месец, от един брой панел, е показано на Таблица 3.8.

Таблица 3.8. Очакваното производство на електроенергия от слънчевата радиация, за всеки месец от един брой панел

месец	1 бр. ФВ панел, kW h
октомври 2018	37,78134
ноември 2018	21,26477
декември 2018	19,93906
януари 2019	24,82081
февруари 2019	35,29655
март 2019	66,22622
април 2019	75,58357
май 2019	82,67981
юни 2019	88,04874
юли 2019	90,15239
август 2019	84,76681
септември 2019	61,85528
Минимална стойност	19,93906
Максимална стойност	90,15239

Месецът с най - голямо очаквано производство на електроенергия е юли, а с най - малко очаквано производство декември. С жълто са оцветени месеците, в които топлинният коефициент ($\eta_{\text{топл}}$) на панела е равен на 1 т.е. произведената от панела електроенергия не намалява в резултат на нагряването му.

3.3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОЧАКВАНАТА ГЕНЕРИРАНА МОЩНОСТ ОТ ВЕТРОГЕНЕРАТОРИТЕ НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО – СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

При избора на ветрогенератор е необходимо да се измерят скоростта и посоката на вятъра за достатъчно продължителен интервал от време. Най – често минималното време през което се измерват скоростите и посоките на вятъра е една година. Скоростта на вятъра, върху изследвания обект е измервана с метеорологична станция PCE-FWS-20. Използването ѝ позволява:

- Измерване на скоростта на вятъра: 0 ... 180km/h
- Измерване посоката на вятъра: 0 ... 360o
- Избор от средна скорост на вятъра „Wind Average Speed“ към моментен вятър „Gust Speed“, както и възможност скоростта на вятъра да се отчита в km/h, mph, m/s, knots или bft.

Измерванията са провеждани 12 месеца (октомври 2018 г. – септември 2019 г.) с интервал на измерванията 1 час.

За генериращ елемент във вятърната част е избран ветрогенератор WS2000 мощност 2000W.

Изборът му е продиктуван от:

- възможност за работа с постоянно напрежение 48 V, което е съгласувано с напреженията на фотоволтаичната част и акумулиращата система;
- възможност за паралелна работа със слънчеви панели и други източници на захранване;
- подходящ за места без централно електрическо захранване и слаби ветрове;
- сравнително ниско тегло на системата и диаметър на витлата, позволяващ използването в урбанизирани територии;
- с ниски нива на шум, отговарящи на изискванията на Наредба № 6 от 26.06.2006 г. за показателите за шум в околната среда, отчитащи степента на дискомфорт.

Изчислено е очакваното производство на електроенергия от един ветрогенератор за всеки месец поотделно. Очакваното производство на електроенергия от силата на вятъра, за един ветрогенератор от избрания тип, за всеки месец е показано на Таблица 3.12.

Таблица 3.12. Очакваното производство на електроенергия от един ветрогенератор, за всеки месец

месец	От 1 бр. ВГ, kW h
октомври 2018	34,35479
ноември 2018	84,42495
декември 2018	50,57
януари 2019	54,58415
февруари 2019	65,0287
март 2019	76,58725
април 2019	43,1841
май 2019	53,01915
юни 2019	57,2547
юли 2019	15,868615
август 2019	33,623245
септември 2019	41,199385
Минимална стойност	15,868615
Максимална стойност	84,42495

С използването на софтуер Lakes Environmental WRPLOT View Freeware V.8.0.0. са определени преобладаващите посоки на вятъра, изчертани са рози на ветровете, определена е средната скорост на вятъра и са изчислени честотните разпределения на ветровете както в задавани скоростни интервали, така и по посоки.

В таблица 3.14. са представени обобщени данни за енергийния потенциал на вятъра, при измерване на средната скорост (Wind Average Speed) на вятъра, на изследвания обект. Скоростните интервали, в които са групирани резултатите от изчисленията, са подбрани така, че средата на интервала да съвпада със стойност от кривата на мощността на ветрогенератора, предоставена от търговеца (за кръгла 1, 2 и т. н. m/s, мощност).

Анализът на таблицата показва, че най – големият процент от ветровете е в интервала от 0 до 2,5 m/s. Средната скорост на вятъра има сравнително близки стойности. Резултантният вектор през месеците декември 2018г., януари 2019 г., юли 2019 г. и август 2019 г. е с близки стойности, което означава, че преобладаващите посоки на ветровете са близки, не са измервани скорости на вятъра по – големи от 9 m/s.

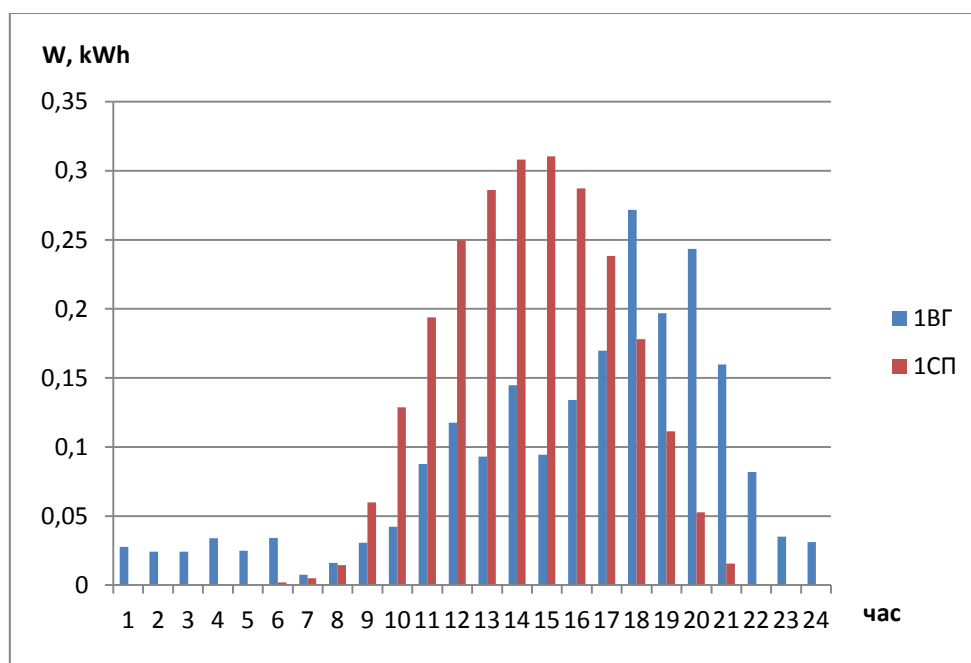
Таблица 3.14. Обобщени данни за енергийния потенциал на вятъра на изследвания обект

Месец, година	Процент измервания в интервалите на скоростите на вятъра									Средна скорост на вятъра за периода m/s	Резултантен вектор, градуси
	0 - 2,5 m/s	2,5 - 3,5 m/s	3,5 - 4,5 m/s	4,5 - 5,5 m/s	5,5 - 6,5 m/s	6,5 - 7,5 m/s	7,5 - 8,5 m/s	8,5 - 9,5 m/s	≥ 9,5 m/s		
Октомври 2018	71,1	15,5	8,7	2,4	1,2	0,9	0	0	0	1,32	46
Ноември 2018	57,9	13,9	12,2	8,6	3,6	2,4	0,8	0,4	0	1,94	33
Декември 2018	80,4	10,8	4,6	1,9	0,1		0	0	0	0,86	265
Януари 2019	78,2	10,5	5,1	1,9	0,4	0,1	0	0	0	0,89	273
Февруари 2019	58,6	17,3	11,2	6,8	3,9	1,5	0,3	0,3	0	1,84	21
Март 2019	61,3	15,2	9,8	6,5	4,2	2,4	0,3	0,3	0	1,83	43
Април 2019	71,3	14	6,8	4,9	1,1	1,3	0,3	0,3	0	1,39	65
Май 2019	68,8	15,3	7,5	3,4	3,1	1,2	0,3	0,3	0	1,5	109
Юни 2019	64,2	14,7	9,7	5	4,4	1	0,8	0	0	1,51	3
Юли 2019	85,3	8,9	3	1,7	0,5	0,1	0,1	0	0	0,88	249
Август 2019	76,1	10,6	7,3	3,5	1,3	0,7	0	0,1	0	1,21	232
Септември 2019	71,8	12,1	8,3	4,4	1,8	1,3	0,1	0	0	1,32	60

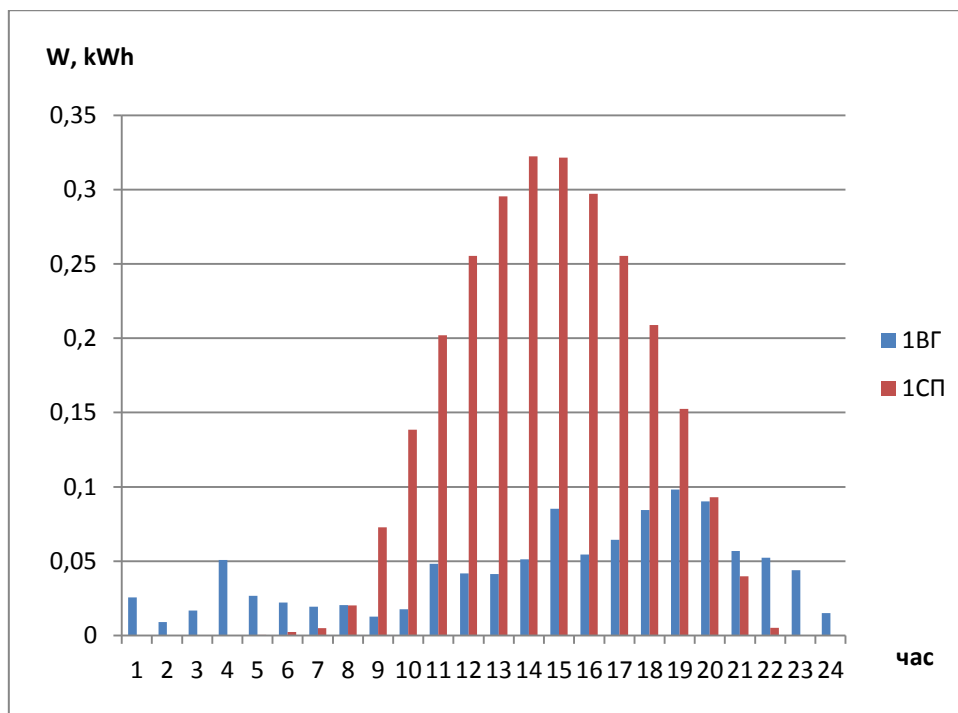
3.4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЪСТАВА НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО – СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ПО НЕОБХОДИМАТА КОНСУМИРАНА МОЩНОСТ

От консумираните мощности се определят броят панели и ветрогенератори, които да осигуряват производство на електроенергия осигуряващо автономността на системата.

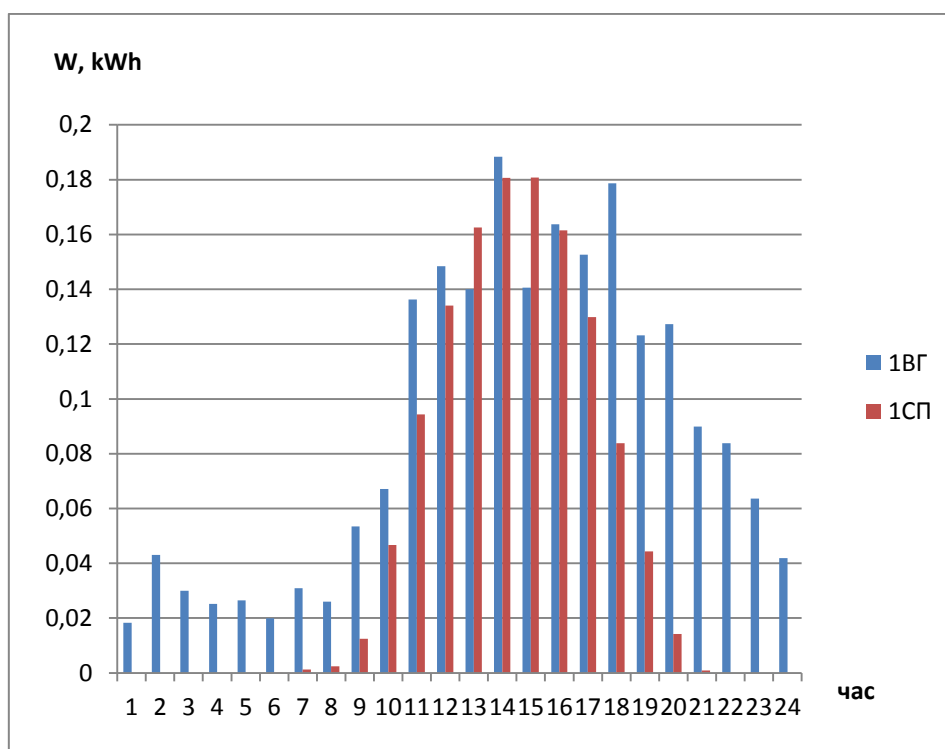
Изчислено е производството на енергия от двата вида източници за всеки час и на база на това са направени оценки на средното производство през различните сезони, както и общо за изследвания период (Фигури 3. 20, 3.21., 3.22., 3.23. и 3.24.).



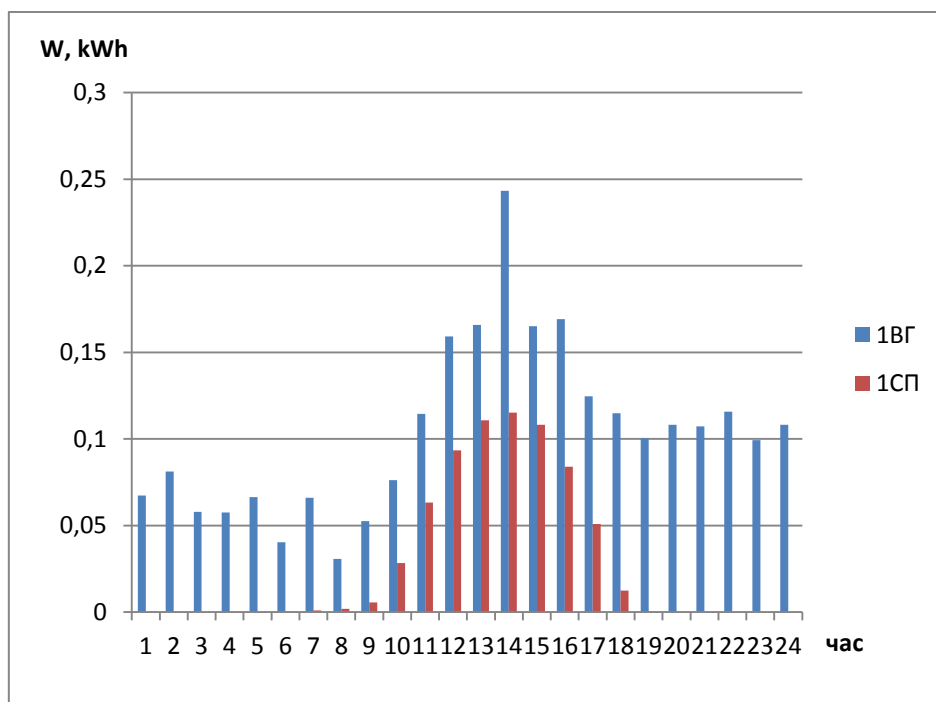
Фигура 3.20. Средно производство на електроенергия от един ветрогенератор и един слънчев панел през пролетта



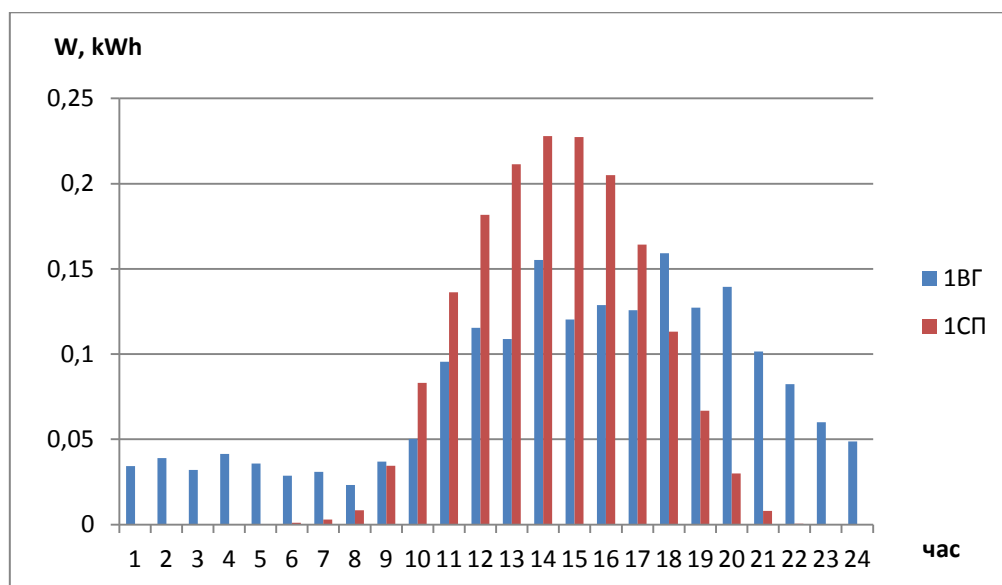
Фигура 3.21. Средно производство на електроенергия от един ветрогенератор и един слънчев панел през летния сезон



Фигура 3.22. Средно производство на електроенергия от един ветрогенератор и един слънчев панел през есента



Фигура 3.23. Средно производство на електроенергия от един ветрогенератор и един слънчев панел през зимния сезон



Фигура 3.24. Средно дневно производство на електроенергия от един ветрогенератор и един слънчев панел през изследвания период

Географските характеристики на изследвания обект са такива, че двата енергийни източника генерират най-голяма енергия в часовете от 11 до 20 часа. Поради неравномерното разпределение на енергийния потенциал на вятъра и слънцето, самостоятелно използване на източниците без акумулираща система е невъзможно.

Таблица.3.15 Средна произведена енергия от един източник за различните сезони

Вид на източника	Пролет		Лято		Есен		Зима	
	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh
Фотоволтаичен панел	Март	62,25	Юни	82,77	Септември	58,14	Декември	18,74
	Април	71,05	Юли	84,74	Октомври	35,52	Януари	23,33
	Май	77,72	Август	79,68	Ноември	19,98	Февруари	33,18
	Средно	70,34	Средно	82,40	Средно	37,88	Средно	25,08
Ветрогенератор	Март	84,59	Юни	46,21	Септември	43,11	Декември	59,21
	Април	47,34	Юли	14,23	Октомври	38,93	Януари	65,3
	Май	58,45	Август	36,56	Ноември	105,87	Февруари	79,1
	Средно	63,33	Средно	32,33	Средно	62,66	Средно	67,66

От Таблица 3.15 се вижда, че за една година прогнозното производство, от ветрогенератор е 291,3 kWh, от фотоволтаичен панел 215,6 kWh, общо 506,9 kWh.

За да бъде напълно задоволена потребността от електрическа енергия през всеки месец са изчислени необходимия брой източници. Обобщени резултати са показани в Таблица 3.16.

Таблица 3.16. Необходим брой източници за задоволяване на необходимата мощност по месеци

Месец	Октомври 2018	Ноември 2018	Декември 2018	Януари 2019	Февруари 2019	Март 2019	Април 2019	Май 2019	Юни 2019	Юли 2019	Август 2019	Септември 2019
Бр ВГ	Брой фотоволтаични панели											
0	9	17	20	16	11	6	5	4	4	4	4	7
1	8	11	17	13	9	4	4	3	3	4	4	5
2	7	6	14	10	7	3	4	3	3	4	3	4
3	6	1	10	8	4	2	3	2	2	3	3	4
4	5	0	7	5	2	0	2	1	1	3	2	3
5	3	0	4	4	2	0	2	0	1	3	2	2

Възможните варианти на конфигурации на хибридна мрежа, с които може да се покрие изискването за натоварване за месеца с най-неблагоприятни условия са шест. Поради значително по-високата цена на един ветрогенератор в сравнение с фотоволтаичните панели от избрания тип, изчисления за мрежа с 4 и 5 ветрогенератора не са правени.

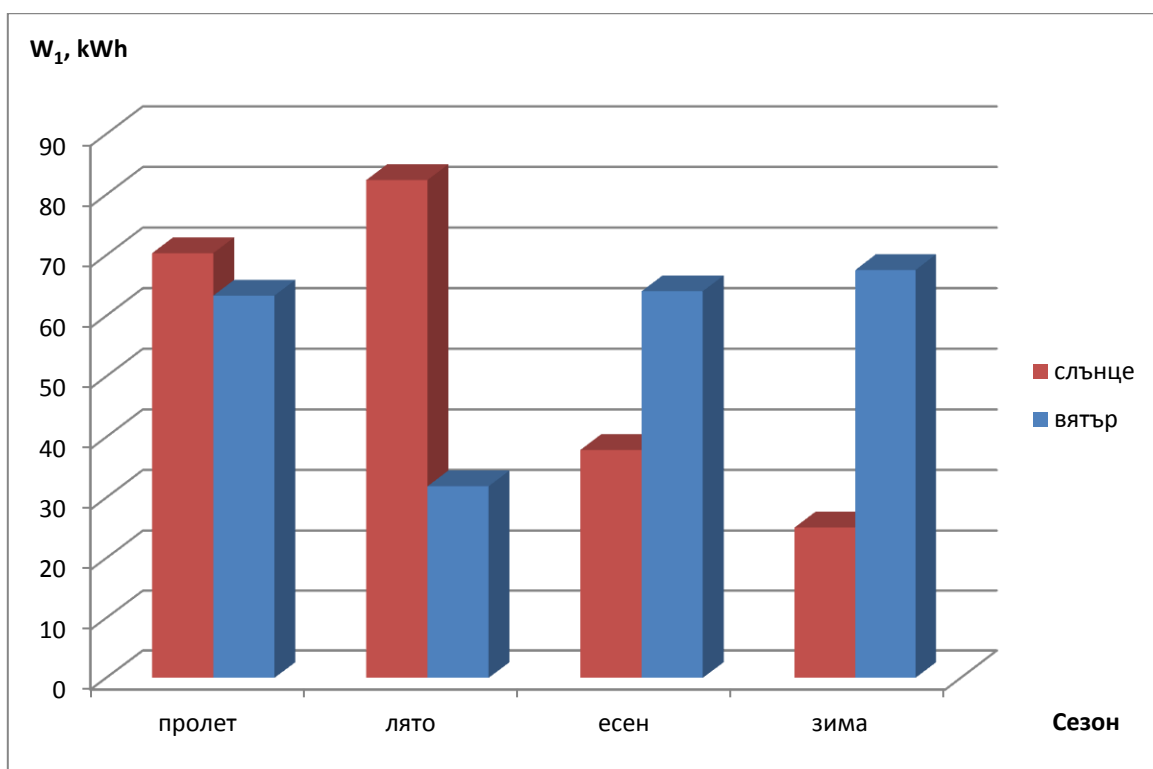
Независимо от избрания вариант, хибридна мрежа трябва да съдържа и акумулираща система. Наличието на акумулираща система позволява броят на слънчевите панели да бъде намален с един.

Изборът на оптимален вариант по посочената методика След включване на акумулираща система се прави от четирите варианта, посочени в Таблица 3. 18.

Таблица 3.18. Варианти на конфигурация на хибридна система с включена акумулираща система

Вариант	Брой ветрогенератори	Брой слънчеви панели
1	1	16
2	2	13
3	3	9
4	0	19

През различните сезони слънчевите панели и ветрогенераторите генерират различна средна месечна енергия (фигура 3.25).



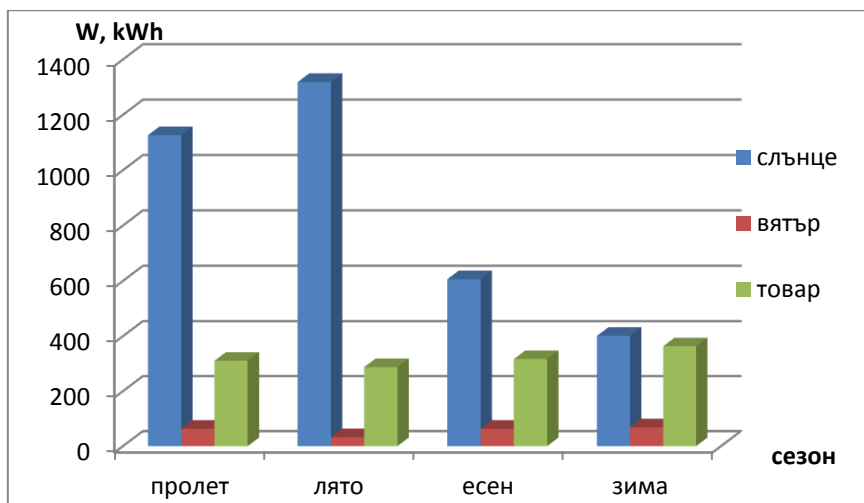
Фигура 3.25. Средна произведена месечна енергия от един източник по сезони

За да се изпълни изискването за натоварване през тези месеци във всички варианти е необходим голям брой слънчеви панели. През летните месеци, произведената от тях енергия многократно надвишава търсенето при всички разглеждани варианти (Фигури 3.26 – 3.29) (Таблицы 3.19. – 3.22.).

Таблица.3.19. Средна произведена енергия за различните сезони при вариант 1

Вид на източника	Пролет		Лято		Есен		Зима	
	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh
16 Фотовол- таични панела	Март	996	Юни	1325	Септември	930	Декември	299
	Април	1137	Юли	1355	Октомври	568	Януари	373
	Май	1244	Август	1275	Ноември	320	Февруари	531
	Средно за сезона	3378	Средно за сезона	3954	Средно за сезона	1818	Средно за сезона	1203
1 Ветроге- нератор	Март	85	Юни	46	Септември	44	Декември	59
	Април	47	Юли	14	Октомври	39	Януари	65
	Май	58	Август	36	Ноември	105	Февруари	79
	Средно за сезона	189	Средно за сезона	132	Средно за сезона	189	Средно за сезона	204
Общо за сезона		3567		4086		2007		1407

Общо за годината 11011 kWh

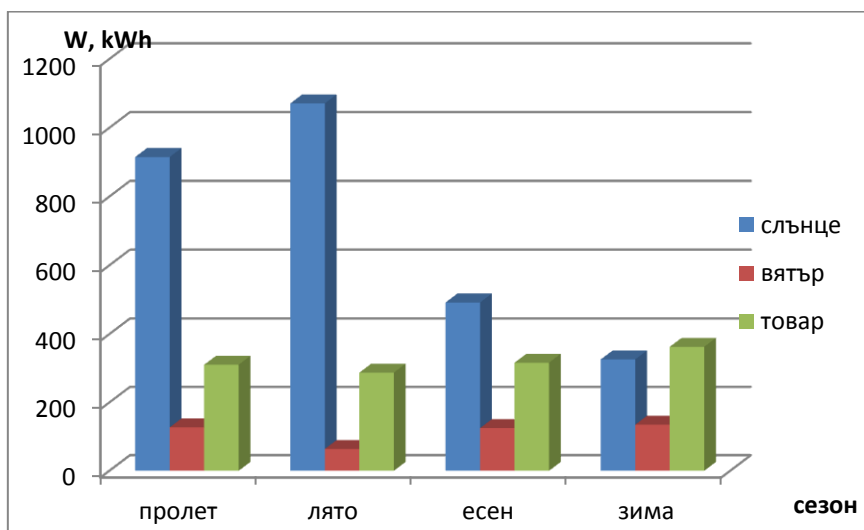


Фигура 3.26. Средна сезонна консумация и производство при вариант 1

Таблица.3.20. Средна произведена енергия за различните сезони при вариант 2

Вид на източника	Пролет		Лято		Есен		Зима	
	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh
13 Фотовол- таични панела	Март	809	Юни	1076	Септември	756	Декември	243
	Април	924	Юли	1101	Октомври	462	Януари	303
	Май	1010	Август	1036	Ноември	260	Февруари	431
	Средно за сезона	2745	Средно за сезона	3231	Средно за сезона	1476	Средно за сезона	978
2 Ветроге- нератора	Март	170	Юни	92	Септември	88	Декември	118
	Април	94	Юли	28	Октомври	78	Януари	130
	Май	116	Август	72	Ноември	210	Февруари	158
	Средно за сезона	381	Средно за сезона	192	Средно за сезона	375	Средно за сезона	405
Общо за сезона		3787		3423		1851		1383

Общо за годината 9767 kWh

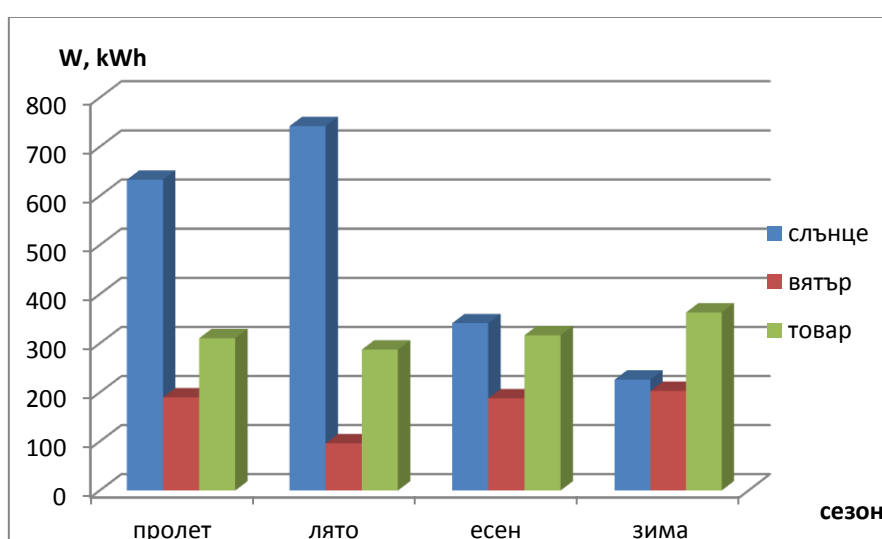


Фигура 3.27. Средна сезонна консумация и производство при вариант 2

Таблица.3.21. Средна произведена енергия за различните сезони при вариант 3

Вид на източника	Пролет		Лято		Есен		Зима	
	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh
9 Фотовол- таични панела	Март	560	Юни	745	Септември	523	Декември	168
	Април	640	Юли	762	Октомври	320	Януари	210
	Май	699	Август	717	Ноември	180	Февруари	299
	Средно за сезона	633	Средно за сезона	742	Средно за сезона	341	Средно за сезона	226
3 Ветроге- нератора	Март	255	Юни	138	Септември	132	Декември	177
	Април	141	Юли	42	Октомври	117	Януари	195
	Май	174	Август	108	Ноември	315	Февруари	237
	Средно за сезона	190	Средно за сезона	96	Средно за сезона	188	Средно за сезона	203
Общо за сезона		2469		2514		1587		1287

Общо за годината 7857 kWh

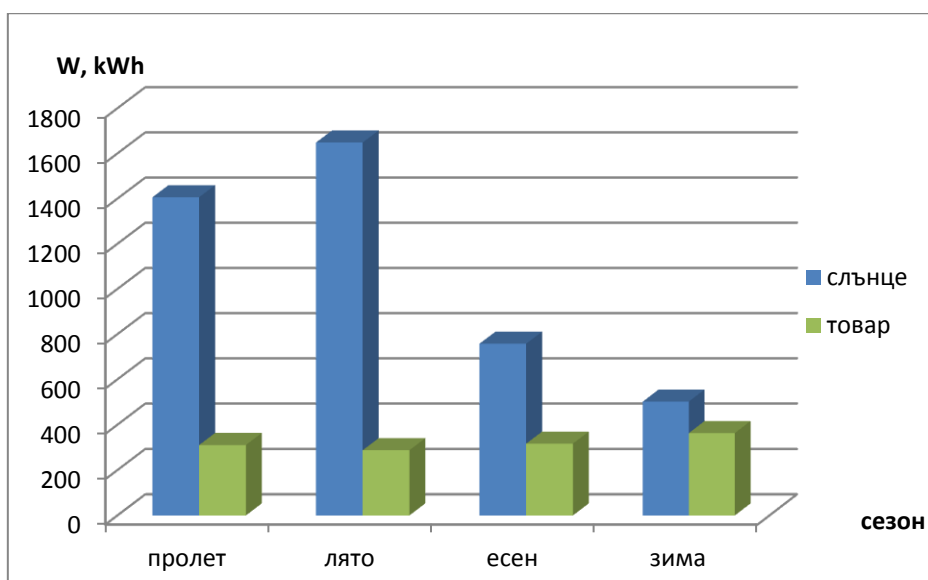


Фигура 3.28. Средна сезонна консумация и производство при вариант 3

Таблица.3.22. Средна произведена енергия за различните сезони при вариант 4

Вид на източника	Пролет		Лято		Есен		Зима	
	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh	месец	Енергия, kWh
19 Фотовол- таични панела	Март	1182	Юни	1572	Септември	1104	Декември	356
	Април	1349	Юли	1610	Октомври	674	Януари	443
	Май	1737	Август	1514	Ноември	380	Февруари	630
	Средно за сезона	1422	Средно за сезона	1565	Средно за сезона	719	Средно за сезона	476
Общо за сезона		4268		4696		2158		1429

Общо за годината 12295 kWh



Фигура 3.29. Средна сезонна консумация и производство при вариант 4

Таблица.3.23. Излишък на произведена енергия за различните варианти за една година

Месец	Месечна консумация на енергия kWh	Прогнозна месечна консумация на енергия kWh	Излишък на произведена енергия			
			Вариант 1 kWh	Вариант 2 kWh	Вариант 3 kWh	Вариант 4 kWh
Октомври	252	302,4	304	237	135	372
Ноември	268	321,6	103	148	173	58
Декември	304	365,2	-7	-4	-20	-9
Януари	302	362,4	75	71	43	69
Февруари	301	361,2	248	228	174	269
Март	278	333,6	747	645	481	848
Април	265	318	866	700	463	1031
Май	233	279,6	1022	846	593	1457
Юни	225	270	1101	898	613	1302
Юли	244	292,8	1076	836	511	1317
Август	249	298,8	1012	809	526	1215
Септември	271	325,2	648	519	330	780
Общо			7199	5934	4023	8709

Таблица.3.24. Вероятност за загуба на захранване за различните варианти

Месец	Общ брой часове	Часове с дефицит			
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Октомври	744	471	494	523	519
Ноември	720	442	365	375	433
Декември	744	512	359	362	426
Януари	744	484	390	412	374
Февруари	672	379	358	368	339
Март	744	375	285	297	315
Април	720	370	358	384	337
Май	744	349	360	384	359
Юни	720	285	406	419	404
Юли	744	344	484	501	467
Август	744	348	427	435	504
Септември	720	405	542	557	526
Общо	8760	4764	4828	5017	5003
LPSP		0,543836	0,551142	0,572717	0,571119

Таблица.3.25. Произведена енергия за различните варианти за една година и за двадесет години

Вариант	Общо производство за 1 г. kWh	Общо производство за 20г. kWh
B1	11011	205718,4
B2	9767	182743,6
B3	7858	147326,9
B4	12295	229447,4

Направени са изчисления за излишъка на произведена енергия за 1 година (Таблица 3.23), вероятността за загуба на захранване (LPSP) (Таблица 3.24) и изравнената цена на енергия (LCOE) за четирите варианта. При изчисляване на LCOE са използвани данни за общото производство на електроенергия за период от 20 г. (Таблица 3.25). Методиката на изчисленията е същата като използваната в глава 5.

Сравнението на отделните варианти показва, че вариантът с най-малък излишък на произведена енергия е вариант 3.

Ако критерий за оптимизация е цената на произведената енергия, оптимален е вариант 4, който съдържа 19 слънчеви панела и не съдържа ветрогенератори.

Поради ограничената площ на покрива на изследвания обект, не е възможно монтиране на 19 слънчеви панела. За да се избегне монтиране на слънчевите панели върху обработваема земя като оптимален е избран вариант 2 с 2 вятърни генератора и 13 слънчеви панела.

ГЛАВА 4. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА АКУМУЛИРАЩАТА СИСТЕМА НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО - СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

4.1. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА НОМИНАЛНИЯ ТОК НА АКУМУЛИРАЩАТА СИСТЕМА

Изчисляване на номиналния ток на акумулиращата система, напрежение на акумулиращата система и избран акумулатор:

- От таблица 3.2 се взема максималната стойност на изчислената по формула (2.2), средна мощност. Това е месец февруари 2019 г. с $P_{ср} = 0,447917 \text{ kW} = 447,917 \text{ W}$.

- Брой часове автономност $T_{изкл} \text{ (h)}$. Избрани са 3 дни автономност = 72 часа;

- Входно постоянно напрежение на потребителя $U_{вх} \text{ (V) DC} = 48\text{V}$

От предлаганите на пазара VRLA акумулатори е избран акумулатор 12MVR100 (12V 100Ah Front Terminal AGM VRLA Battery). Изборът на този акумулатор е обоснован с:

- ползването на оборудване и материали родно производство;
- дългият проектен експлоатационен период – 12+ години, по каталожни данни от производителя,

- не е необходимо обслужване;

- сравнително малките размери;

- приемлива цена и др.

- $U_{вх} = 48 \text{ V}$. Това е напрежението на 4 броя, последователно свързани, акумулаторни батерии с напрежение 12 V;

- капацитет на батерията 100 A h;

- разряд на батерията до 50 %. Приема се по конструктивни съображения.

Напрежението на AC се избира същото като напреженията на „вятърната“ и „фотоволтаичната“ части, с цел използване на еднакви напрежения – 48V.

За избраните акумулаторни батерии и напрежение на акумулиращата система е изчислен номиналният ток

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{447,917}{48} = 9,33 \text{ A}$$

Изпълнено е изискването (2.6) този ток да бъде по-малък от 200A.

Изчислена е енергията $E_{\text{АБ}}$ потребявана от акумулиращата система по време на изключване на захранването на автономния потребител за време $T_{\text{изкл}} = 72 \text{ ч.}$ (3 дни автономност) по формула (2.7):

$$E_{\text{АБ}} = P_{\text{ном}} \cdot T_{\text{изкл}} = 447,917 \cdot 72 = 32250,024 \text{ Wh}$$

4.2. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА КАПАЦИТЕТА НА АКУМУЛИРАЩАТА СИСТЕМА (БЛОКА АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ) - $C_{\text{АС}}$

Номиналният капацитет на акумулиращата система - $C_{\text{АС/ном}}$ по формула (2.8):

$$C_{\text{АС/ном}} = I_{\text{ном}} \cdot T_{\text{изкл}} = 9,33 \cdot 72 = 671,76 \text{ Ah}$$

Капацитетът на акумулиращата система ($C_{\text{АС}}$) с поправка според изискванията за недопускане на преразряд по формула (2.9):

$$C_{\text{АС}} = C_{\text{АС/ном}} \cdot \frac{100}{Q} = 671,76 \cdot \frac{100}{50} = 1343,52 \text{ A h}$$

При избора на тип на батерията, с различна степен на разряд от избраната (Q), е необходимо да се направят поправки в изчисленията според степента на разряд.

4.3. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА БРОЯ БАТЕРИИ В АКУМУЛИРАЩАТА СИСТЕМА

- Напрежение на единична батерия $U_{\text{ЕД}}$:

$$U_{\text{ЕД}} = 12, \text{ V}$$

- От данните предоставени от производителя, капацитета на единична батерия $C_{\text{ЕД}}$:

$$C_{\text{ЕД}} = 100 \quad \text{Ah}$$

Спазва се изискването: степента на разряд да не е повече от $Q\% = 50\%$.

По формула (2.12) е определен броя батерии включени последователно $N_{\text{Бат/посл.}}$

$$N_{\text{Бат/посл}} = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{ЕД}}} = \frac{48}{12} = 4 \text{ броя.}$$

Капацитетът на един блок от четири последователно свързани акумулаторни батерии е $C_{\text{Бат/посл}} = 4 \cdot 100 = 400 \text{ Ah}$. Този капацитет е по-малък от необходимия капацитет на акумулиращата система ($C_{\text{АС}}$).

$$400 < 1343,52 \text{ A h,}$$

следователно е необходимо паралелно да се включат още блокове от последователно свързани акумулаторни батерии ($N_{\text{Бат/посл}}$).

Броят на паралелно включените блокове ($N_{\text{Блокове/пар.}}$), съгласно формула (2.14), е:

$$N_{\text{Блокове/пар}} = \frac{C_{\text{АС}}}{C_{\text{ЕД}}} = \frac{1343,52}{400} = 3,36$$

Закръглява се $N_{\text{Блокове/пар}}$ до цяло число в зависимост от допустимите отклонения по ниво на преразряда, позволени от производителя. В случая $N_{\text{Блокове/пар}} = 4$.

Определено е общото количество батерии в АС ($N_{\text{Бат}}$), съгласно формула (2.15):

$$N_{\text{Бат}} = N_{\text{Бат/посл}} \cdot N_{\text{Блокове/пар}} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ броя батерии}$$

12MVR100 (12V 100Ah Front Terminal AGM VRLA Battery).

4.4. ИЗЧИСЛЯВАНЕ ЦЕНАТА НА ЕДИНИЧНАТА АКУМУЛАТОРНА БАТЕРИЯ ($C_{\text{ЕД}}$) И ЦЕНАТА НА АКУМУЛИРАЩАТА СИСТЕМА ($C_{\text{АС}}$)

Цената на една акумулаторна батерия $C_{\text{ЕД}}$ е:

$$C_{\text{ЕД}} = 372 \text{ лв.}$$

Цената на акумулиращата система ($C_{\text{АС}}$) е:

$$C_{\text{АС}} = N_{\text{БАТ}} \cdot C_{\text{ЕД}} = 16 \cdot 372 = 5952 \text{ лв.}$$

ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ПРИЛОЖИМОСТТА НА ХИБРИДНА ВЯТЪРНО – СЛЪНЧЕВА ИНТЕЛИГЕНТНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА МРЕЖА ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА АВТОНОМЕН ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЕН ОБЕКТ

Целта на главата е да се направи технико-икономическа оценка на приложимостта на автономна хибридна вятърно - слънчева енергийна система. Направена е проверка дали е достигнат мрежови паритет - крайната цена на мрежовата електрическа енергия, включително разходите за пренос, разпределение, такси и данъци е в паритет с изравнената цена на енергията (LCOE), произведена от битова хибридна вятърно - слънчева централа.

На базата на получените резултати от проучванията и подробните оценки на потенциала на вятърната енергия и слънчевия потенциал за избраното място са определени 4 варианта на конфигурации на системата, които изпълняват изискванията за натоварване. Определен е оптималният вариант, но поради ограничената площ на покрива на изследвания обект и за да се избегне монтиране на слънчевите панели върху земеделска земя е избрана конфигурация с 2 вятърни генератора и 13 слънчеви панела.

Приложимостта на инвестицията е оценена, като се използва параметърът „Изравнена цена на енергия (levelized cost of energy (LCOE))“. LCOE е мярка, която позволява сравняване на различни методи за производство на електроенергия и различни източници на енергия. Той е равен на средните общи разходи за изграждане и експлоатация на система за производство на електроенергия през целия ѝ живот, разделен на общото производство на енергия на системата през целия ѝ живот [Sho-95].

$$LCOE = \frac{I+OM}{E}, \quad (5.1)$$

където,
I са инвестиционните разходи;
OM са разходите за експлоатация и поддръжка
E е общото производство на енергия за живота на мрежата.

Продължителността на живот на хибридна система е приета за 20 години. За този период се изчислява общата цена на системата, състояща се от цената на инвестицията и разходите за експлоатация и поддръжка.

5.1.ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЦЕНИТЕ НА ЕНЕРГИЯТА ЗА ДОМАКИНСТВОТА ПО ВРЕМЕ НА ЖИВОТА НА СИСТЕМАТА

Изчисленията са извършени за типичен потребител на електроенергия за битови нужди.

Изследваният обект се намира в с. Окоп, област Ямбол, България. Доставчик на електроенергия за региона е Електроразпределение ЮГ, ЕВН България. Средната крайна цена на енергията за домакинствата за разглеждания период с ДДС е $C_{av}=0,22542$ лв./kWh.

5.2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИНВЕСТИЦИОННИТЕ РАЗХОДИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ И РАЗХОДИТЕ ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЯ И ПОДДРЪЖКА

Хибридна мрежа се състои от 2 ветрогенератора тип WS2000 с мощност 2000 W, 13 слънчеви панела тип GSM 500-96 с мощност 500 W, 16 Батерии 12MVR100, Инвертор Victron Phoenix C 48V 5000VA и Контролер 48V 440A.

Цената на един фотоволтаичен панел е 256 лв. Общата цена, включваща разходи за проектиране, доставка, монтаж, конструкции, окабеляване и др. е 7828 лв. Operation and maintenance costs O&M са приети 5% от инвестицията за целия период.

Цената на един ветрогенератор от избрания тип с монтаж е 3500лв. O&M са приети 12% от инвестиционните разходи за целия период.

Избран е инвертор с 95% ефективност и 15 години максимален живот. Неговата цена е 3900лв. За периода на живот на системата ще се наложи една подмяна, затова са предвидени средства за два инвертора. Необходимият за системата контролер е с цена 1500 лв.

Цената на една батерия от избрания тип е 327 лева. Понеже максималният експлоатационен период на акумулиращите батерии е 10 години е предвидена една подмяна. Предполага се, че цената на O&M е 10 лева годишно за всяка батерия.

5.3. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА LCOE И СРАВНЕНИЕ С ЦЕНАТА НА ЕНЕРГИЯТА ОТ ЗАХРАНВАЩАТА МРЕЖА

Изчисленията са при използване на собствени средства за инвестицията и при използване на потребителски кредит. Избран е потребителски заем за период от 10 години с 5,6% лихва и ГПР – 6,24%.

При автономните системи се използва само част от произведената енергия. За сравнение са направени изчисления за цената на 1 kWh електроенергия ако се използва цялата произведена от източниците енергия за период от 20 години. При изчисленията е отчетено, че произведената енергия за всяка година е различно, защото производството от слънчевите панели с всяка следваща година намалява с 0,2%.

Резултатите за четирите възможни конфигурации на системата са показани в Таблица 5.2.

Таблица 5.2. Изравнена цена на енергия (LCOE)

Вариант	Цена на потребената енергия		Цена при използване на цялата произведена енергия	
	Без кредит, лв./kWh	С кредит, лв./kWh.	Без кредит, лв./kWh	С кредит, лв./kWh
С 1 ВГ	0,469	0,630	0,180	0,241
С 2 ВГ	0,503	0,675	0,217	0,291
С 3 ВГ	0,533	0,713	0,284	0,381
Без ВГ	0,430	0,576	0,148	0,175

Сравнението на получените резултати със средната цена на енергията за 20 годишния период $C_{av}=0,22542$ лв./kWh показва, че за автономните хибридни системи все още не е настъпил етапа на мрежови паритет. Въпреки използването на покривите на сградите и безплатни парцели, получените цени са повече от два пъти по-високи от цените на енергията от мрежата. Приложението на такива системи е икономически оправдано единствено при липса на възможност за свързване към мрежата.

ПО-СЪЩЕСТВЕНИТЕ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИЯТА СА СЛЕДНИТЕ:

1. Създадена е методика и алгоритъм за структуриране на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект за битово потребление.
2. Разработено е устройство за измерване на товаров профил. Проучено е потреблението на електроенергия на жилищни обекти в района на област Ямбол и е построен стандартизиран товаров профил на битов потребител.
3. Направени са изследвания на ветровия потенциал в региона на гр. Ямбол за период от една година. Измерени са средните скорости на вятъра през интервал от 1 час. От получените резултати е определено средното очаквано производство на електроенергия от един ветрогенератор.
4. С използването на спътникови данни за слънчевото греене в региона е определено очакваното средно производство на енергия от един слънчев панел.
5. Чрез сравнителен анализ е избрана и адаптирана методика за изчисляване на акумулираща система на хибридна интелигентна електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект, разположен в урбанизирана територия.
6. Предложена е методика за избор на оптимален състав на автономна, хибридна интелигентна, слънчево - вятърна електрическа мрежа в съответствие със захранвания електрически товар, отчитаща излишъка на произведена енергия и изравнената цена на произведената енергия (LCOE).
7. Предложена е методика за изготвяне на технико-икономически анализ на приложимостта на автономна, хибридна интелигентна, електрическа мрежа за захранване на автономен електроенергиен обект. От направения анализ е установено, че средната цена на енергията, произведена от електрическата мрежа за 20 годишен период на експлоатация е повече от 2 пъти по-голяма от средната цена на енергията от мрежата. Автономни хибридни системи са приложими само когато липсва възможност за захранване от мрежата. За изследваното място, единствено при изграждане на фотоволтаична централа, свързана към мрежата могат да се получат цени на произведената енергия, по-ниски от тези на мрежата.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Atanasov A., Pehlivanova T., Research of the possibility of using the wind potential for generation of electricity in faculty of Technique and technology – Yambol. Applied Researches in Technics, Technologies and Education, Vol. 6, No. 2, 2018 ISSN 1314-8788 (print), ISSN 1314-8796 (online), pp. 153-157. Available: <https://sites.google.com/a/trakia-uni.bg/artte/articles/artte-vol-6-no-2>
2. Атанасов А., Системи за съхранение на енергията. Известия на ТУ-Сливен, № 4, 2018, ISSN 1312-3920 (print), стр. 50-54;
3. Атанасов А., Технологии за съхранение на електроенергия. Известия на ТУ-Сливен, № 4, 2018, ISSN 1312-3920 (print), стр. 55-60.
4. Instrument for measuring and recording electrical load profiles. Yuri Kolev, Atanas Atanasov & Tania Pehlivanova, International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2018, October 18-19, 2018, Yambol, Bulgaria <https://sites.google.com/a/trakia-uni.bg/ictte-2018/>
5. Атанасов А, Съхранение на електрохимична енергия. Известия на ТУ-Сливен, № 3, 2019, ISSN 1312-3920 (print), стр. 55-60.
6. Атанасов А, Сравнение на технологиите за съхранение на енергия. Известия на ТУ-Сливен, № 4, 2019, ISSN 1312-3920 (print), стр. 8-14.

SUMMARY

"Creation of a hybrid intelligent electricity grid to power an autonomous electricity object"

Author: Master of Engineering Atanas Kolev Atanasov

The aim of the dissertation is to create a hybrid intelligent electricity grid to power an autonomous electricity object.

The grid contains photovoltaic panels and wind generators as generating sources, and a energy storage system is involved to ensure autonomy.

When designing, the user's load profile is calculated. Wind speed measurements were carried out on a specific object, the average velocity and the percentage distribution of winds at different speed intervals over a period of one year were determined. Methodologies for the calculation of expected power generation from each source are selected and a methodology for calculating the energy storage system is adapted.

After the repeated calculations are selected, the type of photovoltaic panels and wind turbines so that the generated voltage is the same as that of the energy storage system. Estimated electricity generation from each source is calculated. Different variants of the number of generating sources and the resulting of electricity have been developed. The capacity and number of elements involved in the energy storage system is calculated.

The composition of the system is selected, including the number of solar panels, wind turbines, accumulator batteries, controller and inverter, providing maximum consumption and the specified number of days autonomy. The price of the system is calculated, which includes the investment, maintenance costs and replacement of items after the expiration of operating period.

loss of power supply probability and the levelized cost of energy for the projected 20-year grid lifetime are-calculated.

The most significant contributions in the dissertation are:

1. A methodology and algorithm for structuring a hybrid intelligent electricity grid was established to power an autonomous electricity object for domestic consumption.

2. A device for measuring a load profile has been developed. The electricity consumption of residential buildings in the region of Yambol was investigated and a standardized load profile of a household user was built.

3. There has been a research of the wind potential in the region of the town Yambol for a period of one year. The average wind speeds were measured at an interval of 1 hour. From the results obtained the average expected electricity production from a wind turbine was determined.

4. With the use of satellite data for solar glow in the region is definitely expected average energy production from a solar panel.

5. A comparative analysis has chosen and adapted a methodology for calculating the accumulation system of a hybrid intelligent grid for powering an autonomous electricity object located in urbanized territory.

6. A methodology for the selection of the optimum composition of an autonomous, hybrid intelligent, solar-wind grid is proposed in accordance with the power supply taking into account the surplus of the produced energy and the levelized cost of energy produced (LCOE).

7. A methodology has been proposed for the elaboration of a feasibility analysis of an autonomous, hybrid intelligent electrical system for powering an autonomous electricity object.