



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
Инженерно-педагогически факултет - Сливен
Катедра „Педагогика и мениджмънт“

Михаела Атанасова Иванова

**ИНВЕСТИЦИОННИ ПРОБЛЕМИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА
ИНТЕЛИГЕНТНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ С АКТИВНИ
ПОТРЕБИТЕЛИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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

Област: 3. Социални, стопански и правни науки

Професионално направление: 3.7. „Администрация и управление”

Научна специалност: Икономика и управление (индустрия)

Научни ръководители: Доц. д-р Йордан Чобанов
Проф. д-р инж. Стефка Неделчева

СОФИЯ, 2020 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Педагогика и мениджмънт“ към Инженерно-педагогически факултет - Сливен на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 13.12.2019 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 10.04.2020 г. от 16,00 часа в зала 1207 на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-3.7-38 от 20.12.2019 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д.ик.н. Младен Стефанов Велев – председател
2. Проф. д-р Братой Георгиев Копринаров – научен секретар
3. Проф. д-р Валентин Кирилов Велев
4. Проф. д-р Димитър Христов Тенчев
5. Проф. д-р инж. Никола Петров Михайлов

Рецензенти:

1. Проф. д.ик.н. Младен Стефанов Велев
2. Проф. д-р инж. Никола Петров Михайлов

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 в свободна форма на обучение към катедра „Педагогика и мениджмънт“ на факултет ИПФ-Сливен. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като преобладаващата част от резултатите са публикувани.

Автор: **Михаела Атанасова Иванова**

Заглавие: **Инвестиционни проблеми при изграждане на интелигентни електрически мрежи с активни потребители**

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Стратегията за Европейския енергиен съюз съдържа основните насоки и предизвикателства при развитието на енергийния отрасъл. Основните цели, заложили стратегията са:

- енергийна сигурност и интегриран европейски енергиен пазар;
- постигане на енергийна ефективност, намаляване на въглеродните емисии;
- иновации и конкурентоспособност.

Изграждането и присъединяването на децентрализирани електроенергийни източници (ДЕИ) и внедряване на иновативни технологии в областта на електроенергетиката, са проблеми с точно пресметнати ползи за собствениците на генериращите източници и за носителите на иновативните идеи, но не и за крайните ползватели. Твърде дискуссионен е въпросът за изграждане на заместващи генериращи мощности в нашата електроенергетика. Част от изградените мощности се амортизират и подлежат на закриване, други вече са изведени от експлоатация. През последните години се обсъждат възможностите за изграждане на интелигентни електрически мрежи (ИЕМ). Естествено, че в етапа на цифровизация и съвременно развитие на комуникациите и информационните технологии е логично да се смята, че ИЕМ са електрическите мрежи на бъдещето. Дали обаче технически е осъществимо тяхното изграждане на настоящия етап? Отговорът отново произтича от детайлно проучване на всички технически, икономически и социални аспекти на проблема. Всеки етап от изграждането на ИЕМ предизвиква инвестиционни проблеми, подлежащи на решаване. Така възникват въпросите:

- Каква е техническата осъществимост и какви са реалните ползи и очаквания от изграждане на ИЕМ в нашата страна?
- Какъв е ефекта от въвеждането на активни потребители в разпределителните ИЕМ?
- Какви са основните инвестиционни проблеми при изграждане на ИЕМ с активни потребители?
- Кой методи за краткосрочно прогнозиране на електрическите товари са най-подходящи за съобразно конкретните условия на развитие на ИЕМ?
- До каква степен може да се разчита на експертните оценки относно вземане на инвестиционни решения при изграждане на електроенергийни обекти?
- По какви критерии трябва да се изграждат хибридните системи в условията на неопределеност при възможност за включване на активни потребители в състава им?
- Какви са инвестиционните проблеми при изграждане на хибридни системи с активни потребители?
- Каква са реалните ползи и социалната нагласа на обществото за приемане на иновативните технологии в областта на електроенергетиката?

Това са основните въпроси, на които се търси научно обоснован отговор в дисертацията, което прави темата актуална и навременна.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертацията е да се изследват инвестиционните проблеми и да се обоснове ефектът от въвеждането на активни потребители в ИЕМ и автономни системи.

Обектът на изследването: разпределителни ИЕМ и автономни системи.

Предметът на изследването: активните потребители в ИЕМ (Smart Grid) и автономни системи.

Нерешените **проблеми** са следните:

- Няма публикации относно техническата осъществимост, инвестиционните проблеми и реалните ползи от изграждането на ИЕМ.

- Не са провеждани изследвания за ефекта от въвеждането на активни потребители в разпределителните ИЕМ и автономните системи.
- Няма анализ на инвестиционните проблеми при прилагане на мероприятия за постигане на енергийна ефективност в ИЕМ.
- Не са публикувани резултати за избор на оптимален състав на хибридна система с активен потребител.
- Няма сравнения относно методите за експертна оценка при краткосрочно прогнозиране на електрическите товари и при избор на активни потребители в ИЕМ и в автономни системи.

Основните задачи за решаване в дисертацията са следните:

- Да се създаде методика за прогнозиране на електрическите товари в разпределителните ИЕМ съобразно конкретните условия в нашата страна.
- Да се анализира техническата осъществимост, инвестиционните проблеми и реалните ползи от изграждане на ИЕМ.
- Да се проведе изследване на ефекта от въвеждането на активни потребители в разпределителните ИЕМ.
- Да се анализират инвестиционните проблеми при прилагане на мероприятия за енергийна ефективност в ИЕМ.
- Да се изберат критерии и да се съставят варианти за изграждане на хибридна система и да се избере оптималния от тях.
- Да се сравнят методите за експертна оценка при краткосрочно прогнозиране на електрическите товари и при избор на активни потребители в ИЕМ.
- Да се проведе експертна икономическа оценка при избор на активни потребители в автономни системи.

Така набелязаната цел и конкретизираните задачи за изследване попадат в стратегически значимите иновационни направления, съобразно Стратегията на Европейския енергиен съюз за развитието на енергийния отрасъл.

Изследванията са проведени с прилагане на математичните методи за планиране и прогнозиране, прилагане на математичната теория на игрите, теорията на полезността и оптимизационни методи.

Научна новост

1. Въвеждат се активни потребители в товарите графици на разпределителните ИЕМ и се оценява икономическият ефект от включването им извън зоната на максималния и върховия товар.

2. Разработена е методика за прогнозиране на товаровия график и оперативно планиране на мощностите на товарите и генериращите източници в ИЕМ с отчитане на наличието на активни потребители и акумулиращи системи.

3. Съставена е методика и алгоритъм с прилагане на метода на йерархичния анализ от математичната теория на игрите, с който при различна степен на значимост на формулираните основни критерии и конкретизирани теглови коефициенти се взема решение за изграждане на хибридната система от разглежданите варианти.

4. Разработена е методика за експертната оценка, включваща критериите дисконтинирани разходи, загубите на мощност и перспективността от изграждане на активните потребители.

5. Създаден е алгоритъм за изчисляване на загубите на мощност и вложените инвестиции при проектиране на разпределителни ИЕМ по оптимизирани схеми за постигане на енергийна ефективност.

Практическа приложимост

Практическата полза от проведеното изследване е обобщаване на инвестиционните проблеми и обосноваване на ефекта от въвеждането на активни потребители в ИЕМ.

Съставените методики и алгоритми са приложими за икономическа оценка на работата на активните потребители, при преустройство и експлоатация на разпределителните мрежи по оптимизирани схеми.

Оценени са влияещите фактори при формиране на критерии и обосновки за изграждане на ИЕМ и за избор на активни потребители.

Получените резултати са полезни за икономически оценки при изграждане на електроенергийни обекти в ИЕМ.

Апробация

Апробация на резултатите от изследванията е извършена на:

1. The 2nd International Conference on Electrical Engineering and Green Energy (CEEGE 2019). EI Compendex and Scopus, Roma, Italy, June 28-30, 2019.
2. International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2019. October 16-18, ISSN 1314-9474, Index Copernicus, 2019.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 12 публикации, от които 4 самостоятелни. 10 от публикациите са научни статии в списание ISSN 1312-3920 „Известия на ТУ-Сливен“, включено в Националния референтен списък, а 2 доклада са с EI Compendex and Scopus и Index Copernicus.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 127 страници, като включва увод, 6 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 106 литературни източници, като 29 са на латиница и 77 на кирилица. Работата включва общо 31 фигури и 15 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ВИЗИЯ И ПРЕДПОСТАВКИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ

1.1. Европейски насоки за развитие на електроенергийния сектор

Общата европейска политика в областта на енергетиката е насочена към решаването на съществени проблеми, особено важни за развитието на европейската общност. Проблемните области, значими за целия Европейски съюз (ЕС), са:

- нарастване на цените на енергийните ресурси, поради увеличаващото се потребление на електроенергия в световен мащаб и изчерпването на традиционните ресурси; недостатъчно развитие на алтернативни енергийни технологии за съхраняване на промишлени количества електроенергия и изграждане на ефективни ДЕИ;
- енергийна зависимост на държавите от ЕС от вносни изкопаеми енергоресурси в количествено и финансово измерение;
- затруднения при дългосрочните инвестиционни процеси, поради отсъствие на добре работещи вътрешни енергийни пазари;
- необходимост от ограничаване на въглеродните емисии за овладяване климатичните промени в световен мащаб.

За решаване на проблемите в енергийния сектор ЕС развива обща енергийна политика, структурирана в три основни направления:

- гарантиране на сигурността на електроснабдяване на потребителите;
- ограничаване на зависимостта от внос на енергийни ресурси;
- овладяване на промените на глобалния климат, предизвикани от човешката дейност.

Реализацията на енергийните проекти е успешна само след елиминиране на инвестиционните проблеми, възникващи в етапа на тяхното проектиране и изграждане.

1.2.Европейски проекти за българския електроенергиен сектор

Една от основните насоки на Енергийния съюз, набелязана в Стратегията, е провеждане на съвместни научни изследвания, иновации и конкурентноспособност.

Реализираните европейски проекти в нашата страна в областта на ДЕИ, се извършват в периода, когато все още няма изградени такива централи. Резултатите от изследванията повлияват на решението за финансиране с европейски средства на ДЕИ при доказана рентабилност. Въпреки голямата значимост и полза за последвалото масово изграждане на ДЕИ, широката общественост у нас не е достатъчно добре запозната с резултатите от изследванията и реализираните европейски проекти. В електроенергетиката, са усвоени средства по европейски програми, а изгодата за хората не е изяснена. Реализирани са само проектите с ясни инвестиционни намерения и доказани ползи пред инвеститорите.

1.3.Състояние на проблема за прогнозиране на електрическите товари в ИЕМ

Основните насоки, по които се работи в момента, са: концепции и проектиране на ИЕМ; ВЕИ в структурите на ИЕМ; усъвършенстване на методите за прогнозиране на електрическите товари; активни потребители в ИЕМ.

Технологиите на ИЕМ (Smart Grid) постепенно ще навлизат в битовия сектор, но в близко бъдеще могат да предизвикат намаляване на електрическия товар само с 2-3%.

Изграждането на разпределителни ИЕМ за средно напрежение и въвеждането на активни потребители ще доведе до изменения в денонощните товарови графици, което трябва да се отчита при оперативното прогнозиране.

ГЛАВА 2. ИЗГРАЖДАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ С АКТИВНИ ПОТРЕБИТЕЛИ

2.1. Особенности на интелигентните електрически мрежи

Интелигентната електрическа мрежа е съвкупност от включените генериращи източници и потребители на електроенергия към електрическите мрежи и системите за управление. Новата техника и иновационните технологии са приоритетни за ИЕМ и с тях се осигурява управляемостта на мрежата. Заедно със средствата за мониторинг и диагностика, те позволяват в реално време да се осигури въздействие както върху генериращите източници, така и върху електрическата мрежа и потребителите (фиг.2.3).



Фиг.2.3. Средства за въздействие върху елементите на ИЕМ

Ефектите от изграждането на ИЕМ са технически, икономически и социални.

2.2.Анализ на влияещите фактори при съставяне на концепция за изграждане на ИЕМ

Най-съществените особености при експлоатацията на електроенергийната система (ЕЕС) са следните:

- Наблюдава се тенденция за по-нататъшно нарастване на мощностите от присъединяваните ДЕИ, изградени на базата на ВЕИ, при очаквано изчерпване на традиционните невъзобновяеми енергийни ресурси.
- Нарастват техногенните и инфраструктурните рискове, с които е свързано развитието на мрежовата топология в районите с висока плътност на населението.
- В структурата на производство на електрическа енергия доминират ТЕЦ и АЕЦ.
- През последните години се повишава ефективността на ДЕИ;

- Решават се проблемите, свързани със съгласуване на действието на средствата за релейна защита с автоматизация;
- Започна цифровизация на подстанциите в електрически мрежи.
- Въвеждат се екологични ограничения в дългосрочен план. Защитените зони от „Натура-2000” покриват 34,46% от площта на страната и в тях не се допуска изграждането на ДЕИ.
- Ограничават се инвестиционните ресурси за строителство на нови електроенергийни обекти и развитие на топологията на електрическата мрежа.

Отчитането на всички влияещи фактори при развитие на ЕЕС и рисковете, свързани с тях, налага преразглеждане на традиционните подходи и принципи при производство на електроенергия и електроснабдяване на потребителите. В този аспект се разглежда създаването на концепция за иновационно развитие в ЕЕС, която съответства на съвременното виждане за ИЕМ.

Факторите, способстващи развитието на ИЕМ, са технологични, пазарни и експлоатационни. Отчитането на всички фактори и свързаните с тях рискове при развитието на ЕЕС изискват преразглеждане на традиционните подходи, принципите и механизмите за функциониране, способите за управление, с които се осигурява устойчиво развитие в отрасъла и изграждане на ИЕМ.

Изводи:

Нито един от основните фактори (технологични, експлоатационни, пазарни) не може да се пренебрегне при съставяне на концепция за изграждане на ИЕМ.

Направената класификация на основните фактори позволява по-пълното им анализиране и отчитане със съответните рискове при изграждане на ИЕМ.

2.3. Съпоставка на основните изисквания към ИЕМ и функционалните им свойства

Разбирането за ИЕМ означава електрическа мрежа, удовлетворяваща изискванията за енергийно ефективно и икономично функциониране на ЕЕС с координирано управление и с двустранна връзка между нейните елементи.

Интелигентната мрежа обединява на технологично ниво електрическите мрежи, потребителите и производителите на електроенергия в единна автоматизирана система, която се обслужва самостоятелно в реално време. Режимите на работа на всички елементи се наблюдават непрекъснато чрез разклонена система от датчици в режим on-line. Интелигентната мрежа трябва автоматично да реагира на всички изменения, настъпващи в нея, като приема оптимални решения за предотвратяване на аварии и осъществяване на енергоснабдяване с максимална надеждност и икономическа ефективност.

Изграждането на ИЕМ е сложна задача, която включва количествен анализ и оценка на изискванията към системата за функциониране и състав на използваните съоръжения.

Необходимо е да се отчита индивидуалната конфигурация на всяка система и нейното текущо състояние и възможности за бъдещо развитие.

Изводи:

- Изграждането на ИЕМ е предпоставка за изграждане на единен комплекс от автоматизирани и управляеми елементи.
- С ИЕМ се постига ефективно използване на различните генериращи източници, оптимално управление на режимите с помощта на цифрови информационни и технологически автоматизирани системи.
- С изграждането на ИЕМ се постига диагностика на състоянието на съоръженията в работен режим и координирана работа на потребителите, акумулиращите системи и доставчика на електроенергия.

2.4. Въвеждане на активни потребители при изграждане на разпределителни ИЕМ

Денонощният товаров график на ЕЕС се състои от сумата на товарите графици на отделните потребители, които по принцип са неравномерни. Плътността и равномерността

на товаровия график оказва съществено влияние върху икономическите показатели на електрическата мрежа. Изменението на товарите графици на потребителите дава възможност за съществени корекции в сумарния товаров график. Целта на въвежданите корекции е понижаване на сумарната мощност на потребителите и съответно намаляване на необходимата генерираща мощност за тяхното функциониране. Изравняването на товарите графици чрез запълване на нощните спадания и някои от дневните понижения в конкретни часове от денонощието може да се извърши чрез въвеждането на потребители регулатори. В тяхната структура са вградени електротехнологни съоръжения, които ги включват в работен режим при спадания в товаровия график, с което се осъществява регулирането му.

Идеята е по аналогия на потребителите регулатори, внасяни в ЕЕС, да се включват активни потребители в ИЕМ и да се оцени ефекта от тях. Активният потребител трябва да е проектиран специално за работа в режим, съгласуван с товаровия график на ИЕМ.

В ИЕМ установяването на излишък или недостиг на мощност с помощта на автоматизирано управление съответно ще включва или изключва активния потребител.

Оптимизация на електропотреблението на активния потребител

Критерият за минимална заплатена потребяема електроенергия, а също и максимална мощност, подходящ за промишлени потребители се изразява с:

$$(2.1) \quad \min \left(c_p P_{\max} + \sum_{k=1}^K c_k E_k \right),$$

където c_p е относителната стойност на 1 kW от денонощния максимум на товара, лв/ kW; c_k - относителната стойност на 1 kWh електроенергия, лв/ kWh; $P_{\max}$ – максималният товар на потребителя, kW; E_k – количеството потребяема електроенергия за денонощие, kWh; K - броят на интервалите, на които се разделя денонощния товаров график.

Ограниченията при минимизация на критерий (2.1) са следните:

$$(2.3) \quad E_k \geq E_{k \min}$$

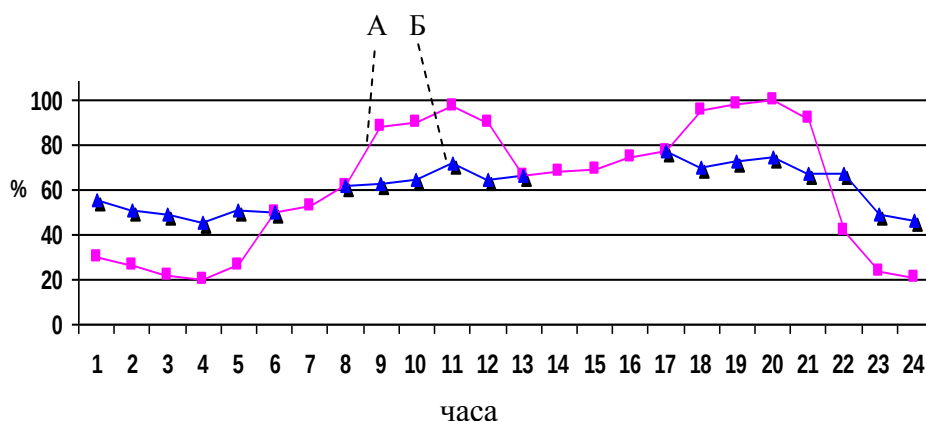
$$(2.4) \quad 0 \leq P_r \leq P_{r \max}.$$

Израз (2.3) задава възможните ограничения по потребявана електроенергия за интервала k от денонощния товаров график. Израз (2.4) задава ограниченията на пределната сумарна мощност на активните потребители, пренасянето на мощността на които в друга зона на товаровия график няма да доведе до понижаване на производителността им.

Граничните стойности на регулируемите товари и възможността за тяхното преместване в други зони на товаровия график трябва да се съобразява с технологичните особености и тяхната способност за адаптация към измененията в електропотреблението.

Минимизация на загубите от активните потребители при закупуване на електроенергия се извършва в следната последователност:

- Потребителите в ИЕМ се групират по типове: битови, промишлени, с автоматизирано производство и с възможност за включване и изключване според големината на мощността в товаровия график;
- Задава се цената на електроенергията според тарифните зони: нощна, дневна и върхова;
- Построява се денонощния товаров график на потребителите – крива А на фиг.2.13;
- Избира се активен потребител, който може да се включва по зададен режим. Нека активният потребител е с мощност 25% от максималната мощност в товаровия график. Максимален ефект ще се получи, ако активният потребител се включи от 22 до 6 часа и се изключи от 8 до 13 ч и от 17 до 21 ч (фиг.2.13 – крива Б). Тогава товаровия график е почти изравнен – с намаляване на товара с 25% по време на върховата мощност.



Фиг.2.13. Денонощен товаров график на потребителите: А – реален; Б – с включване и изключване на активния потребител

Добре подбраният активен потребител намалява максималните и върховите товари в денонощния товаров график и съответно загубите на мощност и електроенергия. Икономия се постига от преместването на потребителя извън зоната на максималния и върховия товар, поради което консумираната енергия се заплаща по нощна или дневна тарифа. Инвестиционният проблем при избора на активния потребител се състои в доказване на целесъобразността и ефективността от неговото функциониране: намаляване на количеството търсена пикова мощност, намаляване на загубите на електроенергия, реализиран икономически ефект и др.

2.5. Доказване на целесъобразността и икономическата ефективност от въвеждане на активен потребител

Целесъобразността от въвеждане на активни потребители се доказва с постигане на икономически ефект за инвеститора. При оценка на абсолютната ефективност се отразява нивото на постигане на целта за въвеждане на активни потребители и финансовите ресурси. За определяне на относителната ефективност се оценява потребителският ефект от въвеждане на активните потребители. За всеки стопански субект могат да се формират различни показатели за икономическа ефективност.

За целите на изследването, когато се изследва икономическата ефективност в разпределителната мрежа, чийто товаров график се проследява, е подходящо да се изчислява икономията на разходите спрямо основния вариант, т.е. оценка на разходите преди и след внедряването на активните потребители. Потребителският ефект се свежда до минимизиране на конкретни технико-икономически показатели.

Когато се изчислява ефективността на вложените инвестиции, е обичайно да се изчислява интегралният икономически ефект (Е), който отчита дисконтирането:

$$(2.6) \quad E = \sum (P_t - K_t) \cdot \frac{1}{(1+e)^{t+1}}$$

където P_t е печалбата, получена през година t , без данъци; K_t - инвестиции през годината t ; e - нормата на дисконтова ставка.

Интегралният ефект с отчитане на дисконтирането се изчислява за всеки вариант. В случая е необходимо да се отчитат не само инвестициите и печалбата, но и потока на амортизационните фондове като финансов резултат. Дисконтовата ставка отразява процеса на амортизация на бъдещите разходи и резултати за стопански субект. Препоръчва се да се използва норма на дисконтова ставка $e = 0,12 \div 0,15$.

Изчисляването на интегралният ефект от въвеждане на активен потребител в товаровия график от фиг.2.13 за разпределителна мрежа се извършва със специално разработен софтуер. В изчислителната процедура се използва $e = 0,15$. Получените изчислителни стойности за интегралния ефект при различни варианти на разместване на

активния потребител по товаровия график са представени в относителни единици (о.е.) в таблица 2.1. За основен е избран вариантът без активен потребител.

Таблица 2.1. Интегрален ефект, о.е. за различни варианти на разположение на активния потребител в денонощния товаров график

Вариант	Интегрален ефект, о.е.
1. Основен вариант – баз активен потребител	1
2. Преместване на активния потребител от периодите 8 ÷ 13 ч. и 17 ÷ 22 ч. в нощните часове от 22÷6 ч.	1,37
3. Преместване на активния потребител от периодите 8 ÷ 13 ч. и 18 ÷ 23 ч. в нощните часове от 22÷6 ч.	1,34
4. Преместване на активния потребител от периода 8 ÷ 13 ч. в нощните часове от 0÷5 ч.	1,15
5. Преместване на активния потребител от периода 17 ÷ 22 ч. в нощните часове от 22÷6 ч.	1,17

Анализът на получените резултати показва, че по-ефективни са вариантите с въвеждане на активния потребител. Рентабилността и срокът за възвръщане на инвестициите са еднакви, защото вече вложените инвестиции не се променят само от преместването на активния потребител във времето по денонощния товаров график. Интегралният ефект обаче е 37 % по-голям за втория вариант спрямо основния. При този вариант се премества активния потребител както от сутрешния, така и от вечерния връх на товаровия график. Преместването на активния потребител само с един час в третия вариант спрямо втория, дава интегрален ефект 34 %. Преместването на активния потребител от сутрешния или вечерния връх в товаровия график дава интегриран ефект 15-17%.

2.6. Изводи

Ефективното използване на активни потребители в ИЕМ позволява регулиране на електропотреблението.

Активният потребител намалява максималните и върховите товари в денонощния товаров график, което води до понижаване на загубите на мощност и електроенергия.

Икономическият ефект от включване на активния потребител се постига от неговата работа извън зоната на максималния и върховия товар. Максимален ефект се постига, ако потребителят работи по време на нощния товар в денонощния товаров график.

Инвестиционният проблем се състои в избора на активния потребител сред електрическите товари, съставляващи товаровия график, по предварително избрани критерии. Решението на инвестиционният проблем се постига с изчисляване на интегрирания критерий и избор на най-ефективния вариант за работа на активния потребител в товаровия график.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЗА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ТОВАРИ В ИНТЕЛИГЕНТНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ

Прогнозата е научно обосновано описание на възможните състояния на обектите в бъдеще, а също алтернативни пътища и срокове за достигане на това състояние. Процесът на разработка на прогнозата се нарича прогнозиране. Прогнозирането е вид познавателна дейност, насочена към формиране на прогнози за бъдещо развитие на обекта, чрез анализиране на тенденциите за досегашното му развитие.

В зависимост от степента на конкретност и характера на въздействие върху хода на изследваните процеси и явления се различават три форми на предвиждания: хипотеза, прогноза и план. Те са свързани в взаимните си проявления и с изследваните обекти в системата за управление и планиране и са последователни степени на познанието за поведението на обекта в бъдеще.

Съществуват голям брой методи за оперативно, краткосрочно и дългосрочно прогнозиране на електрическите товари в електрическите мрежи. Тези методи могат да се

приложат в ИЕМ, но тяхната адаптация трябва да отчита специфичните особености при функционирането на Smart grid.

Целта в трета глава е да се разработи методика за прогнозиране на електрическите товари в ИЕМ, като се отчитат характерните им особености и се потърси възможност за оптимално използване на активните потребители.

3.1. Изучаване на режимните характеристики на потребителите на електрическа енергия

Определянето на състава на показателите, характеризиращи режима на електропотребление и изискванията на потребителите към електроснабдяването се основава на типовите товарови графици на потребителите на електрическа енергия.

Работи се в следната последователност:

Стъпка 1 – Съставя се схемата на ИЕМ, определя се съставът на потребителите във възлите на товара. Във всеки възел може да има един или няколко потребители.

Стъпка 2 – Разглеждат се товаровите графици на потребителите (табл. 3.1) в относителни единици. Задават се максималните мощности на товара на всеки потребител и графиките се представят в именувани единици.

Сумарният товар на всички потребители се задава в диапазона $2500 \div 4000 \text{ MW}$.

Товарови графици на различните видове потребители в ИЕМ, изразени в % от максималния товар, са дадени в таблица 3.1.

Стъпка 3 – Транспортираните мощности се задават в диапазона $500 \div 1500 \text{ MW}$.

Таблица 3.1. Товарови графици на различни потребители, % от максималния товар

Време, h	Хранително-вкусова	Машиностроене	Цветна металургия	Химическа	Ремонтно-механическа	Дървообработка
0 ÷ 4	80	80	90	40	5	30
4 ÷ 8	80	80	90	40	5	50
8 ÷ 12	100	100	100	100	100	100
12 ÷ 16	100	90	100	80	80	80
16 ÷ 20	90	90	90	80	60	70
20 ÷ 24	80	80	90	40	10	60

Време, h	Лека промишленост	Битов сектор	Селско стопанство	Местна промишленост	Ново строителство	Обществени сгради
0 ÷ 4	10	10	10	10	0	20
4 ÷ 8	40	20	10	20	0	40
8 ÷ 12	100	80	100	100	100	100
12 ÷ 16	90	60	70	80	80	80
16 ÷ 20	80	100	10	70	0	70
20 ÷ 24	30	40	10	60	0	60

3.2. Анализ на товаровия график на електрическите мрежи

Анализът на товаровия график на електрическите мрежи се извършва в следната последователност:

Стъпка 1. Определя се сумарния товаров график на собствените потребители $P_n(t)$ по резултати от реализацията за предишното денонощие.

Стъпка 2. Строи се пълен сумарен товаров график P_{EM} по изрази

$$(3.1) \quad P_{EM} = P_n + P_{отд} + \Delta P_{л1} + \Delta P_{л2},$$

където $P_{отд}$ е мощността, отдавана в другите системи; $\Delta P_{л1}$ – загубите на мощност в мрежите, определяни с пренасяната електроенергия към собствените потребители; $\Delta P_{л2}$ –

загуби на мощност в мрежите, определяни от пренасяната електроенергия за потребителите на други системи.

Стъпка 3. Намира се случайната съставка на товара. В зависимост от състава на потребителите, случайната съставка се приема равна на $2 \div 5 \%$.

Стъпка 4. Отделят се режимни зони в товарния график: базова, полувърхова и върхова. Обсъжда се тяхната стойност за режимите на електрическите мрежи.

Стъпка 5. Изчислява се потреблението на електроенергия за изчислителния период и максималният товар на електрическите мрежи.

Стъпка 6. Определя се частичното влияние на всеки потребител върху характерните големина на товарния график. Избира се активен потребител, който може да се включва в различни периоди на денонощието с цел «изравняване» на товарния график и намаляване на загубите от мощност и електроенергия.

Режимни характеристики на товарния график:

Основните показатели за техническата дейност са следните:

1. Максималната мощност $P_{н.макс}$, минималната $P_{н.мин}$, средната $P_{н.ср}$.

2. Относителни показатели:

- коефициент на неравномерност $K_{нер} = P_{н.мин}/P_{н.макс}$. С него се оценява изискваният диапазон на регулиране на мощността;

- коефициент на плътност $K_{пл} = P_{н.ср} / P_{н.макс}$. С него се оценява структурата на мощностите;

- часова използваемост на максималния товар $T_{макс} = W_n / P_{н.макс}$, където W_n е електроенергията.

3. Режимни зони на товарния график:

- основна при $P_n \leq P_{н.мин}$,
- полувърхова при $P_{н.мин} \leq P_n \leq P_{н.ср}$,
- върхова при $P_{н.ср} \leq P_n \leq P_{н.макс}$.

3.3. Електроенергиен баланс в ИЕМ

Принципите на формиране на електрическите товари и определяне на техните характеристики се запазват, но се променя начина на съставяне на електроенергийния баланс на ИЕМ.

Балансът на мощност в традиционните електрически мрежи се изразява с

$$(3.2) \quad P_G = P_{ЕМ} = P_n + P_{отд} + \Delta P_{л1} + \Delta P_{л2},$$

където P_G е мощността на генериращите източници.

В ИЕМ балансът на мощностите се изразява с

$$(3.3) \quad P_G = P_{ЕМ} = P_n + P_{отд} + \Delta P_{л1} + \Delta P_{л2} + P_{АС},$$

където $P_{АС}$ е мощността, постъпваща в акумулиращите системи.

Анализът на товарния график на ИЕМ се извършва, както в традиционните мрежи, но в последователността от т.3.2 се въвеждат:

Стъпка 7. Въвеждат се моментите на включване на акумулиращите системи в режим зареждане и в режим отдаване на мощност в ИЕМ.

Стъпка 8. Въвеждат се активни потребители, с които да се «изравни» товарния график и да се постигне намаляване на загубите на мощност. Преценяват се различни варианти с различни периоди на включване на активния потребител и се избира оптималният по критерий за минимални загуби на мощност.

3.4. Съставяне на денонощния товарния график на генериращите източници в ИЕМ

Съставянето на денонощните електрическите товари на генериращите източници съобразно товарите на потребителите в ИЕМ се извършва в следната последователност:

- Определят се характерните параметри на мощността на генериращите източници: инсталирана мощност; разполагаема; работна максимална; резервна; регулируема; базова и др.

- Определя се възможното разполагане на електрическите централи в товарния график по неговите режимни зони (основна, полувърхова, върхова).
- Съставя се баланс на максималните мощности (за максималния товар), като се отчитат зададените стойности на базовите мощности, ограничения на ВЕЦ и фотоелектричните системи за производство на електроенергия и възможностите на вятърните централи и пр.
- Съставя се баланс мощности за целия товарния график.
- Определя се участието на генериращите източници в покриването на товара и отдаването на необходимата за потребителите произведена електроенергия.
- Намира се периода от време на включване на акумулиращата система според разполагаемата мощност. Определя се местото в товарния график, когато акумулиращата система ще премине в режим на зареждане.
- Определя се периода от време на включване и изключване на активните потребители.
- Формират се товарните графици на мощностите на генериращите източници за следващото денонощие.

Стъпка 9. Определя се баланса на електроенергия за разглежданото денонощие и за годината. При разглеждане на годишния период се задават данните:

- Часова използваемост на максималния товар в границите $5000 \div 6000$ h;
- Часова използваемост на инсталираната мощност на ТЕЦ - 6500 h, на ВЕЦ - 2500 h.

Алгоритъм за изчисляване при съставяне на баланса на мощностите

Изчислението на баланса на мощностите се извършва в следния ред:

1. В основата на товарния график се разполагат базовите мощности на ЕЦ.
2. Определя се мястото в товарния график на ВЕЦ (подвърховата и върховата част).
3. Изчислява се произвежданата електроенергия от ВЕЦ, която може да бъде използвана за регулиране на товара:

$$W_{\text{ВЕЦ рег}} = W_{\text{зад}} - W_{\text{ВЕЦ баз}},$$

където $W_{\text{ВЕЦ рег}}$ – регулируемото производство на електроенергия; $W_{\text{зад}}$ – производството на електроенергия, зададено в изходните данни; $W_{\text{ВЕЦ баз}}$ – базовата произведена електроенергия, определяна със зададените ограничения по минимална мощност на ВЕЦ.

Стойността $W_{\text{ВЕЦ рег}}$ се разполага в началото на върховата част на товарния график на ЕЕС. Ако се изпълнява условието

$$P_{\text{ВЕЦ раб}} \leq P_{\text{ВЕЦ расп}},$$

този режим се приема. Ако това условие не се изпълнява, ВЕЦ се премества в по-плътната част на товарния график до тогава, докато не бъде изпълнено приведеното условие.

4. В основната част на товарния график се разполага най-икономичната ТЕЦ.
5. Оставшият товар ще се покрива от кондензационната мощност на ТЕЦ.
6. Определя се дефицитът или излишъкът на мощност. Ако максималният товар $P_{\text{макс}}$ е по-голям от сумата на разполагаемите мощности $\Sigma P_{\text{расп}}$, т.е.

$$P_{\text{макс}} > \Sigma P_{\text{расп}},$$

то ще има дефицит на мощност

$$P_{\text{деф}} = P_{\text{макс}} - \Sigma P_{\text{расп}}.$$

При условие

$$P_{\text{макс}} < \Sigma P_{\text{расп}}$$

Ще има излишък на мощност

$$P_{\text{изб}} = \Sigma P_{\text{расп}} - P_{\text{макс}}.$$

При излишък на мощност се включва на заряд акумулиращата система и активния потребител. При недостиг на мощност се включва акумулиращата система в режим отдаване на мощност. Окончателният баланс се определя с отчитане на резервните мощности.

3.5. Особенности при реалното функциониране на активните потребители

Проведено е допитване сред специалисти в областта на електроенергетиката относно работата на активните потребители. Тяхната експертна оценка е следната:

- Собственикът на електрическият потребител е заинтересован от непрекъснато електроснабдяване в момента, когато му е необходимо. За него ползата за ИЕМ от активния потребител е без значение.
- Собственикът на активния потребител се интересува само от технологичния процес и неговото реализиране. Най-важно за собственика е, че веднъж започнал технологичния процес, трябва да бъде завършен без прекъсване на електроснабдяването.
- Единствено финансови стимули чрез сключване на взаимно-изгодни договори между ИЕМ и собственика на активния потребител ще дадат положителен резултат, т.е. собственикът на активния потребител да бъде убеден да има договор за заплащане на потребената енергия по ниска тарифа.
- Има технологични процеси, които е невъзможно да се местят по товарния график и не могат да бъдат избирани за активни потребители.

3.6. Изводи

- Разработена е методика за прогнозиране на товарния график и оперативно планиране на мощностите в ИЕМ с отчитане на наличието на активни потребители и акумулиращи системи.
- Методиката е приложима за разпределителните ИЕМ, но може да бъде адаптирана и за електрически мрежи с по-високи напрежения.
- От съществено значение е избора на активен потребител. Той трябва да може да се включва по време на по-ниските стойности на товара в товарния график и да се изключва в подвърховата и върховата част на графика, без да дава отражение на технологичния процес.
- Акумулиращата система трябва да се оразмери така, че да няма недостиг на мощност, а излишъкът да е минимален и да се поема от участващите ВЕЦ в ИЕМ

ГЛАВА 4. ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН ВАРИАНТ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ХИБРИДНА СИСТЕМА В УСЛОВИЯТА НА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ

4.1. Енергиен одит за изграждане на хибридна система

Изборът на вариант за изграждане на хибридна система се извършва по предварително избрани критерии за оптималност.

Съставянето на варианти за изграждане на хибридна система за захранване на автономни потребители отчита възможностите за въвеждане на активни потребители, захранване с ДЕИ, изградени на базата на ВЕИ или дизелови генератори.

Ефективното използване на активни потребители в ИЕМ позволява регулиране на потреблението на електрическа енергия. Активният потребител намалява максималните и върховите товари в денонощния товарен график, което води до понижаване на загубите на мощност и електроенергия. Икономическият ефект от включване на активния потребител се постига от неговата работа извън зоната на максималния и върховия товар.

Възможно е захранване на автономния товар с ДЕИ, изградени на базата на ВЕИ. Целесъобразността от тяхното изграждане се доказва с провеждане на електроенергиен одит и технико-икономическа оценка.

Целта на изследването е да се изберат критерии и да се съставят варианти за изграждане на хибридна система, а също да се преценят тегловите коефициенти при избор на оптимален вариант с прилагане на метода на йерархичния анализ от математичната теория на игрите.

Критерии за избор на оптимално решение за изграждане на хибридна система в условията на неопределеност

Изборът на критерий за изграждане на хибридна система се основава на методите за капиталово бюджетиране: нетна сегашна стойност; сконтирани парични потоци и вътрешна норма на печалбата.

За всеки вариант се оценяват сконтираните парични потоци и се намира неговата нетна сегашна стойност. Тази оценка изисква определяне на размера и времето на всички допълнително натрупани парични потоци за варианта. Вариант с отрицателна нетна сегашна стойност се отхвърля. Приема се вариантът с най-висока нетна сегашна стойност.

Вътрешната норма на печалба се дефинира като сконтов процент, който дава нетна сегашна стойност, равна на нула. Избират се вариантите, които имат вътрешна норма на печалбата, по-висока от сконтовия процент.

Теоретично, методиката за определяне на нетната сегашна стойност е препоръчителна, но на практика се предпочита да се изчислява вътрешната норма на печалбата, защото вариантите се оценяват в проценти на възвръщаемост, вместо в парично изражение.

Подходящи за електроенергийни обекти са дисконтираните разходи R_D , които се изразяват с уравнението:

$$(4.1) \quad R_D = \sum_{t=1}^{T_c} \sum_{i=1}^n K_{it} \alpha^{t-1} + \sum_{t=1}^{T_c} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ijt} \alpha^{t-1},$$

където K_{it} са инвестициите в i -елемент на схемата в година t ; C_{ijt} - експлоатационните разходи в i -ия елемент на схемата от j -ти вид за год t ; T_c - експлоатационен период; n - броят на елементите на схемата; m - броят на видовете експлоатационни разходи; α - коефициентът на дисконтиране, който се изразява с:

$$(4.2) \quad \alpha_t = \frac{1}{(1+r)^t},$$

където t е изчислителната стъпка; T - изчислителният период; r - нормата на дисконтиране.

Експлоатационните разходи C_{ijt} в i -ия елемент се състоят от съставки със съответни индекси: $j=1$ - поддържане и ремонт; $j=2$ - реконструкция и модернизация; $j=3$ - загуби на активна мощност в елемента:

$$(4.3) \quad C_{ijt} = \sum_{j=1}^3 C_{ijt} = p_1 K_{it} + p_2 K_{it} + (\Delta P_{\max} \tau \beta)_{it},$$

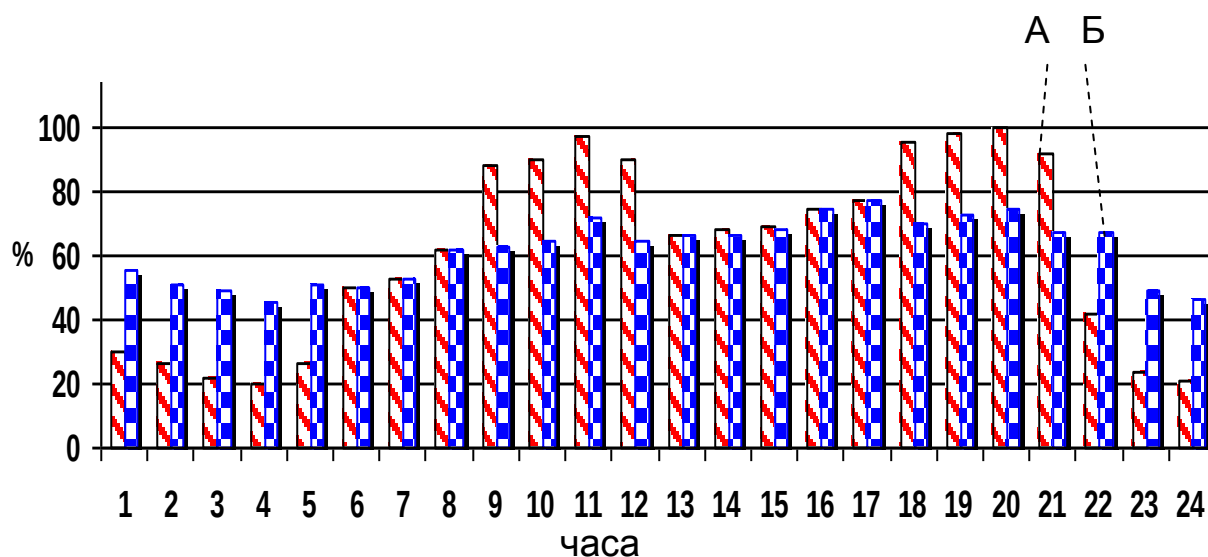
където p_1 и p_2 са нормираните стойности на експлоатационните разходи, съответно за поддържане и реконструкция на елементите; $\Delta P_{\max}$ - загубите на активна мощност в режим на максимален товар; τ - фиктивното времетраене на максималните загуби на мощност; β - цената на електроенергията.

Загубите на мощност са съставна част на експлоатационните разходи и участват при изчисляване на дисконтираните разходи. Така дисконтираните разходи могат да се разгледат като технико-икономически показател. Ако се избира чисто технически показател като критерий за избор на оптимален вариант на хибридна система, подходяща е минималната стойност на загубите на мощност. Експертната оценка показва, че дисконтираните разходи са около 4 пъти по-значим критерий от загубите на мощност.

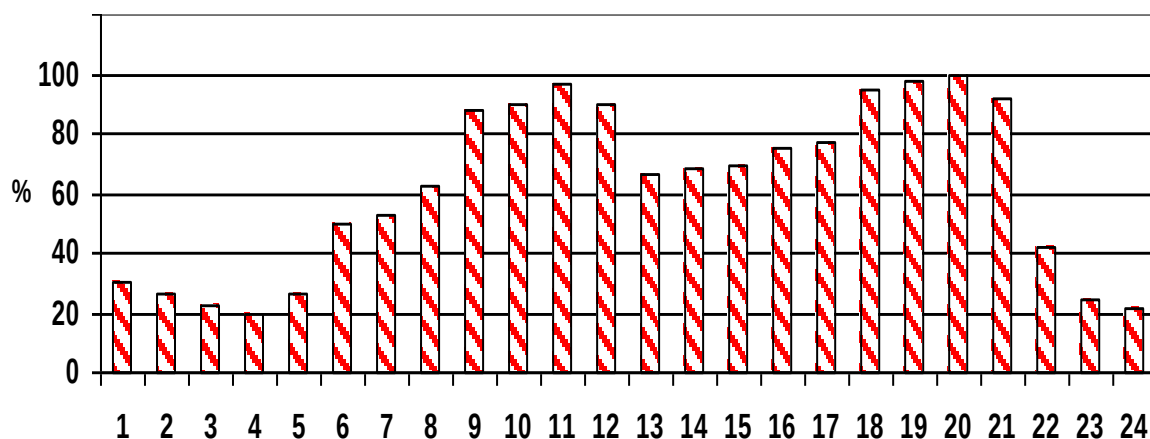
Като критерии за оценка на вариантите за изграждане на хибридна система се избират следните параметри: минимални дисконтирани разходи и загуби на мощност.

Избор на вариант за изграждане на хибридна система

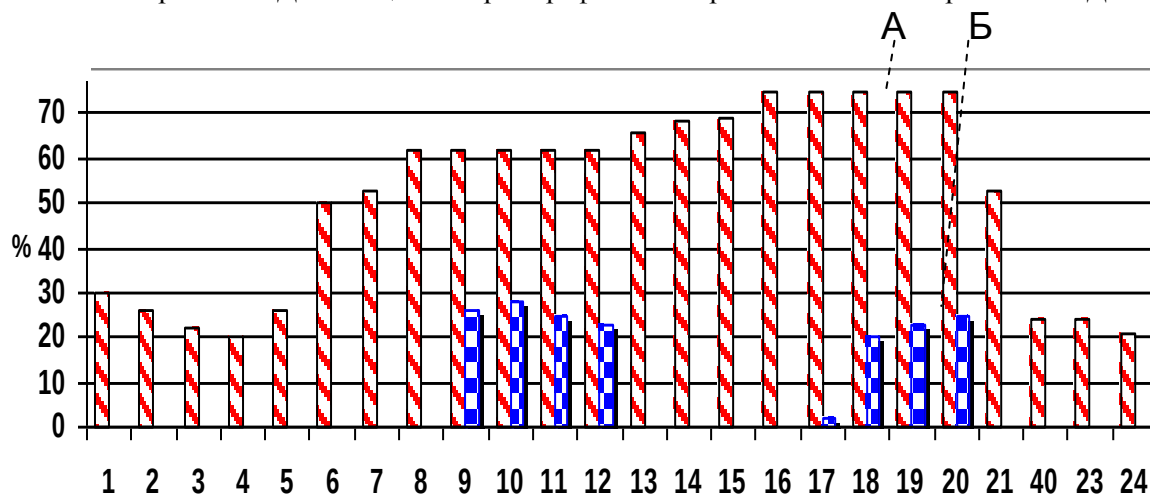
Съставят се вариантите, показани на фиг.5.1, 5.2 и 5.3:



Фиг.4.1. Вариант 1 - Денонощен товаров график на потребителите: А – реален; Б – с включване и изключване на активния потребител



Фиг.4.2. Вариант 2 - Денонощен товаров график на потребителите със захранване от ДЕИ



Фиг.4.3. Вариант 3 - Денонощен товаров график на потребителите със захранване от ДЕИ (А) и дизелов генератор (Б)

Вариантите са следните:

- вариант 1 – въвеждане на активен потребител за изравняване на товарния график (фиг.4.1);

- вариант 2 – въвеждане на допълнителен генериращ източник за покриване на върховата част на товарния график (фиг.4.2);
- вариант 3 – покриване на върховия товар с използване на допълнителен генериращ източник и дизелов генератор (фиг.4.3).

При експертната оценка на относителните тегла на трите варианта по двата критерия се отчита следното:

- Максимален ефект при вариант 1 ще се получи, ако активният потребител се включи от 22 до 6 часа и се изключи от 8 до 13 ч и от 17 до 21 ч (фиг.4.1 – крива Б). Тогава товарния график е почти изравнен – с намаляване на товара с 25% по време на върховата мощност.
- В оценката на вариантите се включват освен инвестициите и експлоатационните разходи, а също и стойността на съоръженията за контрол и средствата за автоматизирано включване или изключване съответно на активния потребител; на допълнителния генериращ източник и на дизеловия генератор.

Резултатите от проведената експертиза за относителните тегла на вариантите 1, 2 и 3 са съответно:

- по критерия загуби на мощност: 1; 1,2 и 1,3;
- по критерия дисконтирани разходи: 1; 1,5 и 1,7.

С вариантите изследвания и съпоставката им по избраните критерии се цели постигане на минимални технико-икономически показатели.

Изводи:

Подходящите критерии за избор на оптимален вариант за изграждане на хибридна система са: минималните дисконтирани разходи и загубите на мощност.

Експертната оценка показва, че дисконтираните разходи са около 4 пъти по-значим критерий от загубите на мощност.

Получените относителни тегла на вариантите 1, 2 и 3 са съответно: по критерия загуби на мощност: 1; 1,2 и 1,3; по критерия дисконтирани разходи: 1; 1,5 и 1,7.

4.2. Избор на оптимален вариант на хибридна система в условията на неопределеност

Изграждането на хибридна система за електрозахранване на автономни потребители, работещи по зададен товаров график, се извършва след съставяне на варианти, електроенергиен одит и избор на оптималния от тях по технико-икономически показатели. Вариантите за изграждане на хибридната система са избраните в т.4.1.

Целта е да се избере оптималният вариант на хибридната система в условията на неопределеност по избрани критерии.

4.2.1. Съставяне на варианти и обосновка на критерии за избор на хибридна система за захранване на автономни потребители

Съставянето на варианти за изграждане на хибридна система за захранване на автономни потребители отчита възможностите за въвеждане на активни потребители, захранване с децентрализирани производители на електроенергия, изградени на базата на възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) или дизелови генератори.

Ефективното използване на активни потребители в Smart grid позволява регулиране на потреблението на електрическа енергия. Активният потребител намалява максималните и върховите товари в денонощния товаров график, което води до понижаване на загубите на мощност и електроенергия. Икономическият ефект от включване на активния потребител се постига от неговата работа извън зоната на максималния и върховия товар.

Минимизацията на загубите на мощност от активните потребители се извършва в следната последователност:

- Потребителите в ИЕМ се групират по типове: битови, промишлени, с автоматизирано производство и с възможност за включване и изключване според големината на мощността в товарния график;
- Задава се цената на електроенергията според тарифните зони: нощна; дневна и върхова;
- Построява се денонощния товарен график на потребителите;
- Избира се активен потребител, който може да се включва по зададен режим.

Проведено е допитване сред специалисти в областта на електроенергетиката относно работата на активните потребители. Тяхната експертна оценка е следната:

- Собственикът на електрическият потребител е заинтересован от непрекъснато електрооснабдяване в момента, когато му е необходимо. За него ползата за ИЕМ от активния потребител е без значение.
- Собственикът на активния потребител се интересува само от технологичния процес и неговото реализиране. Най-важно за собственика е, че веднъж започнал технологичния процес, трябва да бъде завършен без прекъсване на електрооснабдяването.
- Единствено финансови стимули чрез сключване на взаимноизгодни договори между ИЕМ и собственика на активния потребител ще дадат положителен резултат, т.е. собственикът на активния потребител да бъде убеден да има договор за заплащане на потребената енергия по ниска тарифа.
- Има технологични процеси, които е невъзможно да се местят по товарния график и не могат да бъдат избирани за активни потребители.

Възможно е захранване на автономния товар с ДЕИ. Целесъобразността от тяхното изграждане се доказва с провеждане на електроенергиен одит и технико-икономическа оценка. Изборът на вариант за изграждане на хибридна система се извършва по предварително избрани критерии за оптималност.

4.2.2. Критерии за избор на оптимално решение за изграждане на хибридна система в условията на неопределеност

Подходящ технико-икономически критерий за електроенергийни обекти са дисконтираните разходи (Виж т.4.1).

Загубите на мощност са съставна част на експлоатационните разходи и участват при изчисляване на дисконтираните разходи. Така дисконтираните разходи могат да се разглеждат като технико-икономически показател.

Ако се избира чисто технически показател като критерий за избор на оптимален вариант на хибридна система, подходяща е минималната стойност на загубите на мощност.

4.2.3. Прилагане на математичната теория на игрите за избор на оптимален вариант за изграждане на хибридна система

Един от подходите за приемане на решения в условията на неопределеност се основава на прилагане на метода за йерархичен анализ.

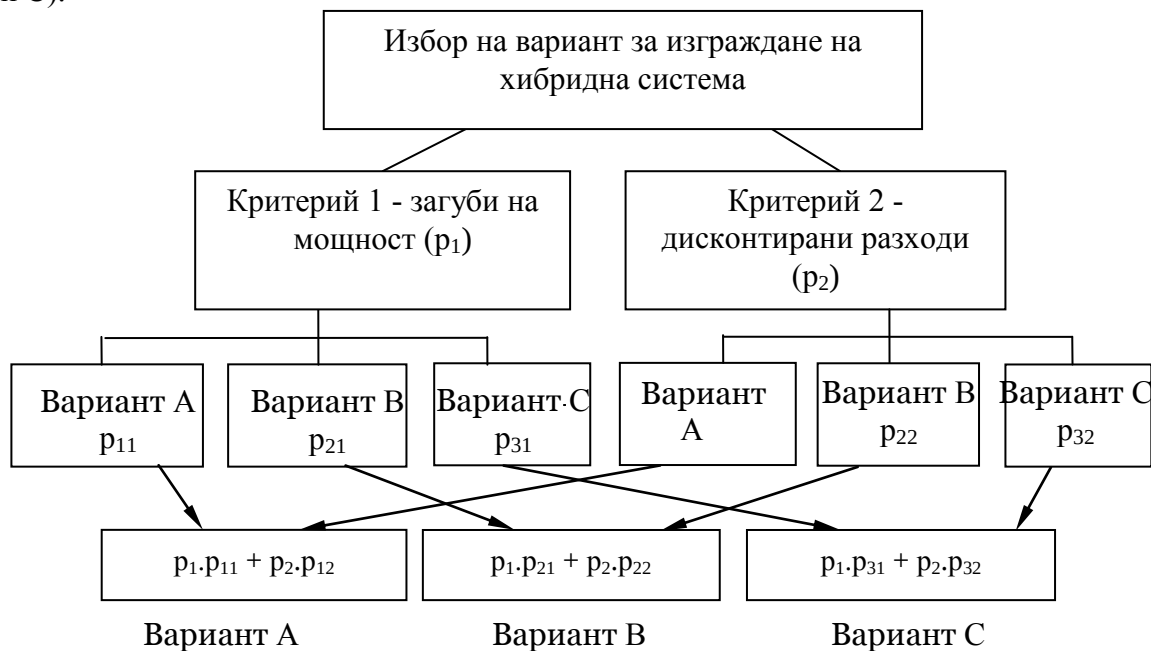
За да се избере най-добрият вариант се формулират два основни критерия: загуби на мощност и дисконтирани разходи. По проведена експертна оценка дисконтираните разходи са около 4 пъти по-значим критерий, в сравнение със загубите на мощност, тъй като те са съставна част на експлоатационните разходи, които са една от компонентите на дисконтираните разходи.

За дисконтираните разходи се приема теглови коефициент p_1 %, а за загубите на мощност – p_2 %. Анализът за оценка на трите варианта се провежда от гледна точка на загубите на мощност и дисконтираните разходи (таблица 4.1).

Таблица 4.1. Варианти и критерии за изграждане на хибридна система

Критерии	Варианти		
	А	В	С
загуби на мощност	p_{11}	p_{21}	p_{31}
дисконтирани разходи	p_{12}	p_{22}	p_{32}

Структурата на задачата за вземане на решения е дадена на фиг.4.4. Задачата се решава при два критерия (загуби на мощност и дисконтирани разходи) и три варианта (А, В и С).



Фиг.4.4. Структура на задачата за избор на вариант за изграждане на хибридна система

Дисконтираните разходи са около 4 пъти по-значим критерий от загубите на мощност. За елемента (2, 1) на матрицата A се зададе стойността 4, тогава $a_{21}=4$, а елемент $a_{12}=1/4$. Критериите R и L съответно за дисконтираните разходи и загубите на мощност и матрицата за сравнения се изразяват с:

$$A_R = \begin{matrix} & L & R \\ L & 1 & 1/4 \\ R & 4 & 1 \end{matrix}$$

За нормализираната матрица N се получава

$$N = \begin{matrix} & L & R \\ L & 0,2 & 0,2 \\ R & 0,8 & 0,8 \end{matrix}$$

Средните стойности на елементите на редовете са $w_R = 0,8$ и $w_L = 0,2$, т.е. теглата, които са показани на фиг.4.5.

Относителните тегла на вариантите решения А, В и С се изчисляват в границите на всеки критерий R и L с използването на двете матрици за сравнения:

$$A_L = \begin{matrix} & A & B & C \\ A & 1 & 0,83 & 0,77 \\ B & 1,2 & 1 & 0,83 \\ C & 1,3 & 1,2 & 1 \end{matrix}$$

Сумата от елементите на стълбовете = [3,5; 3,03; 2,6].

$$A_R = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1,5 & 1,7 \\ 0,67 & 1 & 1,13 \\ 0,58 & 0,88 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

Сумата от елементите на стълбовете = [2,25; 3,38; 3,83].

Елементите на матриците A_R и A_L са определени на основа на предварително проведения енергиен одит, касаещ относителната важност на трите варианта А, В и С .

$$N_L = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0,286 & 0,099 & 0,296 \\ 0,343 & 0,330 & 0,123 \\ 0,371 & 0,396 & 0,385 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

със средните стойности на елементите на редовете: $w_{LA} = (0,286 + 0,099 + 0,296)/3 = 0,23$;

$$w_{LB} = (0,343 + 0,33 + 0,123)/3 = 0,265; w_{LC} = (0,371 + 0,396 + 0,385)/3 = 0,384$$

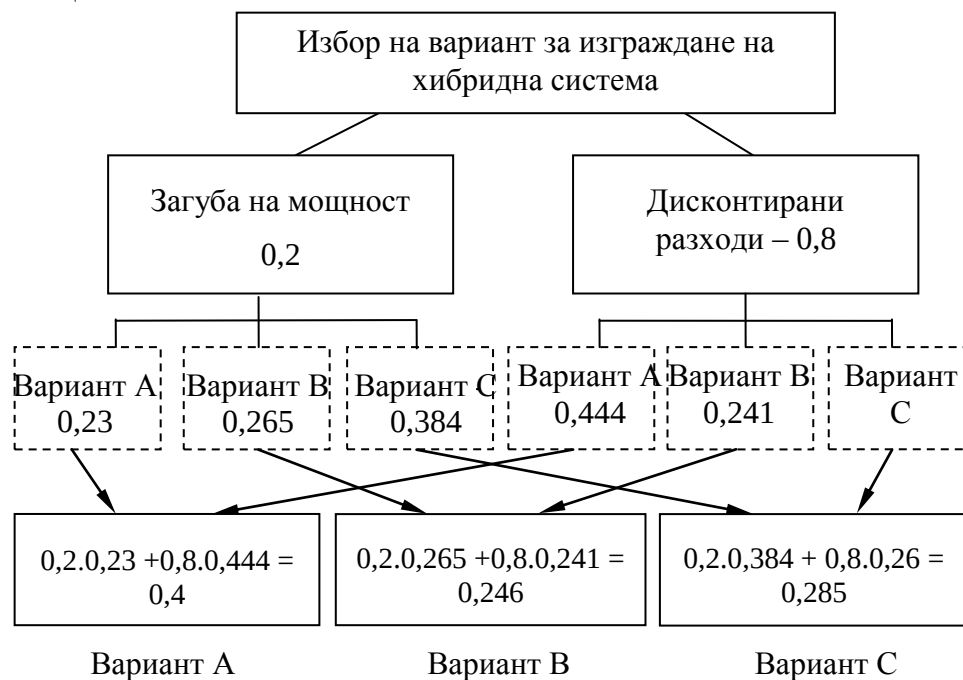
и за елементите на матрицата N_R се получават стойностите:

$$N_R = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0,444 & 0,444 & 0,444 \\ 0,298 & 0,131 & 0,295 \\ 0,259 & 0,260 & 0,261 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

със средните стойности на елементите на редовете: $w_{RA} = (0,444 + 0,444 + 0,444)/3 = 0,444$;

$$w_{RB} = (0,298 + 0,131 + 0,295)/3 = 0,241; w_{RC} = (0,259 + 0,26 + 0,261)/3 = 0,26.$$

Величините $(w_{RA}, w_{RB}, w_{RC}) = (0,444; 0,241; 0,26)$ дават съответните тегла за вариантите А, В и С по втория критерий – дисконтирани разходи. Величините $(w_{LA}, w_{LB}, w_{LC}) = (0,23, 0,265, 0,384)$ са относителните тегла, отнасящи се до първия критерий – загуби на мощност.



Фиг.4.5. Избор на оптимален вариант на хибридна система

За дисконтираните разходи се получава относителен теглови коефициент 80 %, а за загубата на мощност - 20 %. Резултатите за оценка на трите варианта от гледна точка на загуба на мощност и дисконтирани разходи са дадени в таблица 4.2.

Таблица 4.2. Относителни теглови коефициенти за критериите при вземане на решения за изграждане на хибридна система

Критерии	Варианти		
	А	В	С
Загуби на мощност	23%	26,5%	38,4%
Дисконтирани разходи	44,4%	24,1%	26%

Структурата на задачата за вземане на решения с изчислените стойности на тегловите коефициенти е дадена на фиг.4.5.

Определяне на комбиниранияте теглови коефициенти за вариантите

Оценката на трите варианта е основана на изчисляване на *комбинираните* теглови коефициенти за всеки от тях.

- Вариант А: $0,2 \cdot 0,23 + 0,8 \cdot 0,444 = 0,4$;
- Вариант В: $0,2 \cdot 0,265 + 0,8 \cdot 0,241 = 0,246$;
- Вариант С: $0,2 \cdot 0,384 + 0,8 \cdot 0,26 = 0,285$.

На базата на тези изчислени вариант А получава най-високо комбинирано тегло и е оптималният избор.

4.3. Изводи

- Изчислителният алгоритъм позволява да се задава различна степен на значимост на формулираните основни критерии за вземане на решение за изграждане на хибридна система.
- Дисконтираните разходи на хибридна система са много по-значим критерий от загубите на мощност,
- Съпоставката на резултатите от изчисленията показва, че за всеки от разглежданите случаи вариант А е оптималният по двата критерия: дисконтирани разходи и загуба на мощност.

ГЛАВА 5. ИНВЕСТИЦИОННИ ПРОБЛЕМИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ И АВТОНОМНИ СИСТЕМИ С АКТИВНИ ПОТРЕБИТЕЛИ

Инвеститорите разглеждат сегашните модели на развитие и управление в електроенергетиката от гледна точка на устойчивост, екологичност и минимални икономически разходи. С приетите инвестиционни решения се цели икономически напредък, който да доведе до качествени подобрения за хората и важни ползи за опазване на околната среда. Инвестиционните проблеми, свързани с икономическото оценяване, включват избора на норма на дисконтиране, чрез която да се изчисли настоящата стойност на бъдещи печалби или загуби. За всеки инвестиционен проект е необходима оценка на риска, свързан с широк набор от възможни резултати и сериозно вариращи разходи.

При оценяването и анализа на икономическите показатели е необходимо да се прави сравнение между определяните разходи и ползи както за специфичните частни интереси, така и за цялото общество в дългосрочна перспектива.

В много случаи обществото не притежава необходимите познания и не разбира достатъчно добре възможните ефекти, за да може да оцени разходите и ползите по начин, по който да усети реалното им въздействие. Оформянето на подобно разбиране може да доведе до негативни последици. Дори когато с разяснителна дейност се създава разумно ниво на обществено разбиране и пълно отражение на интересите на всички социални групи, е трудно да се постигне подходящ баланс и компромис между различните изисквания. Ето защо за избора на оптимални варианти се търси икономическа оценка при разумен подход към екологията и експертна оценка на технико-икономическите показатели.

По-съществените инвестиционни проблеми при изграждане на ИЕМ с активни потребители са:

- избор на метод за прогнозиране на електрическите товари в товарния график;
- избор на активен потребител, чието преместване по товарния график няма да повлияе на инвестиционното намерение и който може автоматично да се управлява, съобразно товарната диаграма;
- избор на технически средства за управление на активния потребител, което подлежи на икономическа оценка.

Целта на изследването е да се сравнят методите за експертна оценка при краткосрочно прогнозиране на електрическите товари и при избор на активни потребители в ИЕМ.

5.1. Сравнение на методите за експертиза при прогнозиране на електрическите товари

Прогнозирането на електрическите товари е свързано с допускана грешка и неопределеност. В момента се използват голям брой традиционни и нетрадиционни методи и модели за прогнозиране на електрическите товари. Експертизата спада към традиционните методи за прогнозиране.

При провеждане на **експертиза** прогнозираната величина се определя по субективните оценки на експерти. Методите за експертизи са *индивидуални* и *колективни*, извършвани от комисии. Прилагат се при дългосрочно прогнозиране и при недостатъчна информация за изследваната величина.

Целта на изследването е да се сравнят допусканияте грешки при прилагане на различните методи за експертиза при прогнозиране на електрическите товари.

Избира се денонощен товарен график на автономен потребител. За провеждане на експеримента се натрупва база реални наблюдения за всеки час от денонощната товарна диаграма за период от една седмица. Прилагат се четири метода за експертиза при прогнозиране на електрическите товари:

- метод на експертната и отнесената оценка;
- метод на допитването;
- метод на теорията на полезността.

За прилагане на *метода на експертната и отнесената оценка* данните се предоставят на колектив от 6 експерти от електроенергийния сектор. Всеки експерт представя своето мнение. Анкетната карта включва посочване на прогнозна стойност на електрическия товар за всеки час от следващото денонощие.

Абсолютните грешки, допускани от различните експерти при прилагане на метода на експертната и отнесената оценка за прогнозиране на електрическия товар в потреблящ възел, са представени в таблица 5.1.

Таблица 5.1. Абсолютна грешка при прилагане на метода на експертната и отнесената оценка за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в потреблящ възел, %

Експерт						Средна стойност на абсолютната грешка, %
1	2	3	4	5	6	
2,27	2,14	1,56	2,07	2,22	1,87	2,02

За прилагането на *метода на допитването* участват 7 експерти, а един от тях обобщава резултатите и дава прогнозните стойности на електрическия товар по часове за следващото денонощие. Резултатите за получената абсолютна грешка са показани в таблица 5.2.

Таблица 5.2. Абсолютна грешка при прилагане на метода на допитването за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в потреблящ възел, %

Експерт						Абсолютна грешка на прогнозната стойност, зададена от анализиращия експерт, %
1	2	3	4	5	6	
2,27	2,34	2,41	2,39	2,28	2,44	2,37

За прилагане на *метода, основан на теорията на полезността*, се въвеждат скали за оценка, отчитащи метеорологичните фактори. Броят на експертите е 5, поради което се въвежда коефициент на съгласие, който оценява съгласуваността на техните мнения. Коефициентът на съгласие в случая е 0,86, което показва висока съгласуваност на мнението на експертите. Допуснатата абсолютна стойност на грешката при прогнозирането е показана в таблица 5.3.

Таблица 5.3. Абсолютна грешка при прилагане на метода на теорията на полезността за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в потребяващ възел, %

Експерт						Средна стойност на абсолютната грешка, %
1	2	3	4	5	6	
1,94	1,83	1,96	1,97	1,84	1,86	1,90

Абсолютна грешка при прилагане на методите за експертната и отнесената оценка, метода на допитването и метода на теорията на полезността за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в генериращ възел (фотоелектрична система с инсталирана мощност 5 MW) е показана съответно в таблици 5.4, 5.5 и 5.6.

Таблица 5.4. Абсолютна грешка при прилагане на метода на експертната и отнесената оценка за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в генериращ възел, %

Експерт						Средна стойност на абсолютната грешка, %
1	2	3	4	5	6	
2,88	2,94	2,69	2,85	2,98	2,83	2,84

Таблица 5.5. Абсолютна грешка при прилагане на метода на допитването за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в генериращ възел, %

Експерт						Абсолютна грешка на прогнозната стойност, зададена от анализиращия експерт, %
1	2	3	4	5	6	
2,97	2,98	2,86	3,09	3,05	2,96	2,98

Таблица 5.6. Абсолютна грешка при прилагане на метода на теорията на полезността за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в генериращ възел, %

Експерт						Средна стойност на грешката, %
1	2	3	4	5	6	
2,64	2,50	2,45	2,54	2,40	2,66	2,53

Изводи:

- Средната стойност на абсолютната грешка при прилагане на метода на експертната и отнесената оценка за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в потребяващ възел е 2,02 %; при метода на допитването – 2,37% и при метода на теорията на полезността – 1,9%.
- Средната стойност на абсолютната грешка при прилагане на метода на експертната и отнесената оценка за краткосрочно прогнозиране на електрическия товар в генериращ възел е 2,84 %; при метода на допитването – 2,97% и при метода на теорията на полезността – 2,53 %.
- Най-малка грешка се допуска при прилагане на метода, основан на теорията на полезността, защото при прогнозирането на електрическите товари експертите отчитат метеорологичните фактори.
- Изследването показва, че с експертните оценки се постига приемлива грешка при прогнозирането на електрическите товари както в потребяващи, така и в генериращи възли. Препоръчва се прилагането на основните методи за прогнозиране на електрическите товари да се извършва в комбинация с експертна оценка.

5.2. Експертна икономическа оценка при избор на активни потребители в автономна система

Заснетият денонощен товаров график на автономна система е представен в таблица 5.7.

Таблица 5.7. Товаров график на автономната система

Вид на потребителя	Индивидуален максимален товар, kW	Товар в час h от денонощието, kW						
		0	1	2	3	4	5	6
Сумарен товар на автономната система	$P_{\Sigma h}=800$	190	160	145	122	134	135	153
Активен потребител 1	$P_1=6 \times 22$	132	132	132	132	132	132	132
Активен потребител 2	$P_2=3 \times 50$	150	150	150	150	150	150	150
Активен потребител 3	$P_3=320$	320	320	320	320	320	320	0

Вид на потребителя	Товар в час h от денонощието, kW							
	7	8	9	10	11	12	13	14
Сумарен товар на автономната система	280	352	460	565	744	665	573	282
Активен потребител 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Активен потребител 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Активен потребител 3	0	0	0	0	0	0	0	0

Вид на потребителя	Товар в час h от денонощието, kW								
	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Сумарен товар на автономната система	292	294	376	697	794	555	336	234	220
Активен потребител 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Активен потребител 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Активен потребител 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Възможностите са включване на активни потребители към системата са следните:

- Активен потребител 1: 6 зарядни станции за електромобили със сумарна инсталирана мощност $6 \times 22 = 132$ kW; продължителност на действие – 6 часа;
- Активен потребител 2: 3 зарядни станции за електромобили със сумарна инсталирана мощност $3 \times 50 = 150$ kW; продължителност на работа – 6 часа;
- Активен потребител 3: обект със сумарна инсталирана мощност 320 kW, който подлежи на самостоятелно включване и изключване, без наличието на оператор; продължителност на работа 5 часа.

На експертна оценка подлежи обсъждането на трите варианта по методиката и критериите от т.2.4 и т.4.2. Въвежда се за обсъждане допълнителен критерий: целесъобразност за използване на съответния активен потребител в автономната система. Отчита се, че цената на зарядната услуга за активен потребител 1 е 0,48 лв/kWh, а за потребител 2 - 0,72 лв/минута.

Методиката при провеждане на експертната оценка включва:

- оценка на дисконтираните разходи за трите варианта на изграждане на активни потребители;
- определяне на загубите на мощност за всеки час от товарния график при включване на всеки от активните потребители през нощните часове, като към основния товар се добавя товарът на активния потребител.
- анализиране на необходимостта и перспективността за изграждане на всеки от активните потребители към съответната автономна система.

Експертната оценка на 7 специалисти и препоръчаният вариант по трите критерия е следната:

- Критерий дисконтирани разходи – вариант 1; съгласуваност на мненията на експертите 100%;
- Критерий минимални загуби на мощност – вариант 1; съгласуваност на мненията 100%;
- Критерий за целесъобразност за използване на активния потребител в автономната система – вариант 1; съгласуваност на мненията 86%.

Експертната оценка на седемте специалисти показва, че най-подходящ за включване в автономната система е активен потребител 1. Мнението на експертите е единодушно по икономическия и техническия критерий. Съгласуваността от 86% на мненията на експертите по третия критерий е много висока.

От проведеното изследване може да се направи следното обобщение: Изборът на оптимален вариант за включване на активен потребител изисква заснемането на товаровия график. Анализират се възможностите за включване на активни потребители към автономната система чрез експертна оценка по предварително обосновани критерии.

5.3. Изводи

- Най-малка грешка при краткосрочно прогнозиране на електрическите товари се допуска при прилагане на метода, основан на теорията на полезността, защото се отчитат метеорологичните фактори.
- С експертните оценки се постига приемлива грешка при прогнозирането на електрическите товари както в потребяващи, така и в генериращи възли.
- Методиката за експертната оценка, включваща оценка на дисконтираните разходи, загубите на мощност и необходимостта и перспективността от изграждане на всеки от активните потребители, позволява да се вземат обосновани технико-икономически решения.

ГЛАВА 6. МЕРОПРИЯТИЯ ЗА ПОСТИГАНЕ НА ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ МРЕЖИ

Внедряването на мероприятия в електрическите мрежи цели постигането на енергийна или икономическа ефективност, а също на социален ефект.

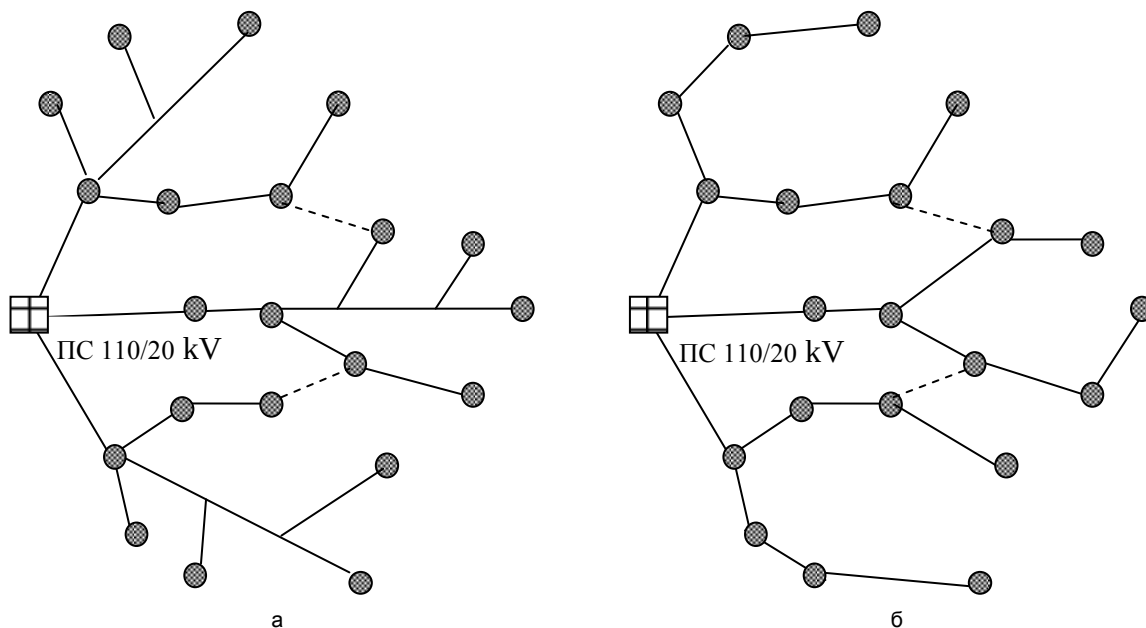
Енергийна ефективност в електрическите мрежи се постига чрез експлоатационни и конструктивни мероприятия. Експлоатационните мероприятия не изискват допълнителни инвестиции. Към тях спадат: преустройство и експлоатацията на разпределителните мрежи по оптимизирани схеми за постигане на енергийна ефективност, изключване на слаботоварените силови трансформатори (СТ) в часовете на минимален товар и превключване на товарите за намаляване на загубите при работа на празен ход.

Конструктивните мероприятия за повишаване на енергийната ефективност на електрическите мрежи изискват инвестиране и към тях се отнасят:

- преустройство на съществуващата мрежа чрез построяване на нови електропроводи и трансформатори; усилване на съществуващите участъци с подмяна на проводниците с по-големи сечения.
- компенсиране на реактивната мощност.
- изграждане на аварийни връзки между съседни клонове и избор на оптималното място за секционирание в различните схеми на разпределителните мрежи по критерий минимални загуби на мощност.
- поддържане на напрежение в допустимите граници във възлите на разпределителната мрежа чрез преместване на активни потребители от върховите часове на денонощния товаров график в слабо натоварените часове с цел постигане на енергийна ефективност.

6.1. Преустройство и експлоатация на разпределителните мрежи по оптимизирани схеми за постигане на енергийна ефективност

В нормален режим разпределителната мрежа за СН работи като отворена (фиг.6.1). Връзките между възлите, означени с пунктирани линии, се изграждат като аварийни.



Фиг. 6.1. Варианти на отворена разклонена мрежа за средно напрежение

6.1.1. Проектиране на разпределителните мрежи по оптимизирани схеми за постигане на енергийна ефективност

В етапа на проектиране се разглеждат различни варианти (фиг.6.1). За всеки от тях се изчисляват загубите на мощност и необходимите инвестиции за неговото изграждане. От гледна точка на енергийна ефективност се избира вариантът с най-малки загуби на мощност и минимални инвестиции. Алгоритъмът за провеждане на изчисленията е следният:

- **Стъпка 1:** Съставят се варианти на отворена разклонена мрежа с аварийни връзки (например фиг.6.1);
- **Стъпка 2:** Намира се разпределението на мощностите по клоновете на електрическата мрежа за всеки от вариантите.
- **Стъпка 3:** Избират се сеченията на проводниците за всеки вариант съобразно протичащите мощности.
- **Стъпка 4:** Изчисляват се загубите на мощност за всеки участък при максимален товар.
- **Стъпка 5:** Сумират се загубите на мощност по участъци за целия вариант:

$$(6.13) \quad \Delta P = \sum_{k=1}^n \Delta P_k; \quad \Delta Q = \sum_{k=1}^n \Delta Q_k.$$

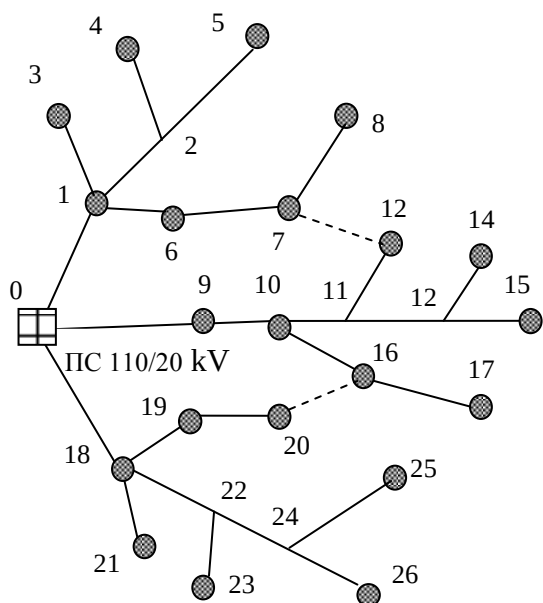
- **Стъпка 6:** Изчисляват се необходимите инвестиции (K_k) за всеки участък за всеки вариант. От гледна точка на собственика на електрическата мрежа по-подходящи за сравнение и избор на оптимален вариант са дисконтираните разходи. За инвеститора е допустимо сравняването и избора на оптимален вариант да се извършва по големината на вложените инвестиции в етапа на проектирането.
- **Стъпка 7:** Сумират се инвестициите за целия вариант:

$$(6.14) \quad K = \sum_{k=1}^n K_k.$$

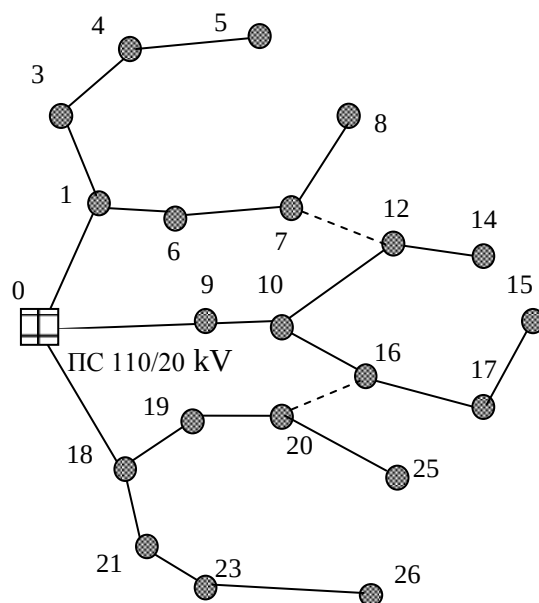
- **Стъпка 8:** Сравняват се вариантите по сумарна загуба на мощност в режим на максимален товар и по сумарни инвестиции. Избира се оптималния вариант по съответните критерии.

Числен експеримент:

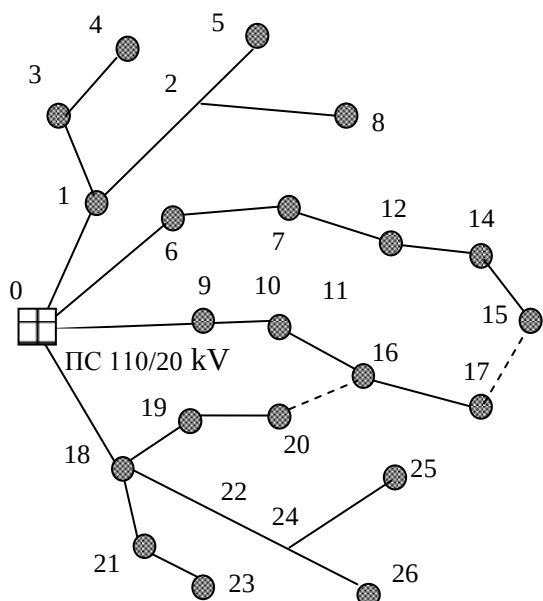
За вариантите от фиг.6.4÷6.7 са проведени изчисленията по описания алгоритъм и резултатите са представени в таблица 6.1 и на фиг.6.8.



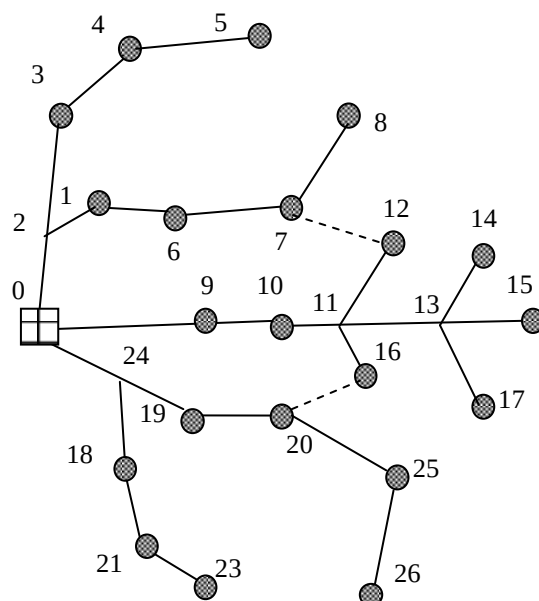
Фиг. 6.4. Вариант 1



Фиг. 6.5. Вариант 2



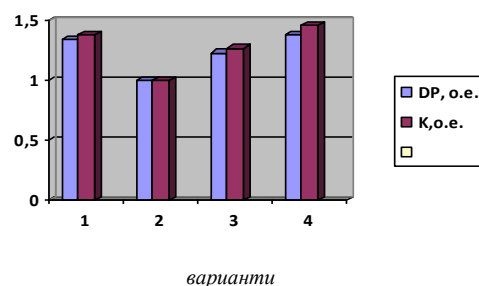
Фиг. 6.6. Вариант 3



Фиг. 6.7. Вариант 4

Таблица 6.1. Изчислителни стойности в о.е. на загубите на мощност и инвестициите за вариантите

Вариант	Загуби на мощност, о.е.	Инвестиции, о.е.
Вариант 1	1,34	1,38
Вариант 2	1	1
Вариант 3	1,23	1,27
Вариант 4	1,38	1,46



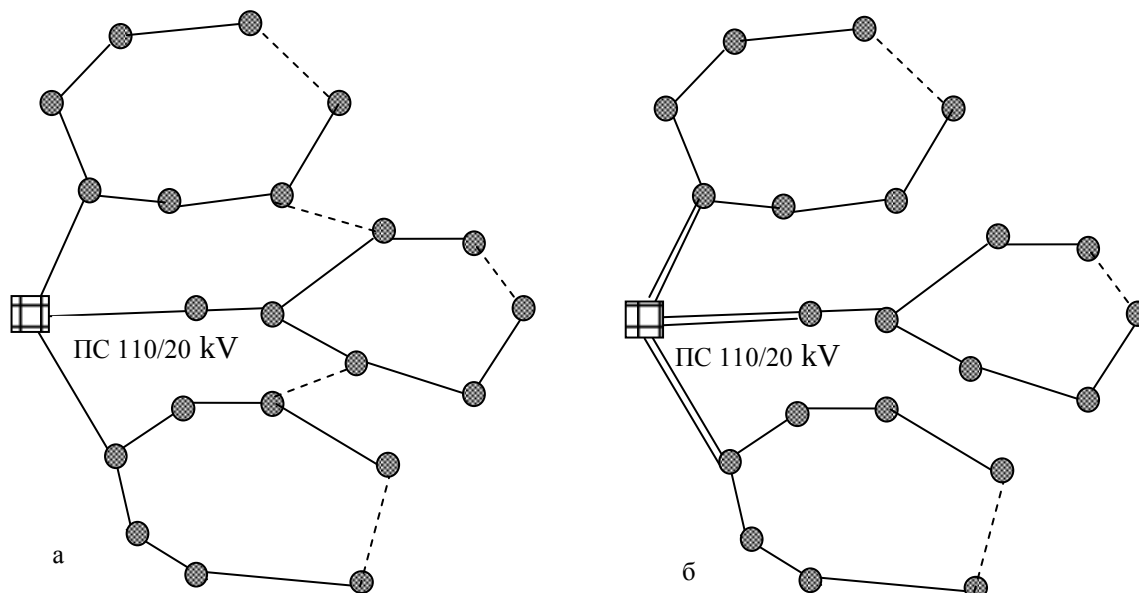
Фиг. 6.8. Изчислителни стойности в о.е. на загубите на мощност и инвестициите за вариантите

Изчисленията са проведени за зададени дължини на участъците и мощности във възлите на електрическата мрежа. Резултатите са представени в относителни единици (о.е.), като за базова величина е избрана минималната изчислена стойност за съответния вариант.

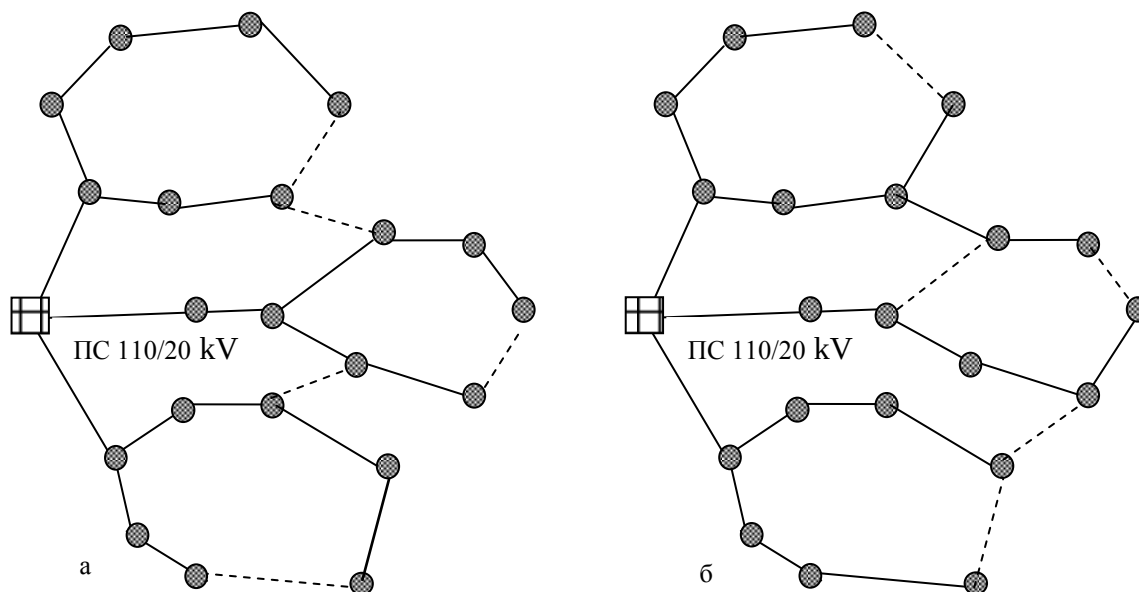
От таблица 6.1 и фиг.6.8 се установява, че оптимален е вариант 2, както по критерия за минимални загуби на мощност, така и по критерия за инвестиционни разходи.

6.1.2. Реконструкция на разпределителните мрежи по оптимизирани схеми за постигане на енергийна ефективност

В етапа на реконструкция за избрания вариант (например конфигурацията от фиг.6.1б) се изграждат допълнителни връзки, които позволяват клоновете на мрежата да се затварят в контури (фиг.6.9а) или се построяват двойни линии, захранващи контурите, с което аварийните връзки между отделните контури могат да се избегнат (фиг.6.9б). При експлоатация се разглеждат различни варианти на конфигурация на мрежата, при които се захранват всички потребители и за тях се изчисляват загубите на мощност. Например за конфигурацията от фиг.6.9а могат да се разгледат вариантите от фиг.6.10. Избира се вариантът с минимални загуби на мощност, при който мрежата работи в нормален режим.



Фиг. 6.9. Варианти на отворена разклонена мрежа за СН

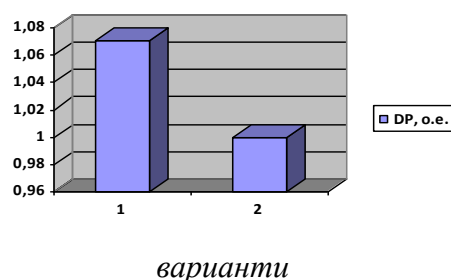


Фиг.6.10. Варианти на отворена разклонена мрежа за СН

Изпълнява се стъпка 4 и стъпка 5 от алгоритъма в т.6.1.1 и се определят загубите на мощност за всеки вариант. Избира се вариантът с минимални загуби, при който мрежата работи в нормален режим. Резултатите от изчисленията за двата варианта са показани на фиг.6.11 и в таблица 6.2.

Таблица 6.2. Изчислителни стойности в о.е. на загубите на мощност за вариантите

Вариант	Загуби на мощност, о.е.
Вариант 1 (фиг.6.10а)	1,07
Вариант 2 (фиг.6.10б)	1



Фиг. 6.11. Изчислителни стойности в о.е. на загубите на мощност

6.2. Енергийна ефективност при изключване на един от два паралелно работещи трансформатори при минимален товар

В разпределителните мрежи за СН в някои случаи загубите на мощност при п.х. на трансформаторите по големина са съпоставими със загубите от електрическия товар. При малък товар на СТ загубите на мощност при п.х. превишават загубите, предизвикани от товара, и за понижаването им може да се изключи единия от двата паралелно работещи трансформатора. Целта на изследването е да се анализират възможностите за изключване на слабонатоварените СТ в часовете на минимален товар за намаляване на загубите при п.х. за постигане на енергийна ефективност. Критерий за изключване на слабонатоварен трансформатор е изчислената големина на мощността S_0 :

$$(6.19) \quad S_0 = U_{ном} \sqrt{\frac{2\Delta P_0}{R}}$$

където $U_{ном}$ е номиналното напрежение; ΔP_0 - загубите на активна мощност при п.х.; R - активното съпротивление на трансформатора.

При пренасяне на мощност, по-малка от S_0 , е изгодно да се работи с един изключен трансформатор. За един и два паралелно работещи СТ с номинална мощност 16 MVA при товар, равен или по-малък от $S_0=10,8$ MVA са изчислени и показани в таблица 6.4 съответно намаляването на загубите на мощност при изключване на 1 СТ и икономията на електроенергия при зададена часова използваемост на максималния товар.

Таблица 6. 4. Икономия на електроенергия при изключването на един от два паралелно работещи еднакви двунамотъчни трансформатори

Номинална мощност на СТ, MVA	Мощност на товара, MVA	Загуба на мощност при работа на 1 СТ, kW	Загуба на мощност при работа на 2 СТ, kW	Намаляване на загубите на мощност при изключване на 1 СТ, kW	Икономия на ел. енергия при часова използваемост 3200 h, kWh
16	10,8	77,95	77,95	0	0
16	10	70,63	74,31	3,68	11776
16	9	62,15	70,07	7,92	25344
16	8	54,56	66,28	11,72	37504

Приема се, че за една година товарът на двата паралелно работещи трансформатора е под $S_0=10,8$ MVA в продължение на 3200 h. През останалото време товарът е над 10,8 MVA. От табл.6.4. се вижда, че даже товарът да стане равен на половината от инсталираната мощност на СТ (16 MVA) след изключването на един от паралелно работещите СТ, загубите на активна мощност намаляват с 11,72 kW, а при часова използваемост на максималния товар 3200 h, загубите на електроенергия са 37504 kWh. Тази стойност не е голяма и ефект за електрическата мрежа би имало, ако по-голям брой СТ се изключват при намаляване на товара под S_0 .

На практика ежедневното изключване на един от паралелно работещите СТ при понижаване на товара не е препоръчително поради изчерпване на ресурса на комутационната апаратура и необходимост от допълнителни средства за автоматизация.

От съществено значение обаче е изключване на един от два паралелно работещи СТ в подстанции, захранващи сезонен товар (курортни комплекси, селскостопански потребители и др.). При тези потребители изключването на единия от два паралелно работещи СТ при товар под S_0 винаги е технически и икономически оправдано, защото се намаляват загубите на мощност и не се изчерпва ресурса на комутационната апаратура.

6.3. Изводи

- Енергийна ефективност в електрическите мрежи се постига чрез експлоатационни и конструктивни мероприятия. Експлоатационните мероприятия не изискват допълнителни инвестиции. Конструктивните мероприятия се нуждаят от допълнителни инвестиции за тяхната реализация и доказване на целесъобразност.
- Създаденият алгоритъм позволява да се изчисляват загубите на мощност и влаганите инвестиции при проектиране на разпределителни ИЕМ по оптимизирани схеми за постигане на енергийна ефективност. Алгоритъмът е приложим при преустройство и експлоатация на разпределителните мрежи по оптимизирани схеми.
- Изключването на един от два еднакви паралелно работещи трансформатори е икономически оправдано при пренасяне на мощност, по-малка от стойността S_0 , при която загубите на активна мощност на един работещ СТ стават по-малки от тези при два работещи СТ.
- Икономията на електроенергия при изключването на един СТ при намаляване на товара под S_0 не е голяма и мероприятието би имало ефект за електрическата мрежа, ако се изключат по-голям брой СТ.
- Ежедневното изключване на един от паралелно работещите СТ при понижаване на товара не е препоръчително поради изчерпване на ресурса на комутационната апаратура и необходимост от допълнителни средства за автоматизация.
- Изключване на един от два паралелно работещи СТ в подстанции, захранващи сезонен товар е от съществено значение, защото се намаляват загубите на мощност и не се изчерпва ресурса на комутационната апаратура.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

По-съществените **приноси** в дисертацията са следните:

1. Предлага се въвеждане на активни потребители в товарите графици на разпределителните ИЕМ. Ефективното използване на активните потребители в ИЕМ позволява да се регулира електропотреблението и да се намалят загубите на мощност и електроенергия. Икономическият ефект от включване на активния потребител се постига от неговата работа извън зоната на максималния и върховия товар.

2. Разработена е методика за прогнозиране на товаровия график и оперативно планиране на мощностите на товарите и генериращите източници в ИЕМ с отчитане на наличието на активни потребители и акумулиращи системи. Изборът на активен потребител трябва да осигурява неговото включване по време на по-ниските стойности на товара в товаровия график и да се изключва в подвърховата и върховата част на графика, без да дава отражение на технологичния процес.

3. Избрани са критерии за оценка на варианти за изграждане на хибридна система и са преценени тегловите коефициенти за избор на оптимален вариант. Обосновано е, че дисконтираните разходи на хибридната система са много по-значим критерий от загубите на мощност в нея.

4. Съставен е алгоритъм с прилагане на метода на йерархичния анализ от математичната теория на игрите, с който при различна степен на значимост на формулираните основни критерии и конкретизирани теглови коефициенти се вземат решения за изграждане на хибридната система от разглежданите варианти.

5. Разработена е методика за експертната оценка, включваща критериите дисконтирани разходи, загубите на мощност и необходимостта и перспективността от изграждане на всеки от активните потребители, която позволява да се вземат обосновани технико-икономически решения.

6. Сравнени са големините на грешките, допускани при прилагане на методите за експертна оценка при краткосрочно прогнозиране на електрическите товари. Установява се, че най-малка грешка се допуска при прилагане на метода, основан на теорията на полезността, защото се отчитат метеорологичните фактори.

7. Създаден е алгоритъм за изчисляване на загубите на мощност и влаганите инвестиции при проектиране на разпределителни ИЕМ по оптимизирани схеми за постигане на енергийна ефективност. Алгоритъмът е приложим при преустройство и експлоатация на разпределителните мрежи по оптимизирани схеми.

По-съществените **ползи** от проведеното изследване са :

Оценени са влияещите фактори при формиране на критерии и обосновки за изграждане на интелигентни електрически мрежи и за избор на активни потребители.

Анализирана е социалната нагласа на обществото за приемане на иновативните технологии и вече реализираните европейски проекти в областта на електроенергетиката.

Обобщение:

Основните инвестиционни проблеми в интелигентните активно-адаптивни мрежи се състоят в икономическа оценка за: насищане на мрежата с активни потребители; внедряване на елементи, с които могат да се променят параметрите на мрежата; монтиране на голям брой датчици за измерване на режимните параметри за оценка на състоянието на мрежата; компютърни системи за събиране и обработка на постъпващата информация в реално време, средства за автоматика и управление на активните потребители и елементи на мрежата, работещи в реално време и реагиращи на изменението на топологията и режимите в мрежата; средства за автоматична оценка на текущата ситуация и построяване на прогнози за очакваното следващо състояние.

Необходимо е широко разгласяване на ползите от въвеждане на активни потребители с цел подобряване на общественото мнение относно концепцията за изграждане на разпределителни интелигентни електрически мрежи.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Иванова М.А.** Социален ефект от внедряване на технологии за производство на електроенергия с вятърни централи. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 3, 2016. Стр.42-44.
2. Неделчева С.И., А.М.Иванов, **М.А. Иванова**. Анализ на влияещите фактори при съставяне на концепция за изграждане на интелигентна електрическа мрежа. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 5, 2016. Стр.21-24.
3. Неделчева С.И., А.М.Иванов, **М.А. Иванова**. Съпоставка на основните изисквания към интелигентните електрически мрежи и функционалните им свойства. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 5, 2016. Стр.25-29.
4. **Иванова М.А.** Въвеждане на активни потребители при изграждане на разпределителни интелигентни електрически мрежи. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 4, 2017. Стр.20-23.
5. **Иванова М.А.** Методика за прогнозиране на електрическите товари в интелигентни електрически мрежи. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 4, 2017. Стр.48-54
6. Неделчева С.И., В.Й. Чобанов, **М.А. Иванова**. Енергийна ефективност при изключване на един от два паралелно работещи трансформатори при минимален товар. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 3, 2018. Стр.20-23.
7. Мацанков М.И., **М.А.Иванова**. Енергиен одит за изграждане на хибридна система. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 1, 2019. Стр.40-43.
8. Мацанков М.И., **М.А.Иванова**. Сравнение на методите за експертиза при прогнозиране на електрическите товари. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 2, 2019. Стр.16-19.
9. **Иванова М.А.** Експертна икономическа оценка при избор на активни потребители в автономна система ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 2, 2019. Стр.24-27.

10. Неделчева С.И., **М.А.Иванова**. Преустройство и експлоатация на разпределителните мрежи по оптимизирани схеми за постигане на енергийна ефективност. ISSN 1312-3920, Известия на ТУ-Сливен, № 2, 2019. Стр.28-32.
11. Matsankov M.C., **М.А.Иванова**. Selection of optimal variant of hybrid system under conditions of uncertainty. The 2nd International Conference on Electrical Engineering and Green Energy (CEEGE 2019). EI Compendex and Scopus, Roma, Italy, June 28-30, 2019.
12. Nedecheva S.I., **М.А.Иванова**, M.K.Hassan. Operational activities for achieving energy efficiency in electrical networks. International Nedelcheva S.N., M.A.Ivanova, M.K.Hassan. Operational activities for achieving energy efficiency in electrical networks. International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2019. October 16-18, ISSN 1314-9474, Index Copernicus, 2019. www.ictte.eu.

INVESTMENT PROBLEMS IN THE CONSTRUCTION OF INTELLIGENT ELECTRIC NETWORKS WITH ACTIVE USERS

Mihaela Atanasova Ivanova

The more substantial contributions in dissertation are the following:

1. It is proposed to introduce active users in the loading schedules of the distribution Smart grid. Efficient use of active users in Smart grid allows to regulate electricity consumption and reduce Losses of power generation. Of the active user is achieved by the Operation outside the maximum and peak load zone.
 2. A methodology for forecasting the load schedule and operational planning of the capacity of loads and generating sources in the Smart grid is developed, taking into account the availability of active users and storage systems. The selected active user must ensure that he is switched on during the lower load values in the loading schedule and is switched off in the sub-peak and peak area. The timeline without reflecting on the technological process.
 3. Criteria for assessing variants for the construction of a hybrid system are selected and the weighting coefficients for the choice. It is reasonable that the discounted costs of the hybrid system are a much more significant criterion than the Loss of power in it.
 4. An algorithm has been compiled with the application of the hierarchical analysis method. The mathematical theory of the games, which at varying degrees of importance of the basic criteria formulated and specified weighting factors, a decision is taken to construct the hybrid system of The options in question.
 5. A methodology for expert judgement has been developed including the criteria for discounted costs, power losses and the necessity and feasibility of construction of each of the active users, which allows to take into account the Technical and economic solutions.
 6. The rates of errors allowed in the application of methods of expert judgement in the short-term prediction of electrical loads are compared. It is established that the slightest error is allowed in the application of the method based on the theory of usefulness, because it is reported the meteorological factors.
 7. An algorithm was created to calculate the power loss and investment in the design of the Smart grid distribution system under optimised energy efficiency schemes. The algorithm applies to the reconstruction and operation of distribution networks under optimised circuits.
- The more substantial benefits of the study are: the influencing factors are assessed in the formation of criteria and justifications for the construction of Smart grid and for Choice of active users.
- The social attitude of the Society for the acceptance of innovative technologies and the already realized European projects in the field of electricity is analysed.

Summary: The main investment problems in intelligent active-adaptive networks consist of (c) Economic assessment for: saturation of the network with active users; Implementation of elements that can change the parameters of the network; Mounting of a large number of sensors to measure the system parameters for assessing the condition of the network; Computer systems for the collection and processing of incoming information in real time, means for automation and management of active users and network elements, working in real time and reacting to the change of topology and modes in the network; means to automatically assess the current situation and construct forecasts of the expected next condition. It is necessary to publicise widely the benefits of introducing active users in order to improve public opinion on the concept of building a distributive Smart grid.