



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Инженерно-педагогически факултет - Сливен

**Катедра: "Електротехника, автоматика и
информационни технологии"**

Маг. инж. Евгения Петкова Василева

**ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА
ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ПРОИЗВОДИТЕЛИ НА
ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ**

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: 1. Проф. д-р инж. Стефка Неделчева
2. Доц. д-р инж. Веселин Чобанов**

СЛИВЕН, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ към Инженерно-педагогически факултет - Сливен на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 09.01.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 22.05.2018 г. от 14,00 часа в зала 1207 на ИПФ, гр. Сливен, бул. „Бургаско шосе“ 59 на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-58 от 09.02.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р инж. Стефка Иванова Неделчева – председател
2. доц. д-р инж. Стоян Христов Божков – научен секретар
3. проф. д.т.н. инж. Румен Димитров Каров
4. доц. д-р инж. Красимира Василева Керемидчиева
5. доц. д-р инж. Камен Димитров Сейменлийски

Рецензенти:

1. проф. д.т.н. инж. Румен Димитров Каров
2. доц. д-р инж. Стоян Христов Божков

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

Дисертантът е редовен докторант 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 научно-изследователски проекти.

Автор: маг. инж. Евгения Петкова Василева

Заглавие: Повишаване на ефективността на децентрализирани производители на електроенергия

Тираж: 15 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Енергийната политика на България е насочена към повишаване на енергийната ефективност и насърчаване на производството на електроенергия от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ).

Загубите на електроенергия съпътстват явленията пренос, трансформация и потребление на електроенергия, независимо от генериращия източник, проблемът за набелязване на способи за повишаване на енергийната ефективност е актуален. Този проблем придобива особено значение след въвеждането в експлоатация на децентрализирани електроенергийни източници (ДЕИ): вятърни електрически централи (ВяЕЦ), фотоелектрични централи (ФЕЦ), малки водни електрически централи (ВЕЦ) и др.

Количеството произведена електроенергия от ВЕИ в електроенергийния баланс на страната нараства през последните години.

В съответствие с основните насоки на Европейския съюз за развитие на електроенергетиката, най-неотложните проблеми са:

- ограничаване на огромните загуби на мощност;
- повишаване на енергийната ефективност;
- разнообразяване на енергийните източници.

Ето защо научните изследвания на нерешените проблеми в областта на енергийната и икономическата ефективност на ДЕИ са актуални, тъй като тяхното познаване дава възможност да се търсят способите за повишаване на енергийния добив и намаляване на загубите на мощност в експлоатационни условия.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта в дисертационния труд е да се набележат способи за повишаване на ефективността на децентрализираните производители на електроенергия.

Основните проблеми, нерешени до сега и формулирани съобразно набелязаната цел, се свеждат до следното:

- Няма единен подход за оценка на енергийната и икономическата ефективност.
- Не е обоснован критерий и методика за оценка на експлоатационната надеждност на ДЕИ.
- Не са разработени алгоритми за оптимизиране на състава на хибридни системи с оценка на ефективността.
- Няма съставена методика за повишаване на ефективността на хибридни системи през прилагане на адаптивни алгоритми.

За преотдоляване на основните проблеми се набелязват за решаване следните **задачи**:

- Да се предложи подход и да се изберат показатели за оценка на енергийната и икономическата ефективност на ДЕИ;
- Да се разработят модели на ДЕИ за внасяната мощност в присъединителния възел
- Да се избере критерий и да се предложи методика за оценка на експлоатационната надеждност на електрическа мрежа с ДЕИ;
- Да се набележат мероприятия с цел повишаване на енергийната ефективност на електрическа мрежа с ДЕИ;
- Да се оцени ефективността на ДЕИ при изграждане на оптимална конфигурация на разпределителната мрежа при критерий минимални дисконтирани разходи;
- Да се разработят алгоритми и софтуер за оценка на ефективността на ДЕИ;
- Да се оптимизира състава на хибридни системи и да се оцени тяхната ефективност;
- Да се състави методика за оптимално функциониране на хибридни системи през прилагане на адаптивни алгоритми.

Решаването на набелязаните задачи е полезно за проектирането и експлоатацията на електрически мрежи с присъединени ДЕИ и за хибридни системи.

Научна новост

Предлага се нов подход при:

- симулиране на електрическите товари в отворената разклонена мрежа с ДЕИ;
- изчисляване на вероятностите за състоянията на ВЕЦ и на вятърни централи, с които се оценява тяхната експлоатационна надеждност;
- определяне на количеството недоставена енергия при различни схеми на свързване на ДЕИ към електрическата мрежа
- избор на оптимален състав на хибридна система и нейното оптимално функциониране.

Практическа приложимост

- разработване на програмни модули за оценка на енергийно и икономическа ефективност за различните видове ДЕИ;
- икономически анализ при поетапно изграждане на ДЕИ;
- математични модели за определяне на количеството недоставена електроенергия и софтуер за сравняване на варианти за изграждане на ДЕИ при оценка на тяхната енергийна ефективност.
- софтуер за избор на оптимален състав на хибридна система
- програмни модули за определяне на оптималното функциониране на хибридна система.

Разработените софтуерни продукти са адаптирани за работа към съществуващия симулатор на режимите в електрическите мрежи и системи към катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“, с който се провеждат упражненията по дисциплините „Електрически мрежи“ и „Електроенергетика“ от бакалавърския учебен план и част от дисциплините от магистърския план по специалността „Електроенергия от възобновяеми енергийни източници“.

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:

- Национална конференция с международно участие "Активно-адаптивни електрически мрежи - 2014", Жеравна, 31 май - 1 юни 2014г
- Втора национална конференция с международно участие „Активно-адаптивни електрически мрежи“, гр. Сливен, 16-17.05.2015 г
- Трета национална конференция с международно участие “Активно-адаптивни електрически мрежи – 2016”, гр. Сливен, 3-4 юни 2016 г.
- Национална конференция с международно участие "Техника и технологии - ICTTE 2017", Ямбол, 19 - 20 октомври 2017 г.
- Четвърта национална конференция с международно участие “Активно-адаптивни електрически мрежи – 2017”, Жеравна, 25 - 26 май 2017 г.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 11 бр. научни статии в България, от които 4 бр. самостоятелни и 7 бр. в съавторство.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 135 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 144 литературни източници, като 75 са на латиница и 69 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 23 фигури и 28 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

ГЛАВА 1. ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ

1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗА ЕНЕРГИЙНА И ИКОНОМИЧЕСКА ЕФЕКТИВНОСТ

Енергийната ефективност е обобщено понятие, което характеризира степените на полезност на преобразуване на енергията от един вид в друг.

Според действащото законодателство енергийната ефективност е всяка мярка, резултатът от приложението на която води до намаляване разхода на първичен енергоносител или енергия при запазване степента на комфорт в бита и намаляване на енергоемкостта на единица продукция в индустрията при опазване на околната среда.

Съществува разлика между енергоспестяване и енергийната ефективност. В най-общия смисъл под двата термина се разбира съответно:

- енергоспестяване - това е реализацията на организационни, законодателни, технически, технологични и икономически мерки, насочени към намаляване на обема на употребяваните енергийни източници при запазване на съответния полезен ефект от тяхното използване;
- енергийна ефективност - характеристиките, отразяващи отношението на полезния ефект от използването на енергийните ресурси към загубите им, приложени за технологичен процес, явление и др.

Някои от тълкуванията на понятията «енергоспестяване» и «енергийна ефективност» са следните:

- енергийна ефективност – рационално използване на енергийните ресурси до достигане на икономически оправдана ефективност при съществуващото ниво на развитие на техниката и технологиите и опазване на околната среда;
- енергоспестяване или ефективно използване на енергията – използването на по-малко количество енергия, за да се осигури същото ниво на енергийно осигуряване на технологични явления и процеси.

Енергийната ефективност може да се разглежда като максимално отдадена мощност в присъединителния възел, а за присъединителните електрически мрежи – като минимална загуба на мощност.

Количественият параметър, който характеризира енергийната ефективност е коефициентът на енергоефективност (E):

$$E = \frac{W_n}{W_n + W_{\text{нп}}}, \quad (1.1)$$

където W_n е полезната използвана енергия; $W_{\text{нп}}$ - непроизводителните разходи; $W_n + W_{\text{нп}}$ - брутното производство на енергия.

Икономическата ефективност характеризира икономическата полза от всяка дейност. Най-често оценяваните показатели за икономическа ефективност са: дисконтирани разходи, рентабилност, срок на възвръщане на инвестициите, коефициент на икономическа ефективност и др.

1.2. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ ЗА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНО ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ НА БАЗАТА НА ВЪЗОБНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ

1.2.1. ОПТИМАЛЕН ЕНЕРГИЕН ДОБИВ ОТ ВЯТЪРНИ ЦЕНТРАЛИ

Ветроенергийните одити включват оценка на ресурса и ветровия потенциал, анализ на способите за неговото усвояване, определяне на прогнозното производство на електроенергия, икономически анализ на рентабилността на проекта и препоръчване на най-подходящия вариант за изграждане. За оценката на ресурса са необходими

предварителни измервания на параметрите на вятъра, за да се дадат категорични изводи за рентабилността на бъдещи вятърни централи.

Основните анализирани показатели на вятърните централи в електроенергийните одити са:

- очаквано производство на електроенергия за една година;
- коефициентът за използване на инсталираната мощност;
- годишната часова използваемост на централата.

Методиката за оценка на ветроенергийния ресурс включва:

- Измервания на параметрите на вятъра с анемометри за продължителен период от време. Средните скорости на вятъра са записват на всеки 5 min. Статистическите извадки от данни разполагат с 288 наблюдения на ден. Така се получава пълна картина за параметрите на вятъра в изследвания район.
- По данните от измерванията на скоростите на вятъра се определят параметрите на теоретичното разпределение на Вейбул.
- Изчислява се средната мощност и плътността на енергията на височината, на която е провеждано измерването.
- Определя очакваното производство на електроенергия за разглеждания период от време, максималната мощност и часовата използваемост на ветрогенератора.

Оптималният енергиен добив за конкретно място се провежда, като по представената методика се определи енергийния добив се постига по следния начин:

а) С избор на оптимална мощност на ветрогенератора:

Задават се кривите на мощностите на 12 различни вятърни генератори, чиито единични мощности са дадени в таблица 1.1.

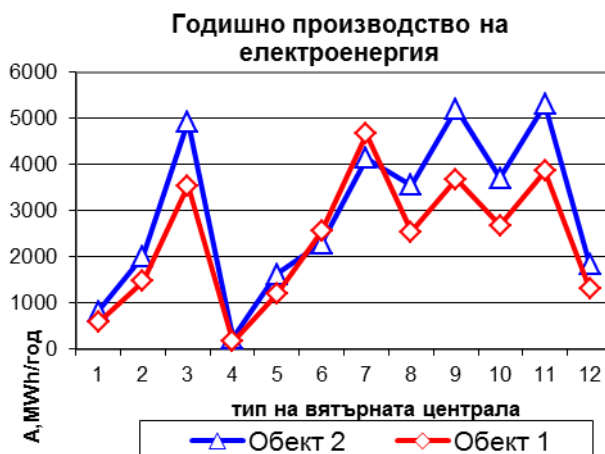
Таблица 1.1. Единична мощност на вятърните централи

№	Единична мощност, kW	№	Единична мощност, kW
1	330	7	2500
2	810	8	1520
3	2050	9	2300
4	100	10	1560
5	600	11	2000
6	1500	12	850

За обект със средногодишна скорост на вятъра 4,3 m/s се изчислява количеството произвеждана електроенергия за една година $A, \text{MWh/g}$. (фиг.1.1).



Фиг.1.1. Количество произвеждана електроенергия за една година $A, \text{MWh/g}$ от вятърна централа при средногодишна скорост на вятъра 4,3 m/s



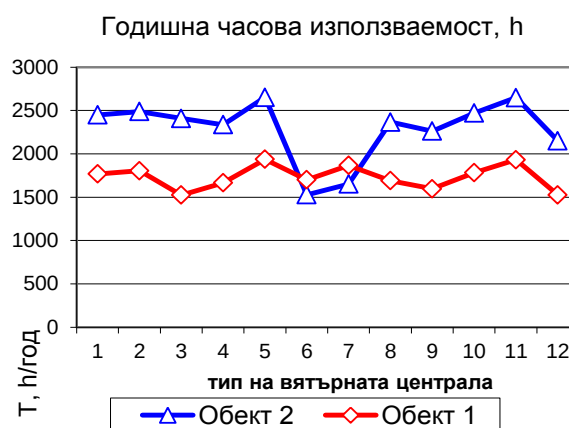
Фиг.1.2. Количество произвеждана електроенергия за една година $A, \text{MWh/g}$ от вятърни централи при обект 1 със средногодишна скорост на вятъра 4,3 m/s и обект 2 със средногодишна скорост на вятъра 6 m/s

От фиг.1.1 се установява вятърната централа с най-висок енергиен добив в конкретните експлоатационни условия. Ако изчисленията се повторят за два обекта съответно със средногодишна скорост на вятъра 4,3 m/s и 6 m/s, се определя количеството произвеждана електроенергия за една година A , MWh/г. и се получават резултатите от фиг.1.2. Както се вижда от фиг.1.2 оптималният енергиен добив за обект 1 се постига с вятърна централа № 7, а за обект 2 – с вятърна централа № 11.

б) С избор на ветроенергатор с оптимална крива на мощностите на група ветрогенератори с еднаква единична мощност: За четири типа вятърни централи, произведени с различни криви на мощностите се получава енергийния добив, в зависимост от тяхната крива на мощностите и се избира оптималната стойност. За обект със средногодишна скорост на вятъра 4,3 m/s се изчислява количеството произвеждана електроенергия от три вятърни централи с единична мощност 800 kW за една година A , MWh/г. Резултатите са показани на фиг.1.3.



Фиг.1.3. Годишно производство на електроенергия от три различни типа вятърни централи с единична мощност 800 kW при средногодишна скорост на вятъра 4,3 m/s



Фиг.1.4. Годишна часова използваемост на различни типове вятърни централи

в) С избор на оптимална часова използваемост на вятърната централа

При изчисляване, за двата обекта съответно със средногодишна скорост на вятъра 4,3 m/s и 6 m/s, се определя часовата използваемост на вятърната централа за една година T [h/год], се получават резултатите от фиг.1.4.

От фиг.1.4 се вижда, че не винаги най-мощната централа дава най-голям енергиен добив в конкретни експлоатационни условия. За всеки обект съвсем обективно се избира типа на вятърната централа в зависимост от ветровия потенциал и кривата на мощностите на ветрогенератора.

Изводи

Изборът на вятърна централа съобразно ветровия потенциал на мястото, където ще се изгражда, трябва да се извършва по критерий за оптимално годишно производство на електроенергия.

Повишаването на енергийния добив може да се постигне при обоснован избор на конструкция, чиято крива на мощностите е по-подходяща за конкретните експлоатационни условия.

Препоръчително е при по-ниските скорости на вятъра да се използват вятърни централи с по-малки единични мощности, за да работят с по-висок коефициент на използване.

1.2.2. ОПТИМАЛЕН ЕНЕРГИЕН ДОБИВ ОТ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИ ЦЕНТРАЛИ

При електроенергийния одит за изграждане на ФЕЦ се определя енергийният ресурс, разглеждат се варианти, като се прави оценка на електроенергийния потенциал за 1 kW инсталирана мощност за фотоелектрични модули от избрания тип. Избира се

оптималния наклон на фотоелектричните модули за географското място, където се инсталират. Средногодишното производство на електроенергия от фотоелектрични модули при неподвижна система, с едноосна и с двуосна следяща система се изчислява, а съпоставката на резултатите за енергийния добив при трите вида технологии за усвояване на оценения потенциал е дадена в таблица 1.2.

Таблица 1.2 Средногодишно производство на електроенергия W, о.е. от фотоелектрични модули

Технология	W, о.е.
Неподвижни фотоелектрични модули	1
Фотоелектрични модули с едно осева следяща система	1,26
Фотоелектрични модули с двuoseва следяща система	1,30

От съпоставката на получените резултати възниква въпросът има ли смисъл да се въвежда движеща се система към всеки модул, която ще завиши инвестициите за изграждане на съоръжението с 25 до 30%, ще внесе лесно аварийни елементи и ще повиши с енергийния добив с 26-30 %. Техничко-икономическата оценка на ефективността на прилаганите технологии показва, че значително ще се увеличи аварийността и ще се повишат експлоатационните разходи при въвеждане на следящи системи. По тази причина изгражданите у нас PV системи са предимно стационарни.

1.2.3. СЪВРЕМЕННИ ХИБРИДНИ СИСТЕМИ С ВОДОРОДНИ ТЕХНОЛОГИИ

Счита се, че през 21 век ще се наблюдава развитие на водородните енергийни технологии. Все още е трудно да се говори за реализация на водородните технологии в крупната енергетика, поради недостатъчно съвършени технологии за добиване на качествено нови и екологично чисти и ефективни производства на водород в промишлени количества. Това се дължи на някои все още нерешени технически проблеми, а също на икономически и политически фактори.

В последните години започна разработването на технологии с използването на водород в малки количества в хибридни системи, изградени на базата на ВЕИ. Икономическата ефективност на иновационните проекти за внедрения на водородни технологии към традиционни и ВЕИ се определят от икономисания обем електроенергия, произведена от традиционни източници, стойността на заместеното гориво и намаляване на емисиите от замърсяващи газове в атмосферата.

ГЛАВА 2. ПОДХОД И МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ

2.1. ВЪВЕДЕНИЕ

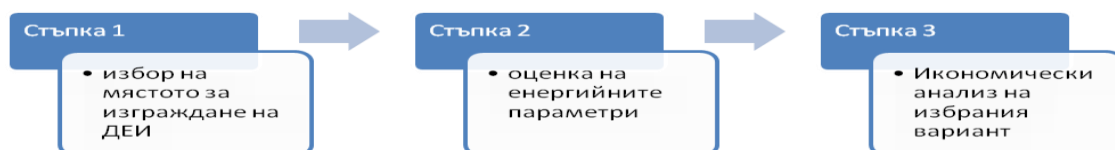
Резервите по отношение на ефективността на ДЕИ и рационално използване на електроенергията, произведена от тях, могат да се търсят в няколко аспекта: методически, организационни, технически, социален, икономически, екологически. За целите на изследването във втора глава е необходимо да се разгледа техническия и икономическия аспект и да се предложи подход за определяне на енергийна и икономическа ефективност на ДЕИ по избрани показатели.

Електрическите изчисления и симулирането на режимите в разпределителните мрежи без и с ДЕИ, се провеждат с помощта на симулатор, разработен в катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ в ИПФ На ТУ-София.

Целта е да се представят разработените към симулатора модули за икономически анализ, които да се адаптират за вариантно изследване и оценка на експлоатационната надеждност на електрическа мрежа с ДЕИ.

2.2. МЕТОДИКА ЗА ИКОНОМИЧЕСКИ АНАЛИЗ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ

Методиката включва стъпките, показани на фиг.2.1.



Фиг.2.1. Стъпки при икономически анализ на вариантите за изграждане на ДЕИ

Стъпка 1 се състои в избора на мястото за изграждане на ДЕИ. Стъпка 2 съдържа оценката на енергийните параметри: енергийния ресурс, енергийния потенциал и оптималния добив на електроенергия от ДЕИ. Стъпка 3 включва икономическа оценка на набелязаните варианти и избор на оптималния от тях.

Блокът за въвеждане на входните данни в разработеният софтуер е показан на фиг.2.2 и включва:

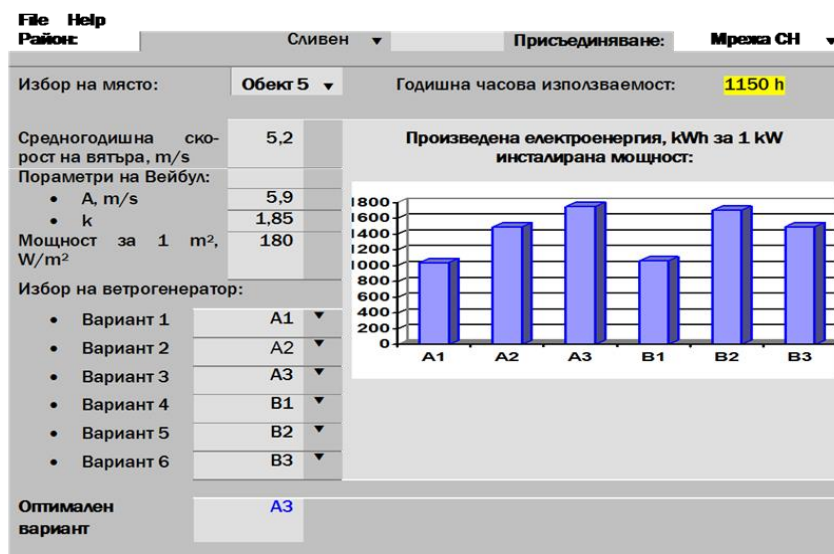


Фиг.2.2. Блок за въвеждане на входните данни

- общ брой на ДЕИ и сумарна инсталирана мощност;
- брой години за влягане на инвестиции в строителството на ДЕИ и изградени мощности по години; сумарни инвестиции за всяка година;
- часова използваемост на ДЕИ в зависимост от енергийния потенциал на избраното място за изграждането му;
- логичен блок за вида на ДЕИ и конкретна информация:

В блок „Метеорологични данни“ за вятърни централи са въведени данни за скоростта на вятъра, добиваната мощност за 1 m² и годишната часова използваемост за различни местности в България, получени въз основа на реални измервания на ветровия потенциал за нуждите на ветроенергетиката. За ФЕЦ са въведени данни за слънчевото лъчение в различни райони на България, оптималният ъгъл на наклона на фотоелектричните модули и др. За малките ВЕЦ се задават: водният напор, водният дебит, годишното изменение на водният оток и др.

В блок „Каталог на ДЕИ“ се задават кривите на мощностите на разнотипни вятърни централи; данни за фотоелектрични модули и за хидрогенератори.



Фиг.2.3. Избор на вятърна централа с оптимален добив на електроенергия за избраното място за монтаж

File Help

Район: Сливен ▼ Присъединяване: Мрежа СН ▼

Избор на място: Обект 5 ▼ Годишна часова използваемост: 1150 h

Средногодишна скорост на вятъра, m/s: 5,2

Параметри на Вейбул:

- A, m/s: 5,9
- k: 1,85

Мощност за 1 m², W/m²: 180

Избор на ветрогенератор:

- Вариант 1: B2 ▼
- Вариант 2: A3 ▼
- Вариант 3: B2* ▼
- Вариант 4: A3* ▼

Оптимален вариант: A3*

Срок за възвръщане на инвестициите, год.:

* вятърна ЕЦ, втора употреба

Фиг.2.4. Избор на оптимален вариант по срок за възвръщане на инвестициите

File Help

Район: Сливен ▼ Присъединяване: Мрежа СН ▼

Избор на място: Обект 4 ▼ Годишна часова използваемост: 1150 h

Средногодишна скорост на вятъра, m/s: 5,2

Ветрогенератор:

- Тип: A3 ▼

Очаквано годишно производство: 450 MWh

Произведена електроенергия, MWh за месец ▼

Месец	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Ел.ен., MWh	45	36	41	48	33	40	38	26	27	24	40	52	450

Реална часова използваемост: 1026 h Грешка: -1,8 %

Използваемост на инсталираната мощност, %: 10,1 % Мощности в присъединителния възел: Да ▼

Фиг.2.5. Определяне на очакваното и реалното производство на електроенергия от вятърна централа, присъединена към електрическата мрежа

File Help

Район: Сливен ▼ Присъединяване: автономно ▼

Избор на място: Обект 7 ▼ Годишна часова използваемост: 1800 h

Средногодишна скорост на вятъра, m/s: 6,2

Ветрогенератор: A1 ▼

Очаквано производство: 900 MWh

Състояние	1	2	3	4
100 %	100 %	90 %	80 %	70 %
$k_{fi}, \%$	0,21	2,2	11,3	19,7
Състояние	5	6	7	8
60 %	60 %	50 %	40 %	30 %
$k_{fi}, \%$	20,3	21,9	14,7	8,6

k_{fi} - коефициент на разполагаемост

Реална часова използваемост: 1770 h Грешка: -1,68 %

Използваемост на инсталираната мощност, %: 12,4 % Мощности от вятърната ЕЦ: Да ▼

Фиг.2.6. Определяне на очакваното и реалното производство на електроенергия от вятърна централа в автономна система

File Help
 Район: Смолян ▼ Присъединяване: Мрежа СН ▼

Избор на място: Обект 7 ▼ Инсталирана мощност: 640 kW ▼

Турбина:	Франсис ▼	Товар, %	100	90	80	70
		$\eta_T, \%$	92	92	92	91
Мощност:	320 kW ▼	Товар, %	60	50	40	30
		$\eta_T, \%$	87	82	77	68
Броя	2 ▼					

η_T - к.п.д. на турбината

Часова използваемост по модел	6730 h	Реална часова използваемост	6800 h
Използваемост на инсталираната мощност	77,6 %	Грешка	1,03 %

Фиг.2.7. Определяне на очакваното и реалното производство на електроенергия от малка ВЕЦ

След въвеждане на входните данни за мястото на изграждане на вятърните централи, ветровия потенциал, добиваната мощност за 1 m^2 и годишната часова използваемост се задават различни видове вятърни централи (фиг.2.3.). В резултат на изчислителната процедура се избира оптималния вариант на вятърна централа, която ще даде най-голям енергиен добив на избраното място със съответния ветрови потенциал. Резултатите от изпълнението на модула за вятърните централи са показани на фиг.2.3.÷2.6., а за моделирането на малки ВЕЦ - на фиг.2.7.

Изчислителната част на софтуера за определяне на срока за възвръщане на инвестициите е представена на фиг.2.8.

При числените експерименти за определяне на срока за възвръщане на инвестициите се отчита етапността при изграждане на вятърни централи, възможността за изменение на структурата на ветроенергийните комплекси и начините за финансиране.

С помощта на разработения алгоритъм може да се прави избор на: вятърна централа с оптимален добив на електроенергия за избраното място за монтаж; избор на оптимален вариант по срок за възвръщане на инвестициите; определяне на очакваното и реалното производство на електроенергия от вятърна централа, присъединена към електрическата мрежа.

Икономическият анализ се базира на метода на дисконтираните разходи, с който се проследява движението на паричните потоци във времето. Методът на дисконтираните разходи е подходящ за оценка на срока за възвръщане на инвестициите при поетапно изграждане на паркове от вятърни централи.



Фиг.2.8. Изчислителната част за определяне на срока за възвръщане на инвестициите

2.3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННАТА НАДЕЖНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ С ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ПРОИЗВОДИТЕЛИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ

За оценка на експлоатационната надеждност на електрически мрежи с ДЕИ е необходимо да се познават възможните състояния от гледна точка на математичната теория на надеждността. Обемът на изчисленията може да се намали, ако се намери математическо описание на възможните състояния и се създаде модел на генерацията или потреблението във всеки възел от електрическата мрежа.

Целта е да се моделират възможните състояния, които съответстват на комбинацията от различните съчетания на мощностите в генериращите и потребяващите възли. Определянето на преходите от едно състояние в друго позволява да се получат вероятностите за намиране на системата в дадено състояние. С получения модел може да се оцени експлоатационната надеждност на разпределителни мрежи с присъединени ДЕИ.

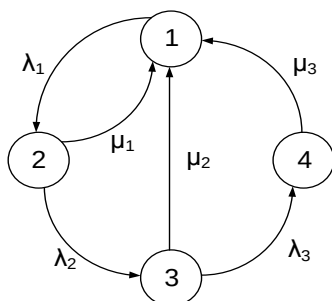
2.3.1. МОДЕЛИРАНЕ НА ГЕНЕРАЦИЯТА И ПОТРЕБЛЕНИЕТО ВЪВ ВЪЗЛИТЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНА МРЕЖА

Променливият брой консуматори и генериращи източници към даден клон от отворена разклонена електрическа мрежа се представя като динамична система с изменящи се състояния при включване или изключване на мощностите във възлите, което е характерно за система с дискретни множества. Процесът на преход от едно състояние в друго се извършва в произволен момент от време, което го характеризира като случаен процес с непрекъснато време.

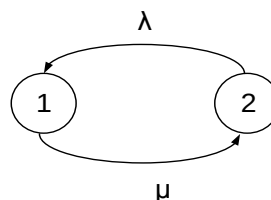
Система, състояща се от генериращи и потребяващи възли, може да се опише с Марковски процес, при който бъдещото и миналото състояние са независими при фиксирано настояще. Всеки Марковски процес, протичащ в система с дискретни състояния и непрекъснато време, се описва със система линейни диференциални уравнения, които се записват за съответния граф на състоянията.

Събитията, които предизвикват промяна на състоянията във възлите, се изразяват с интензивностите на преходите λ и μ , които могат да се получат по два начина:

- **По статистическа информация.** Начинът на събиране и обработка на статистическите данни за изключване на електрическите товари позволява разглеждане на четири състояния на всеки възел (фиг.2.9): 1 - нормална работа на потребителя; 2 - неустойчиво изключване с повторно включване; 3 - изключване с успешно повторно включване; 4 - устойчиво изключване.
- **Приблизително представяне.** Разглеждат се две състояния на всеки възел (фиг.2.10): 1 - нормална работа; 2 - изключване на потребителя.



Фиг.2.9. Диаграма на състоянията за потребяващ възел по статистически данни



Фиг.2.10. Диаграма на състоянията за потребяващ възел при приблизително представяне

Вероятностите P_i за намиране на системата в i -то състояние са съответно:

- при анализ на статистически данни (фиг.2.9): $P_1 = \frac{1}{1 + \sum_i a_i}, (i = 2, 3, 4);$

$$P_i = a_i P_1, (i = 2, 3, 4); \quad a_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 + \mu_1};$$

$$a_3 = a_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_3 + \mu_2}; \quad a_4 = a_2 a_3 \frac{\mu_3}{\lambda_3}.$$

- при приблизително представяне (фиг.2.10): $P_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}; \quad P_2 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}.$

За описване на състоянията на ДЕИ е подходящ модел с i състояния: 0 - изключено състояние; $1 \div i-1$ - работен режим, дефиниран от отношението на отдавана мощност в мрежата към максималната мощност на ДЕИ. За целите на моделирането е необходима продължителността на работа на генериращия източник в i -то състояние.

2.3.2. АДАПТАЦИЯ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНАТА МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЪЗМОЖНИТЕ СЪСТОЯНИЯ НА ВЕЦ С ДВА ГЕНЕРАТОРА ПРИ ИЗВЕСТНИ ИНТЕНЗИВНОСТИ НА ПРЕХОДИТЕ МЕЖДУ ТЯХ

Графът на състоянията за ВЕЦ с два генератора са показани на фиг.2.11, където са приети следните означения: 1 – изключени генератори; 2 – включен един генератор; 3 – включени два генератора.

Система уравнения, описващи графа на състоянията от фиг.2.11, е следната:

$$\begin{cases} -(\lambda_1 + \lambda_2)P_2 + \mu_1 P_3 + \mu_2 P_1 = 0 \\ \lambda_1 \cdot P_2 - \mu_1 \cdot P_3 = 0 \\ \lambda_2 \cdot P_2 - \mu_2 \cdot P_1 = 0 \end{cases}$$

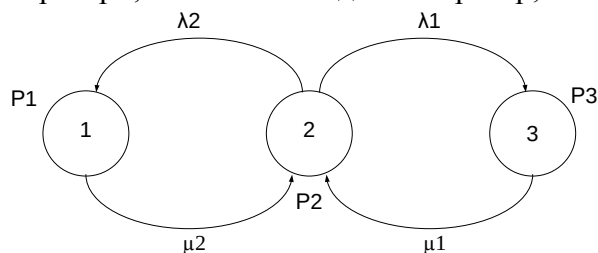
$$P_1 + P_2 + P_3 = 1$$

откъдето се намира:

$$P_1 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot P_2 \quad (2.25)$$

$$P_3 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot P_2 \quad (2.26)$$

$$P_2 = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 \mu_2 + \lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1} \quad (2.29)$$



Фиг.2.11. Граф на състоянията за ВЕЦ с два генератора

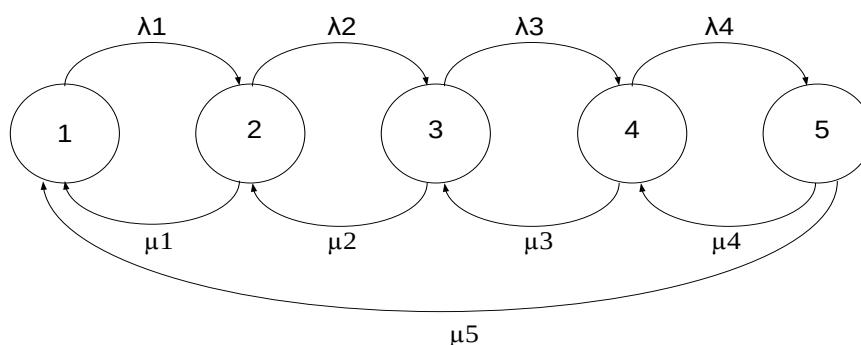
По съставената методика е разработен изчислителен модул, показан на фиг.2.12.

File	Help	Район:	СМОЛЯН ▼	Присъединяване:	Мрежа СН ▼
Избор на място:	Обект 1 ▼	Годишна часова използваемост:	5650 h		
Продължителност на отказа T ₁ , h	10	Граф на състоянията: 1 – изключено; 2 – включен един генератор; 3 – включени два генератора 			
Продължителност на отказа T ₂ , h	40				
Продължителност на възстановяването τ ₁ , h	20				
Продължителност на възстановяването τ ₂ , h	10				
Интензивност на отказите и възстановяванията, 1/год.	$\lambda_1 = \frac{1}{T_1} = 0,1; \lambda_2 = \frac{1}{T_2} = 0,025; \mu_1 = \frac{1}{\tau_1} = 0,05; \mu_2 = \frac{1}{\tau_2} = 0,1.$				
Вероятности за състоянията	$P_2 = \frac{\mu_1 \cdot \mu_2}{\mu_1 \cdot \mu_2 + \lambda_1 \cdot \mu_2 + \lambda_2 \cdot \mu_1} = 0,307;$ $P_1 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot P_2 = 0,077; P_3 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot P_2 = 0,616.$				

Фиг.2.12. Изчисляване на вероятностите за състоянията на ВЕЦ с два генератора

2.3.3. АДАПТАЦИЯ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНАТА МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЕРОЯТНОСТИТЕ ЗА СЪСТОЯНИЯТА НА ВЯТЪРНИ ЦЕНТРАЛИ

Разглеждат се пет състояния на вятърната централа: 1 – изключено; 2 – работа с 25%; 3 – работа с 50%; 4 – работа с 75%; 5 – работа с 100%. Графът на състоянията е представен на фиг.2.13:



Фиг.2.13. Граф на състоянията на вятърна централа: 1 – изключено; 2 – работа с 25%; 3 – работа с 50%; 4 – работа с 75%; 5 – работа с 100%

Система уравнения, описващи графа на състоянията от фиг.2.13, е:

$$\begin{cases} -\lambda_1 \cdot P_1 + \mu_1 \cdot P_2 + \mu_5 \cdot P_5 = 0 \\ \lambda_1 \cdot P_1 - \lambda_2 \cdot P_3 + \mu_2 \cdot P_3 - \mu_1 \cdot P_1 = 0 \\ \lambda_2 \cdot P_2 - \lambda_3 \cdot P_3 + \mu_3 \cdot P_4 - \mu_2 \cdot P_2 = 0 \\ \lambda_3 \cdot P_3 - \lambda_4 \cdot P_5 + \mu_4 \cdot P_5 - \mu_3 \cdot P_4 = 0 \\ \lambda_4 \cdot P_4 - \mu_4 \cdot P_5 - \mu_5 \cdot P_5 = 0 \end{cases} \quad (2.32)$$

От системата (2.32) и зависимостта $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1$ се получават:

$$P_1 = \frac{\lambda_2 - \mu_2}{\lambda_1 - \mu_1} \cdot P_3 ; \quad P_2 = \frac{\lambda_3 \cdot P_3 - \mu_3 \cdot P_4}{\lambda_2 - \mu_2} ; \quad P_3 = \frac{1}{a_1 + \frac{(\lambda_3 - \mu_3 a_2)}{\lambda_2 - \mu_2} + 1 + a_2 + a_3 a_2} ;$$

$$P_4 = \frac{\lambda_3 \mu_4 + \lambda_3 \mu_5}{\mu_3 \mu_4 + \mu_3 \mu_5 + \lambda_4^2 - \mu_4 \lambda_4} \cdot P_3 ; \quad P_5 = \frac{\lambda_4}{\mu_4 + \mu_5} \cdot P_4 .$$

където

$$a_1 = \frac{\lambda_2 - \mu_2}{\lambda_1 - \mu_1} ; \quad a_2 = \frac{\lambda_3 \cdot \mu_4 + \lambda_3 \cdot \mu_5}{\mu_3 \cdot \mu_4 + \mu_3 \cdot \mu_5 + \lambda_4^2 - \mu_4 \cdot \lambda_4} ; \quad a_3 = \frac{\lambda_4}{\mu_4 + \mu_5} .$$

File Help		Сливен ▼		Присъединяване: Мрежа СН ▼	
Избор на място:		Обект 6 ▼		Годишна часова използваемост: 2050 h	
Продължителност на отказа:		Граф на състоянията: 1 – изключено; 2 – работа с 25%; 3 – работа с 50%; 4 – работа с 75%; 5 – работа с 100%			
T ₁ , h	40				
T ₂ , h	20				
T ₃ , h	60				
T ₄ , h	50				
T ₅ , h	30				
Продължителност на възстановяването:					
τ ₁ , h	10				
τ ₂ , h	15				
τ ₃ , h	20				
τ ₄ , h	10				
τ ₅ , h	15				
Интензивност на отказите и възстановяванията, 1/год.		$\lambda_1 = 0,025; \lambda_2 = 0,05; \lambda_3 = 0,017; \lambda_4 = 0,02; \lambda_5 = 0,033;$ $\mu_1 = 0,1; \mu_2 = 0,067; \mu_3 = 0,05; \mu_4 = 0,1; \mu_5 = 0,067.$			
Вероятности за състоянията		$P_1 = 0,117; P_2 = 0,126; P_3 = 0,515; P_4 = 0,216; P_5 = 0,026.$			

Фиг.2.14. Изчисляване на вероятностите за състоянията на вятърна централа

По съставената методика е разработен изчислителен модул, показан на фиг.2.14.

2.4. ИКОНОМИЧЕСКА ЕФЕКТИВНОСТ НА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ

Икономическият анализ сравнява печалбата спрямо стойността, свързани с даден обект през периода на съществуването му. Стойността включва първоначалните и годишните разходи, докато печалбата включва годишните приходи от продадената електроенергия. Икономическият анализ дава основа, на която да се прецени дали да се продължи с инвестирането в даден обект или не.

При съставяне на методиката се използва метода на сегашната нетна стойност (СНС) и метода на вътрешната норма на възвръщаемост (ВНВ).

Критерии на избор при различни варианти за изграждане на ДЕИ е да се избере този, при който инвестирането е с най-голяма степен на възвръщане.

Процесът на изчисление на ВНВ е поредица от опити и грешки, където нетния поток от плащания се изчислява при приета ВНВ, докато стойността стане равна на нула.

По съставената методика са проведените изчисления за икономическата ефективност на вятърни централи и малки ВЕЦ. С прилагане на методиката се получават съответно СНС и отношението приход/разход за малка ВЕЦ за различен период на експлоатация и различни фактори на дисконтиране.

Изводи:

- Разработена е методика за оценка на икономическата ефективност на ДЕИ.
- В резултат на разработения алгоритъм се прави избор на: вятърна централа с оптимален добив на електроенергия за избраното място за монтаж; избор на оптимален вариант по срок за възвръщане на инвестициите; определяне на очакваното и реалното производство на електроенергия от вятърна централа, присъединена към електрическата мрежа.
- Извършен е икономически анализ за оценка на срока за възвръщане на инвестициите при поетапно изграждане на ДЕИ, базиран на метода на дисконтираните разходи.
- Разработени са програмни модули, които дават възможност да се изчислят вероятностите за състоянията на ДЕИ и оцени тяхната експлоатационна надеждност.

ГЛАВА 3. ОПТИМИЗИРАНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННАТА НАДЕЖДНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ С ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

3.1. ИЗБОР НА КОЛИЧЕСТВЕН ПОКАЗАТЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ЕКСПЛОАТАЦИОННАТА НАДЕЖДНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ С ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

За оценка на надеждността на техническите системи се прилага метода на описание на състоянията, базиран на теорията на марковските случайни процеси. Приема се, че обектите имат ограничен брой състояния. Преходите от едно в друго състояние съответстват на пуасоновски поток събития. От методична гледна точка, достатъчно е да се определят два показателя за надеждност, а останалите се изчисляват аналитично.

Тъй като свойствата на ЕЕО се променят през различните периоди от експлоатацията, се избира един от показателите с дименсия време (време за безотказна работа; време за ремонт и др.) и един показател от вероятностен характер (вероятност за безотказна работа, вероятност за отказ), което позволява да се определят всички останали.

3.2. КРИТЕРИЙ ЗА НАДЕЖДНОСТ ПРИ ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ ОЦЕНКИ НА ПРИСЪЕДИНЯВАНЕТО НА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ КЪМ ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА МРЕЖА

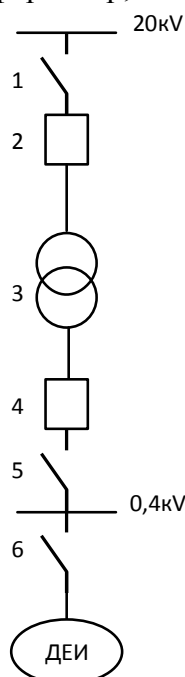
Решенията при присъединяване на ДЕИ към електрическата мрежа се вземат след сравняване на варианти по технически и икономически показатели. Към технико-икономическата обосновка се добавя и оценка на надеждността, която се обосновава на

прилагане на метода на дисконтираните разходи, за което е необходимо да се отчита недоставената електрическа енергия от ДЕИ. Оптималното ниво на надеждност съответства на минимума от сумата на дисконтираните разходи (D) и разходите от недоставената електроенергия (A): $W_{\min} = D + A$. Надеждността на схемата на присъединяване на ДЕИ към електрическата мрежа зависи от много фактори, като надеждност на елементите в присъединителната схема, наличието на резервиране и секциониране, използваното ниво на автоматизация.

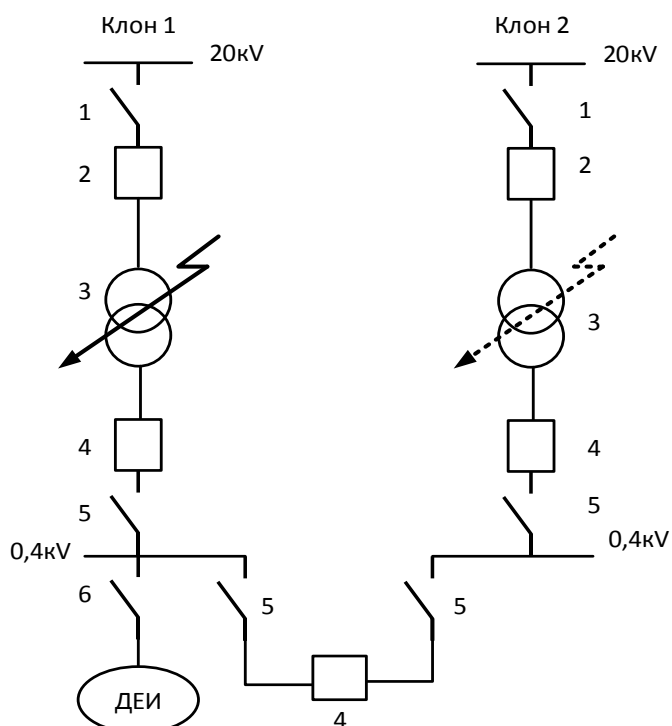
Целта на проведеното изследване е да се анализира количеството недоставена енергия при различни присъединителни схеми на ДЕИ към електрическата мрежа.

Оценка на количеството недоставена електроенергия при присъединяване на ДЕИ към електрическата мрежа с един трансформаторен пост:

Схемата за присъединяването на ДЕИ към електрическата мрежа с един трансформаторен пост е показана на фиг.3.1, където са приети означенията: 1, 5 – разединители в трансформаторно присъединение; 2,4 – прекъсвачи; 3 – силов трансформатор; 6 – автоматичен прекъсвач



Фиг.3.1. Схема за свързване на ДЕИ към електрическата мрежа с един трансформаторен пост



Фиг.3.2. Схема за присъединяване на ДЕИ към електрическата мрежа с два трансформаторни поста

По данни за експлоатацията на ДЕИ, присъединени към електрическа мрежа за 20 kV, се определят показателите за надеждност от таблица 3.1: параметър на потока откази ω , [1/год]; продължителността на отказите τ_b , [h]; параметърът на потока възстановявания μ , [1/год]; продължителността на възстановяванията τ_n , [h]. Посочените стойности са обобщени данни за 10 годишен период на експлоатация.

Таблица 3.1.

Елемент от фиг.3.1	ω , [1/год.]	τ_b , [h]	$\mu \cdot \tau_n$, $\left[\frac{h}{год.}\right]$	$T_{екв.г.}$, [h]
1	0,015	4	6	6,06
2	0,04	10	16	16,4
3	0,01	80	20	20,8
4	0,04	10	16	16,4
5	0,015	4	6	6,06
6	0,1	5	0	0,5

По данните от таблица 3.1 се изчислява еквивалентната продължителност на изключванията $T_{екв\ i}$ за всеки i -ти елемент от схемата на фиг.3.1.

$$T_{екв.\ i} = (\omega \cdot \tau_b + \mu \cdot \tau_n)_i \quad (3.13)$$

Определя се еквивалентната продължителност на изключванията $T_{екв.}$:

$$T_{екв.} = \sum_{i=1}^6 T_{екв.\ i} = 66,22 \text{ h} \quad (3.14)$$

и се изчислява количеството недоставена електроенергия

$$N = \beta \cdot T_{екв.} \text{ [kWh]} , \quad (3.15)$$

където β - цената на електроенергията, [лв/kWh], съответно по дневна и нощна тарифа.

Намира се съответно количеството недоставена енергия, заплащано по дневна и нощна тарифа:

$$N_{дн} = \frac{2}{3} \cdot \beta_{дневна} \cdot T_{екв.} = 6,847 \text{ kWh} \quad (3.16)$$

$$N_{н} = \frac{1}{3} \cdot \beta_{нощна} \cdot T_{екв.} = 1,62 \text{ kWh} \quad (3.17)$$

Оценка на количеството недоставена енергия при присъединяване на ДЕИ към електрическа мрежа с два трансформаторни поста

Схемата за присъединяване на ДЕИ към електрическата мрежа с два трафопоста е показана на фиг.3.2. Разглеждат се два случая:

I случай - Възникване на к.с. в клон 1

Показателите за надеждност са представени в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

Елемент от фиг.3.2	$\omega, [1\text{год.}]$	$\tau_b, [h]$	$\mu \cdot \tau_n, \left[\frac{h}{\text{год.}}\right]$	$T_{екв.\ i}, [h]$
1	0,015	4	6	6,06
2	0,04	10	16	16,4
3	0,01	80	20	20,8
4	0,04	10	16	16,4
5	0,015	4	6	6,06
5	0,015	4	6	6,06
4	0,04	10	16	16,4
5	0,015	4	6	6,06
6	0,1	5	0	0,5

Еквивалентната продължителност на изключванията в този случай е:

$$T_{екв.} = \sum_{i=1}^9 T_{екв.\ i} = 94,74 \text{ h} \quad (3.18)$$

Количеството недоставена електроенергия по актуални цени е:

$$N_{дн} = \frac{2}{3} \cdot \beta_{дневна} \cdot T_{екв.} = 9,792 \text{ kWh} \quad (3.19)$$

$$N_{н} = \frac{1}{3} \cdot \beta_{нощна} \cdot T_{екв.} = 2,321 \text{ kWh} \quad (3.20)$$

II случай - Възникване на к.с. в клон 2.

Изчислените параметри са същите, както при присъединяване на ДЕИ посредством един трансформаторен пост към електрическата мрежа.

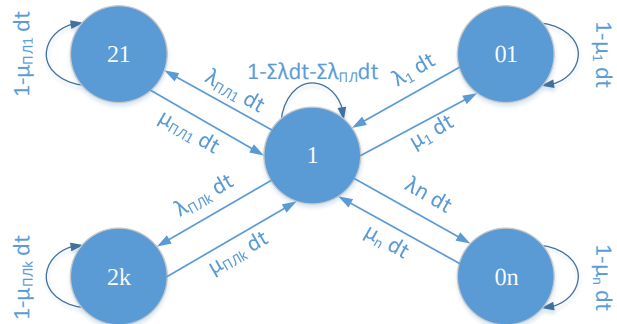
Изводи:

- Количеството недоставена електроенергия е най-подходящият критерий за технико-икономическа оценка на надеждността при присъединяване на ДЕИ към електрическата мрежа.
- Разработената методика за определяне на количеството недоставена енергия позволява да се провеждат изчисления при различни схеми на свързване на ДЕИ към електрическата мрежа.

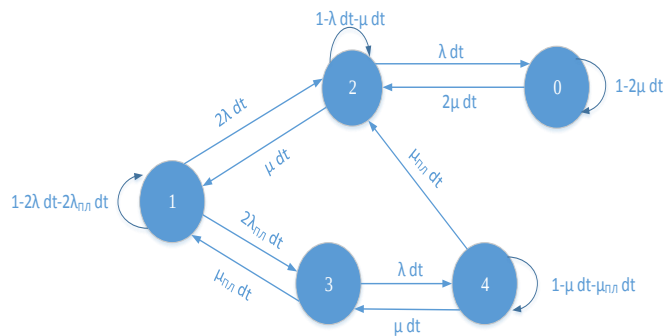
3.3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НЕДОСТАВЕНАТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ С ПРИЛАГАНЕ НА ТЕОРИЯТА НА МАРКОВСКИТЕ ПРОЦЕСИ

При последователно свързване на ДЕИ и присъединителния електропровод спрямо възела за включване отказът на всеки елемент води до недоставяне на електроенергия. Състоянията и графа на преходите между тях са показани на фиг.3.3.

При паралелно съединение на два ДЕИ към присъединителен възел графът на състоянията на паралелно съединение на два ДЕИ с отчитането на профилактиката и възстановяването се описва с пет състояния: E_1 - двата елемента са работоспособни; E_2 - единият ДЕИ е работоспособен, а другия е в аварийен престой; E_3 - единият ДЕИ е в профилактично обслужване и ремонт, а другия е работоспособен; E_4 - единият ДЕИ е в профилактично обслужване и ремонт, а другия в аварийен престой; E_0 - двата елемента са в аварийен престой. Преходите между състоянията се описват с граф, показан на фиг.3.4.



Фиг.3.3 Граф на състоянията за последователно съединени ДЕИ и присъединителен електропровод



Фиг.3.4. Граф на състоянията при два паралелно съединени ДЕИ

Методиката за определяне на количеството недоставена електроенергия от ДЕИ, присъединени към електрическата мрежа включва следните стъпки:

Стъпка 1 – Уточнява се типа на свързването на ДЕИ към електрическата мрежа. При последователно свързани ДЕИ и присъединителна линия се преминава към стъпка 2, а при паралелно свързване на два ДЕИ се изпълнява стъпка 9.

Стъпка 2 - При последователно свързване на ДЕИ и присъединителния електропровод спрямо присъединителния възел за състоянията и графа на преходите между тях от фиг.3.3 се определят вероятностите за състоянията:

$$P_1 = \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} + \sum_{j=1}^k \frac{\lambda_{\Gamma\Gamma j}}{\mu_{\Gamma\Gamma j}} \right)^{-1} = K_r \quad (3.25)$$

$$P_0 = K_r \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} = q_{ab} \quad (3.26)$$

$$P_2 = K_r \cdot \sum_{j=1}^k \frac{\lambda_{\Gamma\Gamma j}}{\mu_{\Gamma\Gamma j}} = q_{\Gamma\Gamma} \quad (3.27)$$

Стъпка 3 – Изчислява се коефициентът за аварийен престой :

$$q_{ab} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \tau_i \quad (3.28)$$

Стъпка 4 – Определя се вероятността за безотказна работа на системата:

$$P_1(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t\right) = P(t) \quad (3.29)$$

$$\lambda_{ab} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.30)$$

Стъпка 5 – Вероятността за възстановяване на t на състояние E1 се изразява с:

$$V(t) = P_1(t) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_{ab}}\right) \cdot [1 - \exp(-\mu_i t)] \quad (3.31)$$

Стъпка 6 – Намира се средното време за един ремонт :

$$\tau_{\text{пл}} = \left(\frac{1}{m_u}\right) \sum_{j=1}^{m_u} \max \tau_{\text{пл}j}, \quad (3.32)$$

където $\max \tau_{\text{пл}j}$ е най-голямата стойност на времето за планов ремонт на елемента от всички изключения при j - тия престой.

Стъпка 7 – Определя се коефициентът на планов престой :

$$q_{\text{пл}} = \lambda_{\text{пл}} \cdot \tau_{\text{пл}} \quad (3.33)$$

Стъпка 8 – Изчислява се количеството недоставена електроенергия с отчитане на времето за планови прекъсвания, представят се резултатите и се прекратяват изчисленията. Средната стойност на количеството недоставена електрическа енергия ($\bar{E}$) се определя с :

$$\bar{E} = \bar{P} \cdot \bar{T} \cdot (q_{ab} + q_{\text{пл}}), \quad (3.34)$$

където $\bar{P}$ е математическото очакване на мощността; $\bar{T}$ – средната продължителност на безотказната работа и на възстановяванията.

Стъпка 9 – При паралелно свързване на два ДЕИ се определят вероятностите за състоянията от фиг.3.4:

$$\begin{aligned} P_0 &= \left(\frac{\lambda^2}{\mu^2}\right) \left(1 + \frac{\lambda_{\text{пл}}}{\lambda + \mu_{\text{пл}} + \mu}\right) P_1 ; & P_2 &= \left(\frac{2\lambda}{\mu}\right) \left(1 + \frac{\lambda_{\text{пл}}}{\lambda + \mu_{\text{пл}} + \mu}\right) P_1 ; \\ P_3 &= \left(\frac{2\lambda_{\text{пл}}}{\mu_{\text{пл}}}\right) \left(\frac{\mu + \mu_{\text{пл}}}{\lambda + \mu_{\text{пл}} + \mu}\right) P_1 ; & P_4 &= \left(\frac{2\lambda_{\text{пл}}}{\mu_{\text{пл}}}\right) \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu_{\text{пл}} + \mu}\right) P_1 ; \\ P_1 &= \left[1 + \lambda(2\mu + \lambda)(\lambda + \mu + \lambda_{\text{пл}} + \mu_{\text{пл}})\mu^{-2}(\lambda + \mu + \mu_{\text{пл}})^{-1} + \frac{2\lambda_{\text{пл}}}{\mu_{\text{пл}}}\right]^{-1} . \end{aligned}$$

След тяхното определяне се преминава към стъпка 3.

Прилагането на съставената методика за случай на ДЕИ и присъединителен електропровод към електрическата мрежа е показано в таблица 3.3.

Таблица 3.3

$\lambda \cdot 10^{-3}$	$\mu \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{\text{пл}} \cdot 10^{-4}$	$\mu_{\text{пл}} \cdot 10^{-4}$	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4
2	1.3	1	1	0.2892	0.1162	0.3760	0.0957	0.1367
1.5	1.1	0.8	0.8	0.2539	0.1294	0.3724	0.1140	0.1449
1	0.8	0.6	0.6	0.2304	0.1390	0.3687	0.1286	0.1495

Изводи:

- В разработената методика за определяне на количеството недоставена електроенергия от ДЕИ, присъединени към електрическата мрежа се отчитат възстановяването след аварийно изключване и провежданата профилактика.
- С прилагане на методиката и съставения алгоритъм се повишава точността на изчисленията.

3.4. ПОЛУЧАВАНЕ НА МАТЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ ЗА КОЛИЧЕСТВОТО НЕДОСТАВЕНА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ ОТ СИСТЕМИ ЗА ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНО ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ

Целта е да се проведе числен експеримент за получаване на математични модели за количеството недоставена електроенергия от ДЕИ (вятърни централи или от фотоелектрични системи) с прилагане на методите за планиране на експеримента.

В табл.3.4 са дадени характеристиките при оценка на количеството недоставена електроенергия от вятърни централи, а в табл.3.5 от фотоелектрични централи.

Таблица 3.4. Нива на изменение на влияещите фактори при вятърни централи

№	Характеристики	Мощност P, MW	Време за прекъсване на захранването T, h	Време за въз- становяване на захранването τ , h
1.	Основно ниво ($x_i = 0$)	3,5	38	0,75
2.	Интервал на вариране y_i	2	68	0,5
3.	Горно ниво ($x_i = +1$)	4,5	72	1
4.	Долно ниво ($x_i = -1$)	2,5	4	0,5
5.	Код на фактора	x_1	x_2	x_3

Таблица 3.5. Нива на изменение на влияещите фактори при фотоелектрични централи

№	Характеристики	Мощност P, MW	Време за прекъсване на захранването T, h	Време за въз- становяване на захранването τ , h
1.	Основно ниво ($x_i = 0$)	0,55	10	1,25
2.	Интервал на вариране y_i	0,9	14	1,5
3.	Горно ниво ($x_i = +1$)	1	16	2
4.	Долно ниво ($x_i = -1$)	0,1	2	0,5
5.	Код на фактора	x_1	x_2	x_3

Оценката на количеството недоставена енергия се извършва чрез единичните показатели на надеждност: коефициент на принуден престой: и коефициент на готовност.

Матрица на планиране на експеримента и изчислените стойностите на количеството недоставена електроенергия при вятърни централи са дадени в табл.3.10.

Таблица 3.10. Матрица на планиране на експеримента при вятърни централи

№	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_i , E
1.	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1,111
2.	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	2
3.	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1,241
4.	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	2,234
5.	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	2
6.	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	3,6
7.	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	2,466
8.	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	4,438

Получава се следният адекватен математичен модел за количеството недоставена електроенергия от вятърните централи:

$$y = 2,386 + 0,682x_1 + 0,209x_2 + 0,74x_3 + 0,211x_1x_3 \quad (3.54)$$

Матрица на планиране на експеримента и изчислените стойности на количеството недоставена електроенергия при ФЕЦ са дадени в табл.3.11.

Таблица 3.11. Матрица на планиране на експеримента при ФЕЦ

№	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_i, E
1.	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0,1
2.	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	1
3.	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	0,8
4.	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	8
5.	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0,4
6.	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	4
7.	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	3,2
8.	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	32

Полученият адекватен математичен модел е:

$$y = 6,187 + 5,062x_1 + 4,812x_2 + 3,712x_3 + 3,937x_1x_2 + 3,037x_1x_3 + 2,887x_2x_3 + 2,362x_1x_2x_3 \quad (3.58)$$

Изводи:

- Количеството недоставена енергия е както технически, така и надеждностен показател. Стойността на количеството недоставена енергия зависи от мощността на изследваното съоръжение, времето за прекъсване на електроснабдяването и времето за неговото възстановяване, чрез които се изчислява коефициента на готовност и коефициента на принуден престой.
- Получените адекватни математични модели позволяват да се определя количеството недоставена електроенергия от вятърни централи и от фотоелектрични централи.
- Съставеният софтуер позволява получаването на математични модели за определяне на количеството недоставена електроенергия от фотоелектрични и вятърни централи и може да се използва при сравняване на варианти за изграждане на ДЕИ при оценка на тяхната енергийна ефективност.

ИЗВОДИ КЪМ ТРЕТА ГЛАВА:

- За оценка на експлоатационната надеждност е достатъчно да се определят два показателя за надеждност, а останалите да се изчисляват аналитично. Единият от тях се избира с дименсия време, другият е от вероятностен характер.
- Най-подходящият критерий за технико-икономическа оценка на надеждността при присъединяване на ДЕИ към електрическата мрежа е количеството недоставена електроенергия.
- Съставената методика за определяне на количеството недоставена енергия позволява да се провеждат изчисления при различни схеми на свързване на ДЕИ към електрическата мрежа.
- Отчитането на възстановяването след аварийно изключване и провежданата профилактика на ДЕИ в съставената методика с приложение на теорията на Марковските вериги повишава точността на изчисленията.
- Количеството недоставена енергия е както технически, така и надеждностен показател. Стойността на количеството недоставена енергия зависи от мощността

на изследваното съоръжение, времето за прекъсване на електроснабдяването и времето за неговото възстановяване, чрез които се изчислява коефициента на готовност и коефициента на принуден престой.

- Използван е създаден софтуер с приложение на математичната теория за планиране на експеримента, позволяващ получаване на адекватни математични модели за определяне на количеството недоставена електроенергия от фотоелектрични и вятърни централи.
- С използвания софтуер е извършено сравняване на варианти за изграждане на ДЕИ, с отчитане на енергийната им ефективност.

ГЛАВА 4. ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН СЪСТАВ НА ХИБРИДНА СИСТЕМА ЧРЕЗ МНОГОКРИТЕРИАЛНО РАНЖИРАНЕ

4.1. ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДА PROMETHEE ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН СЪСТАВ НА ХИБРИДНА СИСТЕМА ЧРЕЗ МНОГОКРИТЕРИАЛНО РАНЖИРАНЕ

Техниката на метода PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) е широко използвана за класиране на алтернативи в различни промишлени сектори. Методиката му се основава на сравнение на алтернативите по двойки.

PROMETHEE I - Това е такава част от метода, с която може да се построи частична наредба (класиране, ранжиране) на алтернативите в множеството A . Ранжирането се осъществява въз основа на отчитане на изходящите и входящите потоци и е свързано с факта, че методът в тази си част допуска наличието на несравними по между си алтернативи.

PROMETHEE II - Въз основа на нетните потоци се реализира онази част от метода, с която може да бъде получена пълна наредба на алтернативите на множеството A .

Приложение на метода PROMETHEE за избор на оптимален състав на хибридна система чрез многокритериално ранжиране

Задачата е да се направи пълна подредба (класиране) на шест проекта за състав на хибридни системи по зададени критерии като се използва метода PROMETHEE.

Проектите за варианти за състав на хибридната система са следните: a_1 – вятърна централа и ФЕЦ; a_2 – ФЕЦ и дизел-генератор; a_3 – малка ВЕЦ и ФЕЦ; a_4 – вятърна централа, ФЕЦ и дизел-генератор; a_5 – вятърна централа и дизел-генератор; a_6 – малка ВЕЦ и дизел-генератор.

Критериите са: f_1 - минимални дисконтирани разходи; f_2 - максимален енергиен добив; f_3 - минимални инвестиции; f_4 - минимални експлоатационни разходи; f_5 - минимални загуби на мощност; f_6 - минимално количество недоставена електроенергия.

Мащабираните числени стойности на критериите за съответните варианти са представени в таблица 4.1.

Таблица 4.1. Мащабирани числени стойности на критериите за различните варианти на изграждане на хибридна система

Критерий	Extr	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
f_1	min	80	65	83	40	52	94
f_2	max	90	58	60	80	72	96
f_3	min	60	20	40	100	60	70
f_4	min	5,4	9,7	7,2	7,5	2	3,6
f_5	min	8	1	4	7	3	5
f_6	min	5	1	7	10	8	6

Работи се в следната последователност:

- Определяне на разликите на всеки критерий спрямо останалите

a ₁ – разлики						
Критерий	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
f1	0	-15	3	-40	-28	14
f2	0	32	30	10	18	-6
f3	0	-40	-20	-40	0	10
f4	0	4,3	1,8	2,1	-3,4	-1,8
f5	0	-7	-4	-1	-5	-3
f6	0	4	-2	-5	-3	-1

a ₂ – разлики						
Критерий	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
f1	15	0	18	-25	-13	29
f2	-32	0	-2	-22	-14	-38
f3	40	0	20	80	40	50
f4	-4,3	0	-2,5	-2,8	-7,7	-6,1
f5	7	0	3	6	2	4
f6	-4	0	-6	-9	-7	5

a ₃ – разлики						
Критерий	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
f1	-3	-18	0	-43	-31	11
f2	-30	2	0	-20	-12	-36
f3	20	-20	0	60	20	30
f4	-1,8	2,5	0	0,3	-5,2	-3,6
f5	4	-3	0	3	-1	1
f6	2	6	0	-3	-1	1

a ₄ – разлики						
Критерий	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
f1	40	25	43	0	12	54
f2	-10	22	20	0	8	-16
f3	-40	-80	-60	0	-40	-30
f4	-2,1	2,2	-0,3	0	-5,5	-3,9
f5	1	-6	-3	0	-4	-2
f6	5	9	3	0	2	4

a ₅ – разлики						
Критерий	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
f1	28	13	31	-12	0	42
f2	-18	14	12	-8	0	-24
f3	0	-40	-20	40	0	10
f4	3,4	7,7	5,2	5,5	0	1,6
f5	5	-2	1	4	0	2
f6	3	7	1	-2	0	2

a ₆ – разлики						
Критерий	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
f1	-14	-29	-11	-54	-42	0
f2	6	38	36	16	24	0
f3	-10	-50	-30	30	-10	0
f4	1,8	6,1	3,6	3,9	-1,6	0
f5	3	-4	-1	2	-2	0
f6	1	5	-1	-4	-2	0

- Определят се позитивните и негативните потоци (PROMETHEE I):

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	Изходящи потоци Σ=
a1	0	0,296	0,25	0,269	0,1	0,185	1,1
a2	0,463	0	0,389	0,333	0,296	0,5	1,981
a3	0,235	0,18	0	0,333	0,056	0,429	1,233
a4	0,399	0,506	0,305	0	0,224	0,212	1,646
a5	0,444	0,515	0,487	0,38	0	0,448	2,274
a6	0,287	0,399	0,25	0,431	0,133	0	1,5
Входящи потоци Σ=	1,828	1,896	1,681	1,746	0,809	1,774	0

- Изчислява се нетният поток $\phi(a)$, който позволява на PROMETHEE II да получи пълна наредба.

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
$\phi(a)$	-0,728	0,085	-0,448	-0,1	1,465	-0,274
Rank	6	2	5	3	1	4

- PROMETHEE II - пълна наредба : $a_5 > a_2 > a_4 > a_6 > a_3 > a_1$

4.2. ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДА RAZOR ЗА ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН СЪСТАВ НА ХИБРИДНА СИСТЕМА

Методът “RAZOR” (Ranking of Alternatives by Z-score Operation Ratings) използва следните величини и зависимости:

- Средно аритметично $\bar{X}_a$:

$$\bar{X}_a = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}. \quad (4.7)$$

- Стандартно отклонение S:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}}. \quad (4.8)$$

- Z – матрица $\{Z(K_s)_i\}$:

$$Z(K_s)_i = \frac{K_s(a_i) - X_a}{S}, \forall s = 1, 2, \dots, n; \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (4.9)$$

- d – матрица $\{d_{si}\}$:

$$d_{si} = \left| \frac{K_s(a_i) - K_{smin}}{S} \right|, \quad \forall s = 1, 2, \dots, n; \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (4.10)$$

Доминирането на алтернативата a_i над алтернативата a_j по отношение на оптималност върху n критерия, се изразява с $a_i < doR_n > a_j$.

Приложение на метода RAZOR за избор на оптимален състав на хибридна система

Задачата е да се направи пълна подредба на шестте проекта от таблица 4.1 по зададените критерии, като се използва метода RAZOR. Изчисленията се провеждат в следната последователност:

- Пресмята се средно аритметичното $\bar{X}_a$ и стандартното отклонение S.

	$\bar{X}_a$	S		$\bar{X}_a$	S
K1	69	20,44	K4	5,9	2,81
K2	76	15,54	K5	4,67	2,58
K3	58,33	27,14	K6	6,17	3,06

- Съставя се Z – матрицата:

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
K1	0,54	-0,2	0,68	-1,42	-0,83	1,22
K2	-0,9	1,16	1,03	-0,26	0,26	-1,29
K3	0,06	-1,41	-0,68	1,54	0,06	0,43
K4	-0,18	1,35	0,46	0,57	-1,39	0,82
K5	1,29	-1,42	-0,26	0,9	-0,65	0,13
K6	0,38	1,69	-0,27	-1,25	-0,6	0,06

- Построява се матрицата с разстояния от всяка алтернатива a_i до “идеалната алтернатива” (d-матрица).

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
K1	1,957	1,223	2,104	0	0,587	2,642
K2	0,386	2,445	2,317	1,03	1,544	0
K3	1,474	0	0,737	2,948	1,474	1,842
K4	1,21	2,74	1,851	1,957	0	0,569
K5	2,713	0	1,163	2,326	0,775	1,55
K6	1,637	2,941	0,98	0	0,654	1,307
$\Sigma=$	9,374	9,349	9,152	8,261	5,034	7,91

- Нареждат се вариантите според метода „RAZOR”:

$$a_5 < doRn > a_6 < doRn > a_4 < doRn > a_3 < doRn > a_2 < doRn > a_1$$

4.3. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ ОТ ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДИТЕ PROMETHEE И RAZOR

Ранжиране на алтернативите по метод “PROMETHEE”:
$a_5 > a_2 > a_4 > a_6 > a_3 > a_1$
Ранжиране на алтернативите по метод “RAZOR”:
$a_5 < doRn > a_6 < doRn > a_4 < doRn > a_3 < doRn > a_2 < doRn > a_1.$

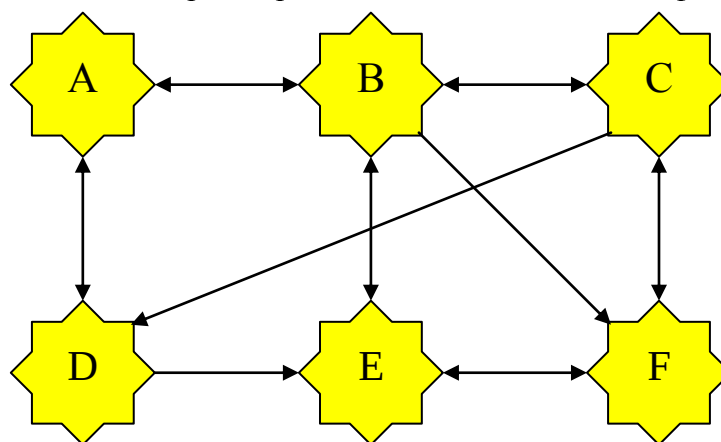
Изчисленията по двата метода показват, че препоръчителният вариант за състав на хибридна система е a_5 : вятърна централа и дизел-генератор.

ИЗВОДИ ПО ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

- Изборът на оптимален състав на хибридна система е задача за многокритериална оптимизация, а подходящите математични методи за нейното решаване са PROMETHEE и RAZOR.
- Разработената методика с приложение на метода PROMETHEE позволява да се прави избор на оптимален състав на хибридна система чрез многокритериално ранжиране.
- Съставената методика с използване на метода RAZOR позволява да се избира оптималния състав на хибридна система.
- Двете методики, създадени на базата съответно на метода PROMETHEE и RAZOR са приложими за голям брой варианти (проекти) и критерии.
- Изчисленията по двата метода показват, че препоръчителният вариант за състав на хибридна система е a_5 : вятърна централа и дизел-генератор.

ГЛАВА 5. ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ХИБРИДНИ СИСТЕМИ ПРЕЗ ПРИЛАГАНЕ НА АДАПТИВНИ АЛГОРИТМИ

Всеки възел от хибридна система съдържа генериращ ДЕИ и собствен товар. Всеки възел може да отдава мощност към останалите възли, да приема мощност от тях и да поддържа собствения си товар. Хибридна система е дадена на фиг.5.1.



Фиг.5.1. Хибридна система с 6 генериращи и консумиращи възли

Връзките, избраните линии и пренасяната мощност между възлите са показани на таблица 5.1.

Таблица 5.1

	A	B	C	D	E	F
A		10 AB	8 ABC	8 AD	7 ABE	9 ABCF
B	8 BA		4 BC	2 BAD	5 BE	4 BF
C	4 CDA	9 CB		3 CD	11 CDE	7 CF
D	4 DA	6 DEB	2 DEFC		12 DE	5 DEF
E	31 EBA	3 EB	1 EFC	36 EBAD		3 EF
F	6 FCBA	3 FEB	26 FC	2 FCD	4 FE	

Клоновете в мрежата и загубата на активна мощност ΔP_i във всеки от тях са дадени в таблица 5.2.

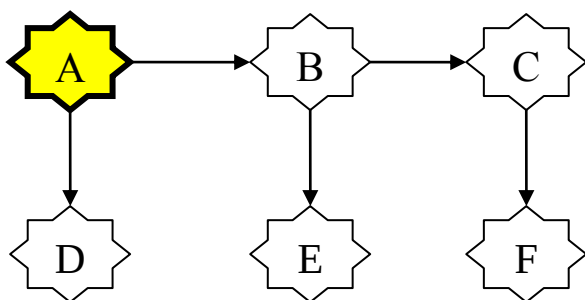
Таблица 5.2.

№	Линия	Загуба на активна мощност ΔP_i , [W]	№	Линия	Загуба на активна мощност ΔP_i , [W]
1.	AB	150	9.	CF	600
2.	AD	1000	10.	DA	600
3.	BA	230	11.	DE	147
4.	BC	777	12.	EB	250
5.	BE	500	13.	EF	147
6.	BF	22	14.	FC	350
7.	CB	356	15.	FE	147
8.	CD	16			

Целта е да се минимизират загубите на активна мощност за всички възли.

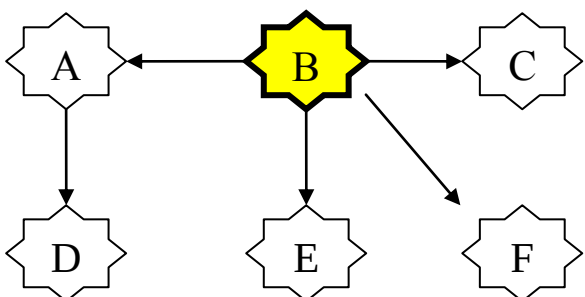
5.1. МАРШРУТИЗАЦИЯ НА ЛИНИИТЕ ОТ ВСЕКИ ВЪЗЕЛ НА ХИБРИДНАТА СИСТЕМА

- A – маршрутизация на линиите



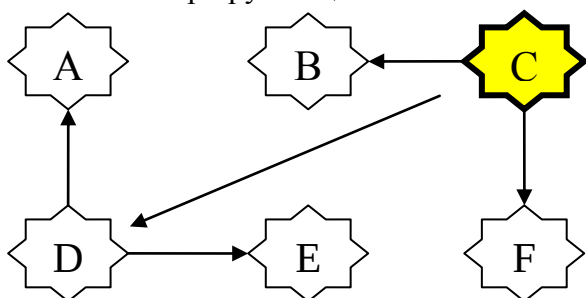
От възел В към възел	Маршрут	ΔP_i , kW
A	-	0
B	AB	150
C	ABC	927
D	AD	1000
E	ABE	650
F	ABCF	1527

- B – маршрутизация на линиите



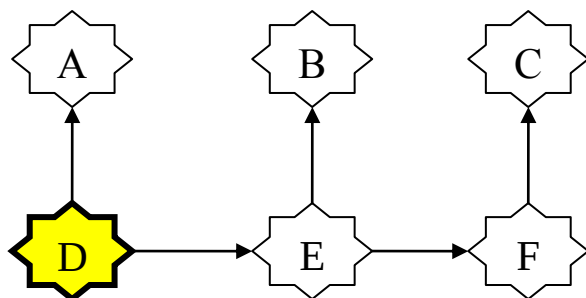
От възел В към възел	Маршрут	ΔP_i , kW
A	BA	230
B	-	0
C	BC	777
D	BAD	1230
E	BE	500
F	BF	22

- C – маршрутизация на линии



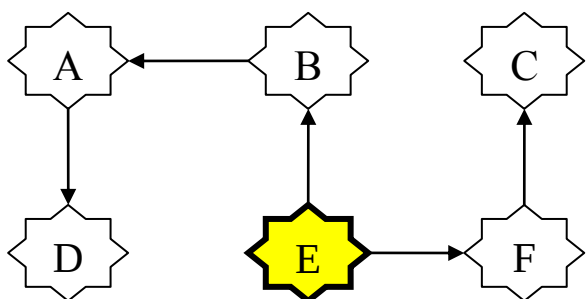
От възел В към възел	Маршрут	ΔP_i , kW
A	CDA	616
B	CB	356
C	-	0
D	CD	16
E	CDE	163
F	CF	600

- D – маршрутизация на линии



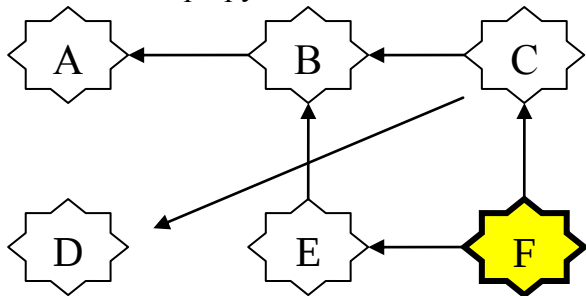
От възел В към възел	Маршрут	ΔP_i , kW
A	DA	600
B	DEB	397
C	DEFC	644
D	-	0
E	DE	147
F	DEF	294

- E – маршрутизация на линии



От възел В към възел	Маршрут	ΔP_i , kW
A	EBA	480
B	EB	250
C	EFC	497
D	EBAD	1480
E	-	0
F	EF	147

- F – маршрутизация на линии



От възел В към възел	Маршрут	ΔP_i , kW
A	FCBA	936
B	FEB	397
C	FC	350
D	FCD	366
E	FE	147
F	-	0

Загубите на активна мощност ΔP_i , kW от всеки възел до останалите възли в хибридната система са показани в таблица 5.3.

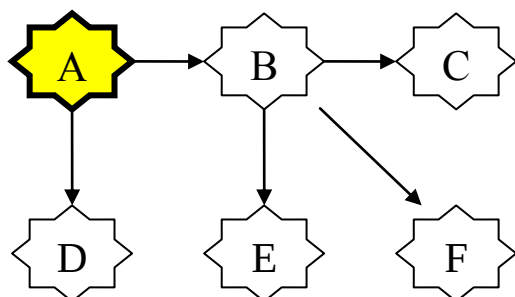
Таблица 5.3. Загуби на активна мощност ΔP_i , kW от всеки възел до останалите възли в хибридната система

	A	B	C	D	E	F
A	0	230	616	600	480	936
B	150	0	356	397	250	397
C	927	777	0	644	497	350
D	1000	1230	16	0	1480	366
E	650	500	163	147	0	147
F	1527	22	600	294	147	0

5.2. МИНИМИЗИРАНЕ НА ЗАГУБИТЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ ОТ ВСЕКИ ВЪЗЕЛ КЪМ ОСТАНАЛИТЕ ВЪЗЛИ НА ХИБРИДНАТА СИСТЕМА

5.2.1.МИНИМИЗИРАНЕ НА ЗАГУБИ НА АКТИВНА МОЩНОСТ ОТ ВЪЗЕЛ А ДО ВСИЧКИ ОСТАНАЛИ ВЪЗЛИ И СЪЗДАВАНЕ НА НОВА МАРШРУТНА ТАБЛИЦА

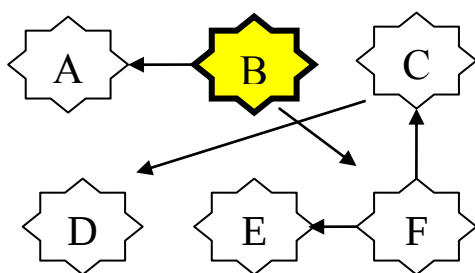
- Оптимизирана маршрутна таблица и граф от възел А



От възел А към възел	Маршрут	ΔP_i , kW от в.А през в.В до всички	ΔP_i , kW от в.А през в.Д до всички	ΔP_i , kW от в.А до всички
A	-	0	0	0
B	AB	150	1397	150
C	ABC	927	1644	927
D	AD	1380	1000	1000
E	ABE	650	1147	650
F	ABF	172	1294	172

5.2.2. МИНИМИЗИРАНЕ НА ЗАГУБИ НА АКТИВНА МОЩНОСТ ОТ ВЪЗЕЛ В ДО ВСИЧКИ ОСТАНАЛИ ВЪЗЛИ И СЪЗДАВАНЕ НА НОВА МАРШРУТНА ТАБЛИЦА

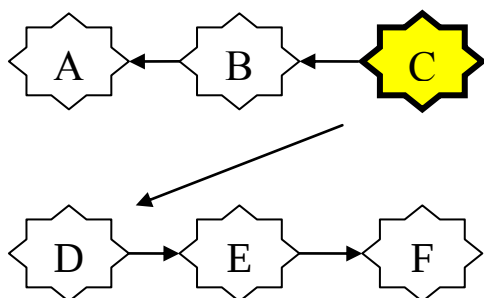
- Оптимизирана маршрутна таблица и граф от възел В



От възел В към възел	Маршрут	ΔP_i , kW от в.В през в.С до всички	ΔP_i , kW от в.В през в.А до всички	ΔP_i , kW от в.В през в.Е до всички	ΔP_i , kW от в.В през в.Ф до всички	ΔP_i , kW от в.В до всички
A	BA	1393	230	980	958	230
B	-	0	0	0	0	0
C	BFC	777	1157	997	372	372
D	BFGD	793	1230	1980	388	388
E	BFE	940	880	500	169	169
F	BF	1377	1757	647	22	22

5.2.3. МИНИМИЗИРАНЕ НА ЗАГУБИ НА АКТИВНА МОЩНОСТ ОТ ВЪЗЕЛ С ДО ВСИЧКИ ОСТАНАЛИ ВЪЗЛИ И СЪЗДАВАНЕ НА НОВА МАРШРУТНА ТАБЛИЦА

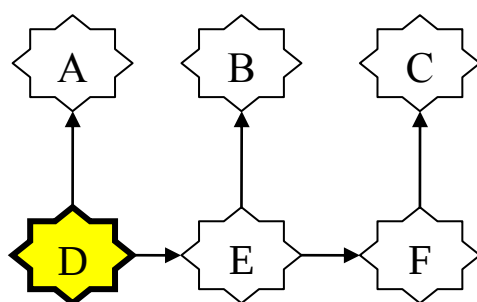
- Оптимизирана маршрутна таблица и граф от възел С



От възел С към възел	Маршрут	ΔP_i , kW от в.С през в.В до всички	ΔP_i , kW от в.С през в.Ф до всички	ΔP_i , kW от в.С през в.Д до всички	ΔP_i , kW от в.С до всички
A	CBA	586	1536	616	586
B	CB	356	997	413	356
C	-	0	0	0	0
D	CD	1586	966	16	16
E	CDE	856	747	163	163
F	CDEF	378	600	310	310

5.2.4. МИНИМИЗИРАНЕ НА ЗАГУБИ НА АКТИВНА МОЩНОСТ ОТ ВЪЗЕЛ D ДО ВСИЧКИ ОСТАНАЛИ ВЪЗЛИ И СЪЗДАВАНЕ НА НОВА МАРШРУТНА ТАБЛИЦА

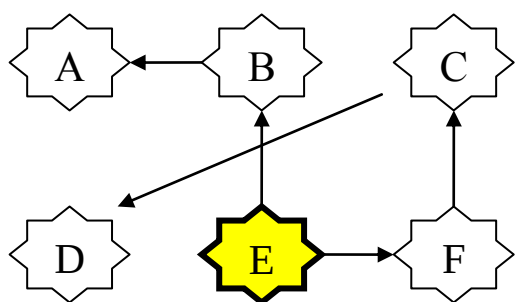
- Оптимизирана маршрутна таблица и граф от възел D



От възел D към възел	Маршрут	ΔP_i , kW от в. D през в. A до всички	ΔP_i , kW от в. D през в. E до всички	ΔP_i , kW от в. D до всички
A	DA	600	627	600
B	DEB	750	397	397
C	DEFC	1527	644	644
D	-	0	0	0
E	DE	1250	147	147
F	DEF	2127	294	294

5.2.5. МИНИМИЗИРАНЕ НА ЗАГУБИ НА АКТИВНА МОЩНОСТ ОТ ВЪЗЕЛ E ДО ВСИЧКИ ОСТАНАЛИ ВЪЗЛИ И СЪЗДАВАНЕ НА НОВА МАРШРУТНА ТАБЛИЦА

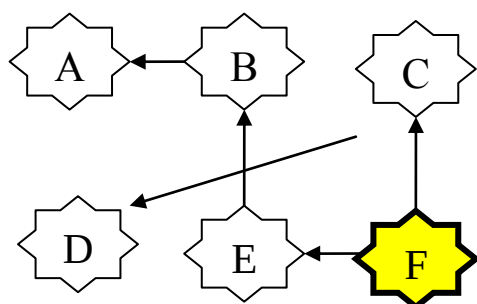
- Оптимизирана маршрутна таблица и граф от възел E



От възел E към възел	Маршрут	ΔP_i , kW от в. E през в. B до всички	ΔP_i , kW от в. E през в. F до всички	ΔP_i , kW от в. E до всички
A	EBA	480	1083	480
B	EB	250	544	250
C	EFC	1027	497	497
D	EFCD	1480	513	513
E	-	0	0	0
F	EF	272	147	147

5.2.6. МИНИМИЗИРАНЕ НА ЗАГУБИ НА АКТИВНА МОЩНОСТ ОТ ВЪЗЕЛ F ДО ВСИЧКИ ОСТАНАЛИ ВЪЗЛИ И СЪЗДАВАНЕ НА НОВА МАРШРУТНА ТАБЛИЦА

- Оптимизирана маршрутна таблица и граф от възел F



От възел F към възел	Маршрут	ΔP_i , kW от в. F през в. C до всички	ΔP_i , kW от в. F през в. E до всички	ΔP_i , kW от в. F до всички
A	FEBA	966	627	627
B	FEB	706	397	397
C	FC	350	644	350
D	FCD	366	1627	366
E	FE	513	147	147
F	-	0	0	0

- Минимални загуби на активна мощност ΔP_i , kW

	A	B	C	D	E	F
A	0	230	586	600	480	627
B	150	0	356	397	250	397
C	927	372	0	644	497	350
D	1000	388	16	0	513	366
E	650	169	163	147	0	147
F	172	22	310	294	147	0

Изменението на трансфера на мощност между възлите в хибридна система е показано в таблица 5.4.

Таблица 5.4.

	A	B	C	D	E	F
A		10 AB	8 ABC	8 AD	7 ABE	9 ABF
B	8 BA		4 BFC	2 BFCD	5 BFE	4 BF
C	4 CBA	9 CB		3 CD	11 CDE	7 CDEF
D	4 DA	6 DEB	2 DEFC		12 DE	5 DEF
E	31 EBA	3 EB	1 EFC	36 EFCD		3 EF
F	6 FEBA	3 FEB	26 FC	2 FCD	4 FE	

Проведеното изследване показва, че загубите на мощност могат да се минимизират при експлоатация на хибридни системи, посредством прилагането на адаптивните алгоритми.

Изводи към глава пета

- Оптималното функциониране на хибридна система с голям брой възли може да се постигне чрез прилагане на адаптивни маршрутни алгоритми.
- Съставената методика и решеният пример показват, че в процеса на експлоатация със средствата за автоматизация могат да се следят и избират оптималните режими в хибридна система, с което се повишава нейната ефективност.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По-съществените научно-приложни приноси в дисертацията са следните:

- Разработена е методика и програмни модули за въвеждане на входни данни за различните видове ДЕИ и оценка на тяхната ефективност. Изчислителните процедури са адаптирани към изграждане на паркове от вятърни централи. Прави се избор на: вятърна централа с оптимален добив на електроенергия за избраното място за монтаж; избор на оптимален вариант по срок за възвръщане на инвестициите; определяне на очакваното и реалното производство на електроенергия от вятърна централа, присъединена към електрическата мрежа.
- Съставена е методика за икономически анализ, която се базира на метода на дисконтираните разходи, с който се проследява движението на паричните потоци във времето и е подходящ за оценка на срока за възвръщане на инвестициите при поетапно изграждане на ДЕИ.
- Предлага се методика да симулиране на електрическите товари в отворената разклонена мрежа с ДЕИ, разглеждана като динамична Марковска система, като се отчитат специфичните особености на генериращите и потребяващите възли.
- Разработени са програмни модули за изчисляване на вероятностите за състояния на ВЕЦ и на вятърни централи, с които се оценява тяхната експлоатационна надеждност. Модулите са разработени с прилагане на теорията на Марковските вериги, съответно за 3 и 5 разглеждани състояния на обектите.
- Съставена е методика се изчислява икономическата ефективност на електроенергийните обекти и определяне на конкретни икономически показатели. Методиката е приложена за оценка на икономическата ефективност на малка ВЕЦ.

- Създадена е методика за определяне на количеството недоставена енергия при различни схеми на свързване на ДЕИ към електрическата мрежа чрез прилагане на математичната теория на надеждността. Повишаването на точността на изчисленията в методиката се постига с отчитане на възстановяването след аварийно изключване и провежданата профилактика на ДЕИ. Разработената методика и съответния алгоритъм се основават на прилагането на теорията на Марковските вериги.
- Получени са адекватни математични модели за определяне на количеството недоставена електроенергия от фотоелектрични и вятърни централи чрез прилагане на математичната теория за планиране на експеримента. Разработеният софтуер е полезен при сравняване на варианти за изграждане на ДЕИ при оценка на тяхната енергийна ефективност.
- Съставени са две методики за избор на оптимален състав на хибридна система, чрез решаването на задача за многокритериална оптимизация. Първата методика се основава на приложение на метода PROMETHEE, чрез който се прави избор на оптимален състав на хибридна система чрез многокритериално ранжиране. Втората методика за избор на оптимален състав на хибридна система използва оптимизационния метод RAZOR. Двете методики са приложими за голям брой варианти (проекти) и критерии. Разработените две методики за избор на оптимален състав на хибридна система са приложени за 6 варианта за състав на хибридна система (вятърна централа и ФЕЦ; ФЕЦ и дизел-генератор; малка ВЕЦ и ФЕЦ; вятърна централа, ФЕЦ и дизел-генератор; вятърна централа и дизел-генератор; малка ВЕЦ и дизел-генератор) и 6 критерия (минимални дисконтирани разходи; максимален енергиен добив; минимални инвестиции; минимални експлоатационни разходи; минимални загуби на мощност; минимално количество недоставена електроенергия). Броят на вариантите за състав на хибридна система и на критериите при приложението на методиките не се ограничава.
- Съставена е методика за определяне на оптималното функциониране на хибридна система, съставена от възли, всеки от които съдържа генериращ ДЕИ. Оптималното решение и повишената ефективност на хибридна система се постига чрез прилагане на адаптивни маршрутни алгоритми.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Неделчева С., Е. Василева. "Особености при оразмеряване на автономни фотоелектрични системи", Национална конференция с международно участие "Активно-адаптивни електрически мрежи - 2014", Жеравна, 31 май -1 юни 2014г, ISSN 1312-3920, №3, 2014, стр.29-31
2. Неделчева С., Е. Василева. "Оптимален енергиен добив от вятърни централи", Известия на ТУ - Сливен, ISSN 1312-3920, №4, 2016, стр.17-20.
3. Неделчева С., Е. Василева, Д.Василев. "Изследване на експлоатационната надеждност на електрически мрежи с децентрализирани производители на електроенергия", Известия на ТУ - Сливен, ISSN 1312-3920, №4, 2015, стр.30-34.
4. Василева Е., "Експериментално изследване на количеството недоставена електроенергия от децентрализирани енергийни източници", Известия на ТУ - Сливен, ISSN 1312-3920, №1, 2016, стр.43-48.
5. Неделчева С., Е. Василева. "Определяне на вероятностите за състоянията на водна електрическа централа с два генератора", Известия на ТУ-Сливен, ISSN 1312-3920, №2, 2017, стр.9-12
6. Неделчева С., Е. Василева. "Определяне на вероятностите за състоянията при функционирането на вятърна централа", Известия на ТУ - Сливен, ISSN 1312-3920, №2, 2017, стр.13-16
7. Неделчева С., Е. Василева, Д.Василев, Б.Бакърджиев, Ст.Байрактаров. "Икономически анализ при изграждане на децентрализирани енергийни източници", Известия на ТУ - Сливен, ISSN 1312-3920, №1, 2017, стр.3-11.
8. Василева Е., "Критерий за надеждност при присъединяване на децентрализирани енергийни източници към електрическата мрежа", Национална конференция с международно участие "Техника и технологии - ICTTE 2017", Ямбол, 19 - 20 октомври 2017г.
9. Василева Е., М.Мацанков, "Определяне на недоставената електроенергия при експлоатация на децентрализирани енергийни източници", Национална конференция с международно участие "Техника и технологии - ICTTE 2017", Ямбол, 19 - 20 октомври 2017г.
10. Василева Е. Избор на оптимален състав на хибридна система чрез многокритериално ранжиране. Известия на ТУ - Сливен, ISSN 1312-3920, №5, 2017.
11. Василева Е. Повишаване на ефективността на хибридни системи през прилагане на адаптивни алгоритми. Известия на ТУ - Сливен, ISSN 1312-3920, №5, 2017.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DECENTRALIZED ELECTRIC ENGINEERING MANUFACTURERS

Evgeniya Petkova Vasileva

Resume

This dissertation has developed methodology and program modules for evaluating the efficiency of different types decentralized energy sources (DES). There is a selection between: a wind farm with optimal power output for the selected installation site; choosing the optimal option for return on investment; determining the expected and the actual electricity generation of a wind farm connected to the grid.

An economic analysis methodology, based on the discounted cost method, has been developed to track the flow of cash flows over time and is appropriate for assessing the return of investment for the different phases of building of DES.

A methodology, to simulate the electrical loads in the open branched net with DES, has been suggested, and is considered as a dynamic Markov system, taking into account the specifics of the generating and consuming units.

Program modules have been developed for calculating the probabilities for the status of HPPs and wind power plants that assess their operational reliability. The modules have been developed using the Markov chain theory.

A methodology has been developed to calculate the economic efficiency of the power plants and to define specific economic indicators. The methodology is applied to assess the economic efficiency of a small hydropower plant.

A methodology has been developed to determine the amount of the delivered energy, under different schemes of connection of DES to the grid by applying the mathematical theory of reliability. Increasing the accuracy of the calculations in the methodology has been achieved by taking into account the recovery of DES, after the emergency shutdown and the preventive maintenance. The developed methodology and the corresponding algorithm are based on the applying the theory of Markov chains.

Adequate mathematical models have been obtained to determine the amount of unspent electricity from photovoltaic and wind power plants, by applying the mathematical theory of planning the experiment. The software developed is useful when comparing options for DES construction, when assessing their energy efficiency.

Two methodologies for choosing the optimal composition of a hybrid system are formulated by solving a multicriteria optimization task. The first methodology uses the PROMETHEE method and the second - the RAZOR method. Both methodologies are applicable to a large number of options and criteria. Those two methodologies, which are developed, are used for choosing the optimum composition of the hybrid system, and can be applied for 6 options for the composition of the hybrid system (wind power plant and power station, FPP and diesel generator, small HPP and FEC, wind power plant, FPP and diesel generator, diesel generator, small HPP and diesel generator) and 6 criteria (minimum discounted costs, maximum energy yield, minimum investment, minimum operating costs, minimum power losses, minimum amount of undelivered electricity).

A methodology has been developed to determine the optimal functioning of a hybrid system composed of nodes, each of which contains a generating DES. The optimal solution and increased efficiency of the hybrid system is achieved by applying adaptive route algorithms.