



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ ВАРНА
КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА“

СТАНИСЛАВ РОСЕНОВ ЙОРДАНОВ

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ
СИСТЕМИ ПРИ УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ
РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ МРЕЖИ**

АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА
СТЕПЕН „ДОКТОР“

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

ПРОФ. Д-Р ИНЖ. РОСЕН НИКОЛОВ ВАСИЛЕВ, ТУ-ВАРНА

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. ПРОФ. Д-Р ИНЖ. ВАЛЕРИ МАРКОВ МЛАДЕНОВ
2. ПРОФ. ДТН ИНЖ. МАТ. КРУМ КОСТОВ ГЕРАСИМОВ

ВАРНА, 2016 Г.

Дисертационния труд е обсъден на _____.____.2016 г. в катедра „Електроенергетика“ и насочен за защита.

Автор: Станислав Росенов Йорданов

Заглавие: Приложение на интелигентни измервателни системи при управление на електрически разпределителни мрежи



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ ВАРНА
КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА“

СТАНИСЛАВ РОСЕНОВ ЙОРДАНОВ

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ
СИСТЕМИ ПРИ УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ
РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ МРЕЖИ**

АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА
СТЕПЕН „ДОКТОР“

ВАРНА, 2016 Г.

Дисертационният труд съдържа 157 страници, включително 53 фигури, 25 таблици, и 2 приложения (27 страници), и е оформен в 5 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 186 заглавия, от които 32 на кирилица и 154 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на г. от часа в на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора №...../..... г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувашите се във ФД „Докторанти“, стая 318 НУК.

Характеристика на дисертационния труд

Актуалност на проблема

Поради малките товари и невъзможността за пренасяне на произведената електроенергия на големи разстояния, първите електрически централи са били с относително малка мощност и са изграждани в непосредствена близост до консуматорите. Във времето потребността от електроенергия е ставала все по – голяма. Същевременно с развитието на технологиите, електрическите мрежи са започнали да позволяват пренасяне на електроенергия в по – големи количества и на по – големи разстояния. Това от своя страна е позволило електрическите централи да бъдат изградени на относително големи разстояния от потребителите и да бъдат с голяма инсталирана мощност. С цел постигане на сигурност и гъвкавост на електроенергийната система (ЕЕС), във времето нейната структура е изградена и развивана в посока осигуряване на резервни връзки, пръстеновидна структура и т.н. Сложността на структурата на ЕЕС води до сложност в режимите на работа и начините на управление. Това от своя страна е довело до внедряването на сложни автоматизирани системи за управление на работа на ЕЕС.

За намаляване на замърсяването и въглеродните емисии от производството на електроенергия от конвенционални източници на електроенергия с цел опазване на околната среда, в последните години в световен мащаб усилено се работи по внедряването на производство на електроенергия от възобновяеми източници (ВИ), а именно вятърни, фотоволтаични, малки водни и др. електрически централи. Недостатък на тези централи е, че тяхното производство зависи най – вече от природни явления т.е. монтажът им се осъществява на места където тези ресурси са налични и производството на електроенергия от тях не се планира, а се прогнозира. Това на практика означава, че е възможно да има източник на електроенергия с голяма инсталирана мощност на място където не е необходим и да има производство на голямо количество енергия в момент, в който такава не е необходима. Увеличаването на дела на производството на електроенергия от ВИ поставя огромно предизвикателство пред операторите, автоматизираните системи и начините за управление на ЕЕС. Една от потенциалните възможности, която се разглежда в средносрочен и дългосрочен план, за справяне с това предизвикателство е надграждането на съществуващите автоматизирани системи, чрез внедряването на интелигентни мрежи.

В настоящата разработка е изложена концепция за внедряване на интелигентна измервателна система, като градивна част на интелигентната мрежа. Разгледани са финансово измеримите и неизмеримите ползи от внедряването. За остойността на финансово измеримите ползи е разработен модел, който включва алгоритъм за оценка на ефекта от управлението на мощности, присъединени към електроразпределителната мрежа във финансов и енергиен аспект.

Проблем

Въз основа на направения литературен обзор са характеризирани съвременното състояние на управлението на разпределителните електрически мрежи, тенденциите на развитие на мрежите и възникващите в тази връзка особености на управлението и мястото на интелигентните измервателни системи в управлението на мрежите. Идентифицирани са следните основни проблеми.

1. Тенденциите в развитието на съвременните електрически разпределителни мрежи са:
 - Децентрализирано производство на електрическа енергия от генератори използващи ВИ, присъединени към средно или ниско напрежение;
 - Използване на хранилища на електрическа енергия и управляеми потребители, като средства за ефективно използване на енергията от ВИ и балансиране на генерацията и потреблението в мрежата.

Съществуващите към момента в Р България системи за управление на ЕЕС обхващат частично електрическите разпределителни мрежи за средно напрежение и не обхващат потребителите и производителите на електрическа енергия, присъединени към мрежи ниско напрежение. В този спект те са неефективни и не съответстват на тенденциите на развитието на разпределителните мрежи.

2. Съгласно механизма на работа на либерализирания пазар, системните услуги „регулиране надолу“ и „регулиране нагоре“ могат да се предоставят от хранилища на електроенергия и управляеми потребители. Чрез хранилищата на електрическа енергия и управляемите товари, разпределителните мрежи могат да се включат в пазара на балансираща енергия. Съществу-

ващия в Р България пазарен модел на балансираща енергия е твърде усложен по отношение на уреждането на финансовите взаимоотношения между участниците на пазара и не позволява директно участие на електроразпределителните мрежи в предоставянето на гореспоменатите системни услуги.

3. Интелигентните измервателни системи (ИИС) са основата за повишаване на ефективността на управлението на електрическите разпределителни мрежи. Липсата на достатъчно задълбочени изследвания относно ефекта от внедряване на ИИС е един от основните фактори, който възпрепятства вземането на решение за масово внедряване на системата.

Цел и задачи на изследването

Целта на изследването е да се анализира възможността и проблемите за изграждане на интелигентни измервателни системи в условията на нашите електрически разпределителни мрежи и да се оценят техническите и икономическите ползи от тях. За постигане на тази цел се поставят за решаване следните задачи:

1. Разработване на концепция за управление на електрическите разпределителни мрежи чрез ИИС, позволяваща ефективно да се управлява производството, потреблението и хранилищата на електрическа енергия.
2. Изясняване на условията и проблемите за реализиране на концепцията за управление на електрическите разпределителни мрежи с включване на интелигентни измервателни системи.
3. Разработване на математически модели за оценка на ефектите от внедряването на интелигентна измервателна система, като част от управлението на електрическа разпределителна мрежа.
4. Тестване на създадените математически модели с реални данни.

Обект и предмет на изследването

Обект на изследване са съвременните електроразпределителни мрежи. Предмет на изследването са възможностите за управление на електроразпределителните мрежи, чрез внедряването на интелигентни измервателни системи и постигнатият ефект в следствие на това.

Методи, използвани при изследването

За определянето на ползите от внедряването на ИИС е създадения модел на минимизационна оптимизационна задача е с линейна целева функция и комбинирани ограничения от равенства и неравенства. Решението на оптимизационната задача е реализирано в Matlab.

Научна новост на изследването

Създадена е нова структура на математичния модел на пазара на балансираща енергия, основана на използването на интелигентна измервателна система. Чрез която се постигат опростяване на финансовите взаимоотношения между участниците на пазара и ефективно управление на производството на електрическа енергия от ВИ и баланса на потреблението.

Практическа ценност на изследването

Прилагането на създадените са математични модели на управляеми товари, електромобили и хранилища на електроенергия, както и алгоритъма за оценка и обследване на финансовия и енергийния ефект от предоставянето на балансиращи услуги от тях, ще е първата стъпка за обосноваване на необходимостта от интелигентните измервателни системи в управлението на електрическите разпределителни мрежи и ускоряване на внедряването им в нашата страна.

Апробация на изследването

Направени са многовариантни изчисления за общо 389 годишни цикъла въз основа на реални данни, предоставени от оператор на електроразпределителна мрежа в България и производители на електроенергия от ВИ. Резултатите носят информация и показват тенденции и могат да се използват за априорна оценка за рентабилността на иновациите в ИИС.

Части от изследването са докладвани на следните форуми:

- Workshop on Costs, benefits and Impact Assessment of Smart Grids for Europe and Beyond, Antalya, Turkey, 23-25 April 2014 организирана от European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Petten, Netherlands (<http://iet.jrc.ec.europa.eu/>);
- Техническа конференция “Електрэнергетика 2014”, 11-13 септември 2014, КК "Златни пясъци", България;
- Списание „Ютилитис“;
- Списание „Енергетика“.

Публикации по дисертационния труд

Публикациите, свързани с дисертационния труд са 5 броя, 1 от които самостоятелна.

Съдържание на дисертационния труд

ГЛАВА I. Управление на електрически разпределителни мрежи. Състояние и тенденции за развитие.

Целта на изложението в тази глава е да се коментират определен достъпен брой разработки, чрез които може достатъчно пълно да се характеризират: съвременното състояние на управлението на разпределителните електрически мрежи; тенденциите на развитие на мрежите и възникващите в тази връзка особености на управлението; мястото на интелигентните измервателни системи в управлението на мрежите. На тази основа да се конкретизират целта и задачите на дисертацията.

Разгледани са целите и задачите при управление на ЕЕС, либерализирания пазар на електрическа енергия в Р България, особеностите на управление на съвременните електрически разпределителни мрежи, системите за тяхното управление и интелигентните измервателни системи, като елемент на бъдещите интелигентни електрически мрежи.

От направения преглед на литературните източници, характеризиращи гореописаните области, могат да се направят следните обобщаващи изводи:

1. Съществуващите към момента в Р България системи за управление на ЕЕС обхващат частично електрическите разпределителни мрежи за средно напрежение и не обхващат потребителите и производителите на електрическа енергия, присъединени към мрежите за ниско напрежение. Поради това те са неефективни и не съответстват на тенденциите на развитието на разпределителните мрежи.
2. Тенденциите в развитието на съвременните електрически разпределителни мрежи са:
 - Децентрализирано производство на електрическа енергия от генератори използващи ВИ, присъединени към средно или ниско напрежение;
 - Използване на хранилища на електрическа енергия и управляеми потребители, като средства за ефективно използване на енергията от ВИ и балансиране на генерацията и потреблението в мрежата.
3. Около 37 % от годишно потребяваната електрическата енергия в страната се използва от потребителите, присъединени на ниско напрежение, за отопление и затопляне на вода. Това са потребители, които могат да се преобразуват в управляеми.
4. Съгласно механизма на работа на либерализирания пазар, системните услуги - „регулиране надолу“ и „регулиране нагоре“ могат да се предоставят от управляемите потребители.
5. Чрез хранилищата на електрическа енергия и управляемите товари, разпределителните мрежи могат да се включат в пазара на балансираща енергия.
6. Съществуващият пазарен модел на балансираща енергия е твърде сложен по отношение на уреждането на финансовите взаимоотношения между участниците на пазара. Следва да се разработи по-ефективен модел по отношение на предоставяне на балансиращи услуги чрез управление на товара, електромобилите и хранилищата на електрическа енергия.
7. ИИС са основата за повишаване на ефективността на управлението на електрическите разпределителни мрежи. Следва и в нашата страна да се пристъпи към по-интензивно изграждане на ИИС, чрез които ще се позволи на операторите на електрическите мрежи ефективно да управляват производството, потреблението и съхранението на електрическа енергия в мрежата.

Обобщаващите изводи от литературния обзор са основа за конкретизиране на целта на дисертацията, именно да се анализира възможността и проблемите за изграждане на интелигентни измервателни системи в условията на нашите електрически разпределителни мрежи и да се оценят техническите и икономическите ползи от тях. За постигане на тази цел се поставят за решаване следните задачи:

1. Разработване на концепция за управление на електрическите разпределителни мрежи чрез ИИС, позволяваща ефективно да се управлява производството, потреблението и хранилищата на електрическа енергия.
2. Изясняване на условията и проблемите за реализиране на концепцията за управление на електрическите разпределителни мрежи с включване на интелигентни измервателни системи.
3. Разработване на математически модели за оценка на ефектите от внедряването на интелигентна измервателна система, като част от управлението на електрическа разпределителна мрежа.
4. Тестване на създадените математически модели с реални данни.

ГЛАВА II. Концепция за управление на електрическите разпределителни мрежи с използване на ИИС

Има няколко съществени въпроса, които се отнасят за по-ефективното използване на електроенергията, произведена от ВИ, тъй като не само крайната цена на произведената електроенергия е определяща за приложимостта и полезния ефект от този вид производство, като: Какво може да се направи, за да не пренася тази електроенергия през електроенергийната система? Какво следва да се направи, за да се гарантира стабилността на електроенергийната система? Или най-общо казано, кой е най-оптималният технико-икономически вариант за използване на електроенергията, произведена от възобновяеми източници? Единият от възможните отговори на този въпрос се крие в самостоятелното или локално потребление на тази електроенергия [97, 105]. За постигането на тази цел, без това да създаде неудобство за потребителя на електроенергия, е необходимо да се въведе автоматизирана система, която да управлява потреблението съобразно производството на електроенергия или други нужди на оператора на ЕЕС. В подкрепа на тази система е и развитието на домашните уреди, както и на технологиите за съхранение на електроенергия, които започват да се предлагат с все по-висока ефективност и все по-ниска цена. Освен това, предвид увеличаващите се цени на електроенергията, доставяна от електроснабдителните дружества през електроразпределителната мрежа и намаляващите цени на електроенергията произведена от ВИ, от тези системи се очаква да осигурят понижаване на разходите, посредством съзнателно и контролирано използване на електроенергията произведена или доставена от различните източници. За да се увеличи ефективността на този подход, то технически целесъобразно е консумацията и локалното производство да се съчетаят със системи за съхранение на електроенергия. Тази комбинация следва да е в състояние да доставя електрическа енергия аналогично на конвенционалната електроразпределителна мрежа. В обобщение концепцията се основава на интелигентното използване на електрическата енергия с цел намаляване на обмена с и преноса през електроразпределителната и електропреносната мрежи или предоставяне на други системни услуги. Изградената инфраструктура, предоставяща възможност за управление на товари в мрежа ниско напрежение, също така осигурява възможност за плавно регулиране на електрическите товари от системите за управление на електроенергийната система [61, 72, 91, 103].

Съгласно изложеното в Глава I, на този етап управлението на електроенергийната система не обхваща напълно всички потребители и производители присъединени към електроразпределителната мрежа. В основата на концепцията за управление на електроразпределителната мрежа с участието на интелигентната измервателна система е заложено пълно или частично управление на всички потребители и производители, присъединени към електроразпределителната мрежа на ниско напрежение (НН).

В глобалната дейност по управлението на електроенергийната система, задачите на ИИС са следните [103, 109]:

- a. измерване на моментното потребление и производство на електроенергия, съответно от потребителите и производителите присъединени към разпределителни мрежи НН;
- b. обработка на данните от измерването и предоставянето им към автоматизираната система за диспечерско управление (АСДУ) с цел определяне на режима на работа на ЕЕС, респективно разпределителната мрежа, като част от системата;

- c. след задаване на режима на работа от АСДУ изработване и въвеждане на алгоритъм за управление на подчинените звена, а именно потребители, производители и хранилища на електроенергия присъединени към мрежи НН;
- d. при необходимост спазване на режим на работа (логика за управление) на локалните консуматори зададен на местно ниво.

В настоящата глава е представена концепцията за управление чрез интелигентната измервателна система, допълнителните възможности за въздействие върху работата на електроразпределителната мрежа, които предоставя ИИС и е направена съпоставка между съществуващият в момента модел на управление и този с използването на ИИС.

II.1. Цели и режими на управлението с ИИС

II.1.1. Цели

Следвайки модела на управление на ЕЕС в Р България, обектите, присъединени на средно напрежение (СрН) са обект на управление на съществуващите системи [20]. Обектите, присъединени на НН са обектите, които ще бъдат управлявани от ИИС. За постигане на максимален технико-икономически ефект, ИИС трябва да бъде интегрирана със съществуващите автоматизирани системи за диспечерско управление [63, 116].

Важно е да се отбележи, че управлението на обектите на потребителите не се състои в пълното включване и изключване на съответният потребител. Концепцията за управление се основава на възможността за въздействие върху работата на отделните електроуреди в обекта на потребителя, което от своя страна не следва на наруши нивото на комфорт в обекта на потребление. Такива електроуреди са бойлер, уреди и система за охлаждане и отопление, пералня, сушилня за дрехи и машина за миене на съдове [47, 65].

Принципът на управление се основава на задаването на определена цел за потреблението / отдаването на електрическа енергия, изпълнението на която да се реализира от ИИС. Целите биха могли да бъдат следните [71, 79]: минимален обмен на електроенергия от разпределителната към преносната мрежа; минимален пренос на електроенергия от ВИ по мрежа СрН; минимален обмен на електроенергия между мрежи СрН и НН и др., включително системни услуги.

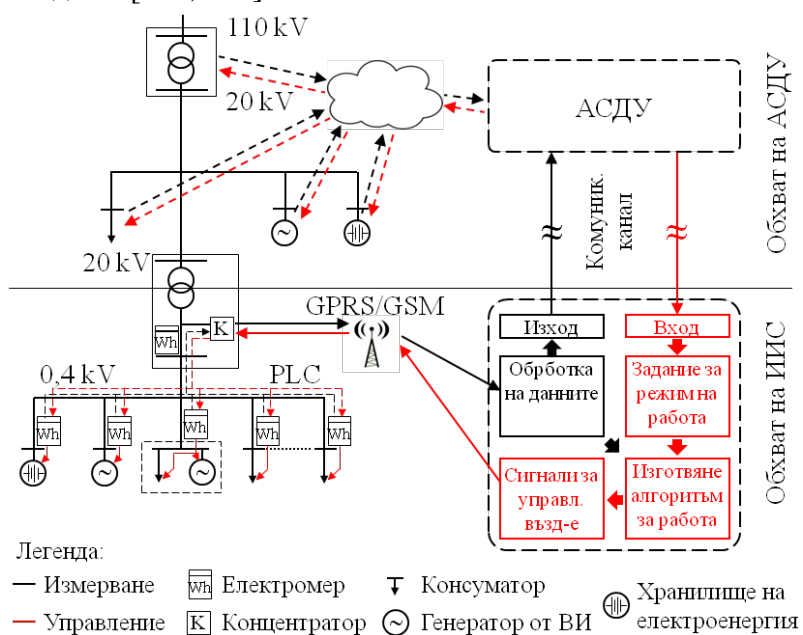
II.1.2. ИИС в режим на управление от АСДУ

Когато ИИС е свързана с АСДУ, се реализира възможността крайните клиенти присъединени на НН да станат управляема част от ЕЕС, оперативно подчинена на териториално (ТДУ) или централно (ЦДУ) диспечерско управление. За целта е необходимо [104, 113]:

- a. На ниво АСДУ да бъде предоставена цялата информация за потреблението и производството на електрическа енергия. Това от своя страна обуславя изграждането на връзка от ИИС към АСДУ.
- b. След определяне и задаване на режима на работа на ЕЕС да бъдат изработени съответните управляващи сигнали към крайните устройства (електромери, комутатори и др.), което изисква изграждане на връзка от АСДУ към ИИС.

Връзките между крайните консуматори, генератори, хранилища, ИИС и АСДУ са показани на Фигура 2.1.

В този режим на работа системата позволява реализирането на следните алгоритми: минимален обмен на електроенергия от разпределителната към преносната мрежа; минимален пренос на електроенергия по мрежа СрН или мрежа НН; покриване на пикови товари; планово отдаване



на електроенергията от хранилищата и други по-сложни, включително по заявки от АСДУ към ИИС, свързани с предоставяне на системни услуги и др. [62, 63].

II.1.3. ИИС в автономен режим

Освен като подсистема на АСДУ, интелигентната измервателна система може да работи автономно. В този режим на работа се извършва управление на товарите, производството и хранилищата на мрежа НН на локално ниво, по зададени критерии.

При този режим на работа ефекта от внедряването на ИИС по отношение на подпомагане на дейността при управление на ЕЕС е значително ограничен и почти всички предимства на системата в това направление отсъстват. По отношение на предоставяне на услуги, свързани с управление на товарите, системата може да бъде използвана за ограничаване на товара в мрежи НН и СрН, трансформатори СрН/НН с цел отлагане на инвестиции [63, 113].

II.2. Метод за управление на потреблението на краен потребител чрез интелигентни измервателни системи

С оглед на поставената задача, на Фигура 2.2 са показани уредите на крайните потребители, които представляват интерес за процеса на управление и позволяват управление, без това да нарушава микроклимата и комфорта в сградата.

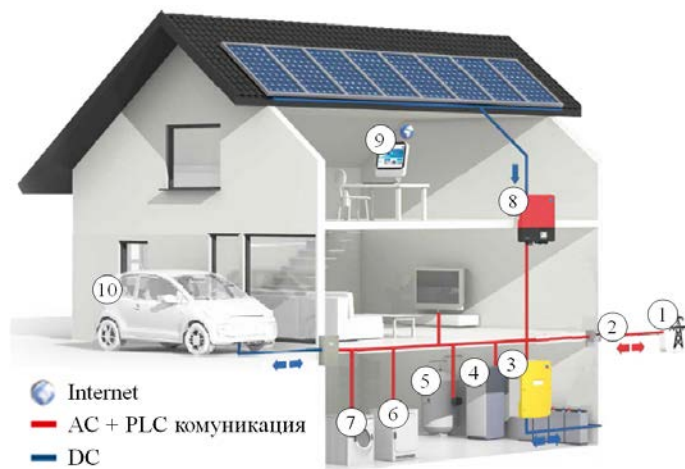
1 - Електроразпределителната мрежа НН, към която е присъединен обекта; 2 - Електромер, част от интелигентната измервателна система, посредством която ще се реализират командите за управление; 3 - Стационарен акумулатор на електрическа енергия; 4 - Система/ уред за отопление и/или охлаждане; 5 - Бойлер; 6 - Уред за сушене на дрехи; 7 - Пералня; 8 - Локална електроцентрала; 9 - Информационна система за клиента; 10 - Електромобил, като акумулатор на електрическа енергия.

В зависимост от вида си, една част от описаните по-горе уреди позволяват директно управление (бойлер, отопление), като за целта трябва да се осигурят необходимите за това условия. Като пример бойлерът да е с достатъчно голям обем, за да позволява включване и изключване в зависимост от необходимостта на оптимизационната задача на мрежата, а не в зависимост от необходимостта от топла вода. За системите за отопление и охлаждане важи същото правило [95, 167]. Има вариант да се прилагат точно определени алгоритми съобразно локалните диапазони на потребление на топла вода и топлина, като по този начин се намира баланса между комфорт на потребителя при минимални параметри на системите за управление и решаване на оптимизационната задача на мрежата. Прилагането на алгоритмите обаче изисква много добро индивидуално познаване на характера на потребление за всеки отделен потребител. Това може се постигне с интелигентни системи за измерване, които освен информацията за потреблението на клиента се свързват и с метеорологични станции с цел уплътняване на капацитета на местната електроцентрала [135, 155].

Хранилищата на електрическа енергия са винаги управляеми както в режим на акумулиране, така и в режим на отдаване на електрическа енергия. В не малко модели електромобилите се разглеждат като основен инструмент за покриване на пиковете (излишък/ недостиг) в системата, но е важно да се отбележи, че при електромобилите приоритет е комфортът на потребителя, т.е. зареждането на електромобила, а не решаването на оптимизационната техническа задача [134].

- Алгоритъм за управление

За изпълнението на всички алгоритми, ИИС заснема потреблението на електроенергия както на управляемите така и на неуправляемите електроуреди [86, 114, 115]. Тъй като не е възможно на всеки контакт да се монтира електромер, системата може да бъде обучена, чрез потребителски интерфейс, който да разпознава кой уред се е включил, индиректно, чрез промяната на консумираната мощност [86]. Друг вариант е използването на предлаганите към ИИС устройства, които се монтират в мястото на присъединяване на конкретния електроуред и заснемат точно неговото потребление за определен период. Устройството се използва само за обучението на системата, след което тя сама започва да раз-



Фигура 2.2 Електроуреди в обекти присъединени на НН, позволяващи управление [50]

познава включването и изключването на уреда, според промяната на консумацията [39]. Също така е необходима прогноза за производството на електроенергия от локалната електроцентрала. За целта ИИС се свързва с метеорологична станция или получава прогноза за производството от външна система [53]. Въз основа на тези данни системата изработва алгоритъм за включване и изключване на консуматорите и хранилищата с цел запазване на максимален комфорт и изпълнение на зададения критерий. В някои случаи, според характера на управлявания обект някои системи, освен горните, изготвят и прогноза за необходимостта на топлинна енергия съобразно метеорологичната прогноза [73, 115, 138].

II.2.1. Илюстриране на модела за управление

За илюстриране на модела на управление, по-долу, са показани товарни графици на битов потребител, който има монтирана фотоволтаична централа с инсталирана мощност 6,8 kWp. Инсталираната мощност на централата е подбрана така, че при слънчев ден да произвежда количеството електроенергия, необходимо за покриване на нуждите на уредите на потребителя. За целеви критерий е подбран „Минимален обмен между потребителя и електроразпределителната мрежа”.

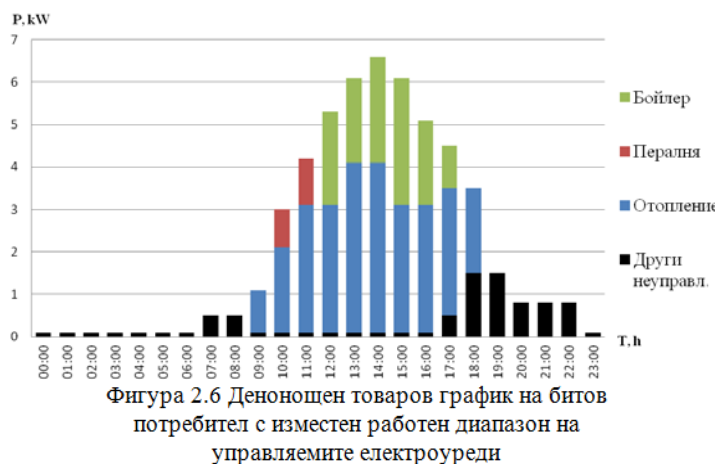
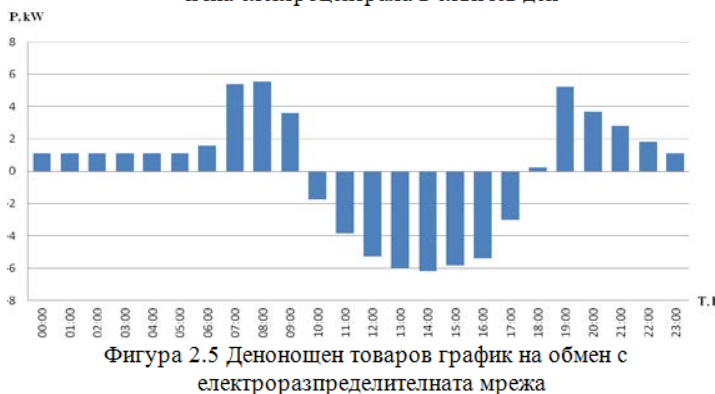
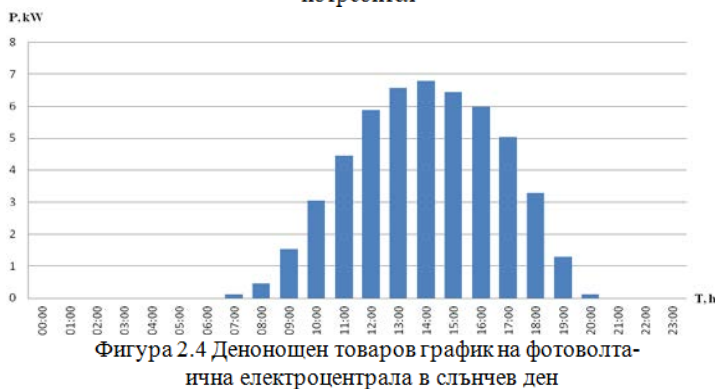
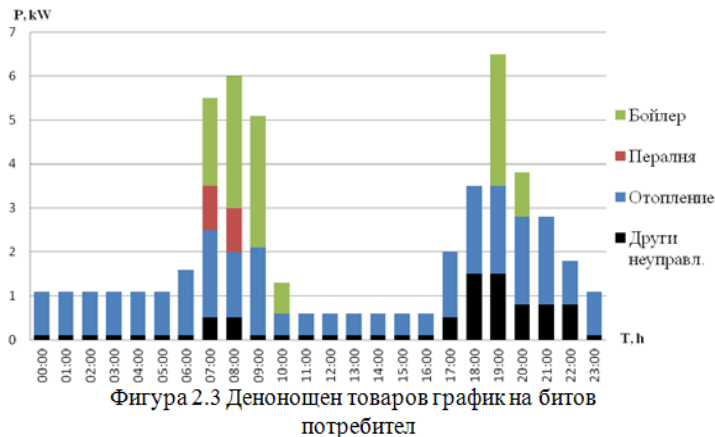
В денонощния товаров график на битов потребител на Фигура 2.3 е показано потреблението, разделено на различните управляеми електроуреди [130]. Неуправляемите електроуреди са показани като едно цяло. Общата консумация за периода възлиза на 51,2 kWh.

На Фигура 2.4 е показан денонощен товаров график на производството на електроенергия от фотоволтаична електроцентрала с инсталирана мощност 6,8 kWp в слънчев ден. Общо произведената електроенергия за денонощието възлиза на 51,0 kWh.

При наслагване на двата товаров графика, като резултат ще се получи постъпилата и отдадената електрическа енергия съответно от и към електроразпределителната мрежа. Резултата е показан на Фигура 2.5. Със знак „+” е показана електроенергията постъпила от електроразпределителната мрежа, а със знак „-“ отдадената.

Видно от графиката има значителен обмен на електрическа енергия, въпреки, че консумираното и произведеното количества са почти еднакви. Това се дължи на обстоятелството, че момента на консумация на електроенергия не съвпада с момента на производството. Постъпилата електроенергия за периода възлиза на 37,5 kWh, а отдадената на 37,3 kWh т.е. от произведената локално електроенергия е използвана едва 13,7 kWh или 26,9 %.

Единият от възможните варианти за намаляване на обмена на електроенергия е посредством изместване на момента на работа на управляемите консуматори. За пералнята това е лесен процес тъй като при прогноза за наличие на локално производство на електроенергия за достатъчно дълъг период трябва да се подаде сигнал за включване. Управлението на бойлера (или друга система за загряване



на вода за битови нужди) е възможно ако съдържането на вода е достатъчно голямо за да покрие нуждите на потребителите без това да нарушава техния комфорт [35, 127]. От всички управляеми електроуреди за отопление най-подходящи за изпълнението на задачата са термopомпите или други уреди изградени въз основа на акумулиране на топлинна енергия. Във всички останали случаи има риск за създаване на дискомфорт на клиентите [50, 77]. При наличие на акумулатори на електроенергия е възможно тази трудност да бъде преодоляна, но не е целесъобразно ресурсът на акумулаторите да се използва за отопление, поради тяхната цена [129, 166]. На Фигура 2.6 е показано изместването на потреблението с цел намаляване на обмена на електрическа енергия доставена през електроразпределителната мрежа.

На Фигура 2.7 е показан обмена на електроенергия след изместването на момента на работа на работа на управляемите електроуреди. Видно от графиката обмена на електрическа енергия е с много малки стойности. Постъпилата електроенергия за периода възлиза на 4,1 kWh, а отдадената на 3,7 kWh т.е. от произведената локално електроенергия е използвана 47,3 kWh или 92,7 %.

За пълното ограничаване на обмена на електрическа енергия между електроразпределителната мрежа и потребителя е необходимо да се използват хранилища на електрическа енергия. Хранилищата на електрическа енергия биха осигурили захранване на неуправляемите електроуреди в часовите диапазони, в които няма производство на електроенергия от локалната електроцентра. Конкретно разгледаният случай има за цел да минимизира обмена на електрическа енергия между потребителя и разпределителната мрежа т.е. не се очаква консумирането и отдаването на относително малки количества електроенергия от и към мрежата да доведе до аварийни ситуации, повреждане на оборудване или други подобни щети. В случаите, в които се предвижда предоставянето на системни услуги, най-вече свързани с отдаване на електроенергия към мрежата, хранилищата имат важна роля.

Същите алгоритми могат да бъдат използвани в стопански обекти, съобразно възможността за управление на технологичните им процеси.

Ц.3. Съпоставка на концепцията за управление чрез ИИС спрямо съществуващата практика в Р България

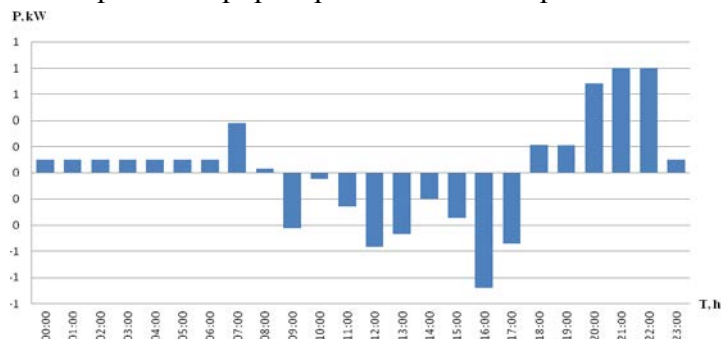
Както вече беше споменато, съвременната електроенергетика е изправена пред предизвикателството да се справи с интеграцията на голям обем от електроцентрали произвеждащи електроенергия от ВИ, при запазване на качеството на предоставяната за потребителите услуга и технико-икономическите и показатели.

Предвид факта, че ВИ централите са разположени близо до първичният за производството ресурс и произвеждат електроенергия съобразно наличността на този ресурс, запазването на използваните до момента методи за управление и развитие на електроенергийната система ще доведат до необходимост от извършването на големи инвестиции за пренасяне на електроенергията, както и до големи последващи разходи за поддържане на стабилността на електроенергийната система.

Част от възможните решения е управлението на товара. Съществено преимущество на този метод е, че се разчита на голям брой малки товари, управлението на които ще доведе до значително облекчаване на процеса по управление на ЕЕС, без това да наруши комфорта на потребителите и без необходимост от значителни инвестиции.

Видно от представеното в Глава I и настоящия раздел, при наличие на подходящо оборудване, инфраструктура и свързаност, ИИС могат да управляват една значителна част от потреблението на ниско напрежение, подпомагайки решаването на гореописаната задача.

Съществуващите към момента системи могат да управляват потребителите, които консумират около 42 % от годишното потребление, като управлението в голямата си част не е автоматизирано т.е. издават се оперативни нареждания от оператора на ЕЕС към оперативния персонал на потребителя. Също така в повечето случаи поради спецификата на технологията на производствените процеси няма масово въведена практика потребителите да намалят или увеличават товара си с цел облекчаване на режима на работа на ЕЕС, с изключение на предаварийни ситуации. Освен това, на моменти електроенергията произведена от ВИ електроцентрали превишава преносните възможности на някои съоръже-



Фигура 2.7 Деноношен товаров график на обмен на електроенергия с ЕРМ при изместено потребление на управляемите електроуреди

ния от съществуващата електропреносна или електроразпределителна мрежа и застрашава устойчивата работата на ЕЕС. Тъй като няма изградени и установени практики за интегриране на енергията от ВИ, се въвеждат ограничителни режими за производството на тези централи, което от своя страна води както до непостигане на целта за тяхното внедряване така и до икономически загуби за собствениците им.

Съгласно представената в раздел Глава I структура на потреблението на електроенергия в България, 37 % от потребената в страната електроенергия се използва за отопление, охлаждане или затопяване на вода от битови и стопански потребители, присъединени на ниско напрежение. Посоченият процент е на практика частта на потреблението в национален мащаб, която може да се приобщи и стане управлявана част на ЕЕС посредством интелигентната измервателна система.

II.4. Изводи

Предложената концепция за управление на електрическите разпределителни мрежи с използване на ИИС има предимства спрямо съществуващата практика на управление на мрежите изразяващи се в:

1. Превръщане в управляеми процесите на потребление, генериране и съхранение на електрическата енергия в мрежи НН.
2. Решаване на оптимизационни задачи по отношение на устойчивост и ефективност на работа на ЕЕС или в частност в режимите на елементи от мрежи СрН и НН.
3. Осигуряване на електропотребление по зададен алгоритъм и отдаване електрическа енергия към електрическата разпределителна мрежа.
4. Ефективно управление на децентрализираните хранилища и генератори от ВИ с цел повишаване на сигурността и автономността на обектите присъединени към мрежа НН.
5. Повишаване на балансираността на генерацията и потреблението на електрическата енергия в разпределителните мрежи ще намали необходимостта от инвестиции за изграждане на преносни мрежи.

ГЛАВА III. Реализация на концепция за управление на електроразпределителната мрежа с включена интелигентна измервателна система.

III.1. Основни фактори влияещи върху успешното внедряване на ИИС

В основата на концепцията за управление на електроразпределителната мрежа (ЕРМ) с участието на ИИС е заложено управлението на потребители, производители и хранилища на електроенергия, присъединени към електроразпределителната мрежа. Целта е ИИС да въведе относително нов модел на взаимодействие между всички присъединени към ЕЕС, както и на тези, които я управляват, който да ги стимулира да интегрират интелигентно действията си осигурявайки:

- обслужване на присъединяването и дейността на генератори от всякакъв вид и технологии;
- предоставяне на възможност на консуматорите да участват активно за оптималната работа на системата;
- разширяване на възможността за балансиране на системата, включително управление на хранилища за електроенергия.

Тези модели предполагат сложни, освен координационни и финансови взаимоотношения, поради това не всички регулаторни органи имат капацитета и ресурса да разработят успешни такива. Предлаганите от ИИС услуги и възможности все още не се приемат с охота от обществото [22]. Не на последно място са техническите въпроси, в които освен процесите на внедряване следва да бъдат включени и последващите експлоатационни. В контекста на реализация на концепцията за управление на ЕРМ с



Фигура 3.1 Основни фактори влияещи върху успешното внедряване на ИИС

включена ИИС следва да се вземат под внимание всички гореспоменати въпроси. В настоящата глава са разгледани основните аспекти на регулационните, социалните и техническите въпроси, свързани с внедряването на ИИС, като ключови фактори за успешната реализация.

III.1.1. Социален аспект

Енергийният пазар продължава да е в процес на съществени промени. Навлизането на новите технологии и политическата решителност дават шанс за нови възможности и перспективи, а с това и много повече потребители в бъдеще да трансформират своето участие на пазара от пасивно в активно. Клиентите ще имат централна роля в новите пазарни условия, за което и техните ползи от това, следва да бъдат максимизирани [66].

Познаването и разбирането на поведението на клиентите и това как те да бъдат ангажирани към случващите се промени на пазара, е от съществено значение за отключването на пазарния потенциал.

Най-общо ключовите фактори за цялостен успех са: наличието на ясни пазарни правила относно модел, участници, доставка, отчитане, фактуриране на енергията; осигуряването на олекотена процедура при промяната на доставчик, координатор и т.н.; надеждни устройства и система за автоматизация, която да не компрометира неприкосновеността, надеждността и сигурността за клиента; ясна, разбираема и навременна комуникация към клиентите.

III.1.2. Регулаторен аспект

Една от основните цели на законодателството в сферата на електроенергетиката е да регламентира нормите на поведение и взаимоотношения между всички присъединените към ЕЕС и нейният оператор, както от оперативна така и от финансова гледна точка [8, 12]. В съвременните ЕЕС са преплетени интересите на търговци на електроенергия, производители от ВИ, производители на електроенергия от конвенционални източници, доставчици на системни услуги, операторите на преносната и разпределителните мрежи и не на последно място потребителите на електроенергия. Всички по веригата до клиента се стремят към реализация на максимални икономически резултати, а клиентите очакват предоставянето на електроенергия с високо качество на възможно най-ниска цена. Постигането на баланс между всички гореспоменати интереси, при осигуряване на техническа стабилност на ЕЕС, прави задачата на законодателя изключително трудна [27, 107].

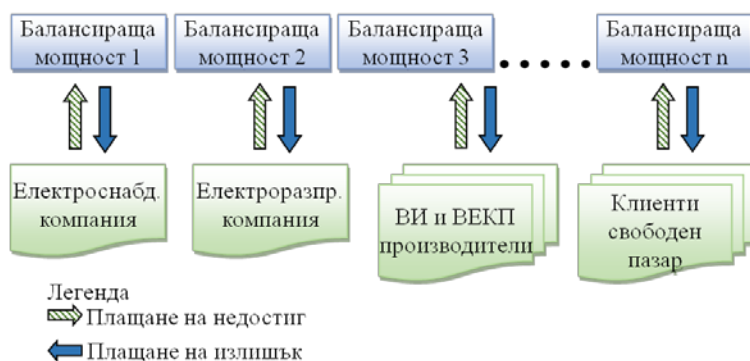
Както е видно на Фигура 1.2, в контекста на внедряването и използването на ИИС, основен недостатък на действащия към момента пазарен модел е администрирането на разходите за балансираща енергия само и единствено от „Електроенергийния системен оператор” (ЕСО) т.е. ЕСО е посредник винаги между потребителите и доставчиците на балансираща енергия.

Това води до относително сложна финансова архитектура тъй като финансовите потоци са веднъж от съответният получател на балансираща услуга към ЕСО и втори път съответно от ЕСО към доставчиците на балансиращи услуги [1].

Друго характерно за действащия към момента модел е изключително малкия брой на доставчици на балансираща мощност, предимно собственост на „Националната електрическа компания”. Това, освен че създава предпоставка за монополно поведение от страна на собствениците на балансиращи мощности, съответно високи цени за балансираща енергия, на практика ограничава предлаганите на балансиращи услуги, които биха могли да бъдат предоставяни при наличието на ИИС [27].

При определянето на единичната крайна цена на балансиращата енергия, за всеки период на сепаративен, се съблюдава покриването на разходите на всички доставчици на балансираща енергия за периода [18]. Определянето на цената за балансиращата електроенергия се извършва от ЕСО, съгласно изискванията на [14]. Методиката е частично непрозрачна и това от своя страна поражда съмнения в потребителите на балансираща електроенергия, относно справедливостта на определената цена.

Всички гореспоменати недостатъци могат да бъдат преодолени с минимални законодателни промени, които да позволят директно взаимодействие между получателите и доставчиците на балансираща енергия, каквито в частност са управляваните чрез ИИС товари и хранилища. Предложеният модел на взаимодей-



Фигура 3.2 Опростен модел на уреждане на финансови взаимоотношения между участниците на пазара на балансираща енергия, присъединени към ЕРМ

иствие е илюстриран на Фигура 3.2.

Прилагането на този пазарен модел за балансиращи мощности ще доведе до конкурентност при предлагането на балансираща енергия тъй като ще се включат и други доставчици на балансиращи услуги. Поради директните взаимоотношения между доставчик и ползвател на услуга, пътят на финансовите потоци ще бъде намален двойно и съмненията относно определянето на цената на услугата ще отпаднат [22, 103].

III.1.3. Технически аспекти

III.1.3.1. Техническа концепция и архитектура

Внедряването на ИИС изисква еднократно значителни първоначални инвестиции и в следствие оперативни разходи за осигуряване на комуникационни канали и поддръжка на системата, които в общия случай следва да бъдат направени от оператора на електроразпределителната мрежа.

Изборът на комуникационната архитектурата на системата, както и вида на нейните компоненти е определящ за инвестиционните и оперативните разходи. Успоредно с това избора на система трябва да бъде съобразен с действащите нормативни изисквания, спецификите и ограниченията налагани от социалната среда и целта на внедряване на системата. Правилната концептуална архитектура на системата е предопределяща за успешното внедряване и последващо обслужване.

При изготвяне на техническата архитектура следва да се обърне внимание минимум на следните основни въпроси [89, 151]: измерваните данни и периодичност на измерванията, които са в основата на всяка една концептуална архитектура; необходимост от събиране на данни от други измервателни устройства; състоянието на мрежа НН, която е от изключителна важност при използването на PLC (Power Line Carrier) комуникация между електромера и концентратора на данни; физическа възможност за монтаж на устройствата на мястото на съществуващите; квалификация и готовност на персонала да работи с нова технология; наличие на покритие на мобилните оператори; възможност за диверсификация на доставките на компоненти на ИИС. Всички специфики следва да бъдат разгледани и оценени съвместно с икономическата и социалната част на задачата по внедряване на ИИС.

III.2. Внедряване и обслужване

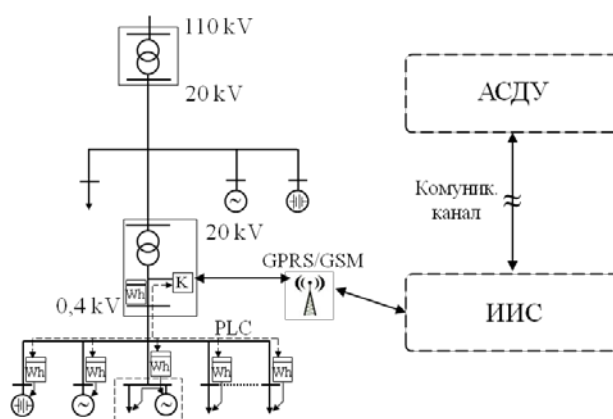
III.2.1. Внедряване

За целите на определяне на разходите е необходимо да се разгледа конкретна комуникационна архитектура на ИИС. Една от най-разпространените архитектури е комуникация между електромер / управляем уред и концентратор на данни, монтиран в трансформаторна подстанция СрН/НН, по линии ниско напрежение (Power Line Carrier) и съответно комуникация между концентратор на данни и център на системата по GPRS [99, 151]. Система с такава архитектура е внедрената в трите електроразпределителни дружества в България. На Фигура 3.3 е показана архитектурата на ИИС и връзките между елементите ѝ.

Основните предимствата на тази архитектура са: галваничната връзка между електромер и концентратор на данни; електромера е едно устройство, включващо електромер, комутатор и комуникатор; комуникационният канал между АСДУ и ИИС се осъществява чрез интерфейс, като по този начин се запазва независимостта на оператора ЕРМ.

За основни недостатъци може да се считат: относителната несигурност на предаване на данни чрез PLC комуникационен канал; необходимостта от подмяна на цялото устройство при дефект само на единият от вградените компоненти.

След концептуалната, следва фазата на определяне на необходимите за внедряването и поддръжката финансови ресурси, следван от процеса на внедряване. Процесът по внедряване изисква монтаж на хардуерното оборудване за програмното осигуряване на системата, инсталиране на софтуера на системата, изграждане и осигуряване на необходимите вътрешни връзки между компонентите на ИИС, както и двупосочни връзки с други системи.



Легенда:
 WH – Електромер T – Консуматор H – Хранилище на електроенергия
 K – Концентратор G – Генератор от ВИ
 Фигура 3.3 Елементи и комуникационни канали на ИИС

На Фигура 3.4 е показана типичната ИТ инфраструктурата, вътрешните и външните връзки на разглежданата ИИС.

Всички вътрешни и външни връзки трябва да бъдат изградени със съответното ниво на сигурност на данните, чрез изграждане на защитни стени, използване на наети линии, VPN, комуникация от точка до точка (point-to-point), допускане на данни с точно определен формат и т.н.

Центърът на системата се състои от архитектура с три взаимно свързани сървъра – съхранение на данни, апликационен и комуникационен.

Архитектурата с три отделни сървъра позволява разпределението на необходимите оперативни ресурсите между трите сървъра. Увеличаването на капацитета на системата изисква разширение на капацитета само на необходимия сървър. Тъй като ИИС има съществена значимост и нейната неработоспособност може да доведе до преки и косвени щети на оператора на мрежата и неговите клиенти е препоръчително за се осигури резервно захранване на сървърите, като се съблюдава принципа за 100 % резервираност [124].

Наличието на ИТ инфраструктурата и вътрешните връзки на ИИС е задължително условие за започване на монтажа на полеовото оборудване, тъй като ИИС позволява да се следи прогреса по монтаж. Освен това е препоръчително комуникацията на електромерите със системата да се установява непосредствено след монтажа.

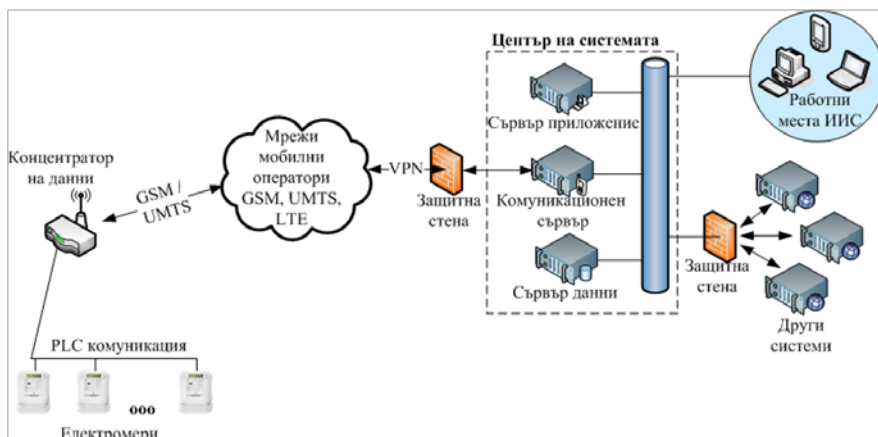
Монтажът на полеовото оборудване е амбициозна организационна и координационна задача. Задължително и необходимо условие е подготовката на необходимия брой монтажни специалисти, поради факта, че системата е специфична и наличните специалисти нямат необходимата квалификация за монтаж на оборудването и проверка на комуникацията на крайните устройства с центъра на ИИС.

Друго условие за започването на монтажните дейности е наличието на всички устройства за обслужване на системата, като: измервателно оборудване за PLC комуникацията; ръчни терминали за включване и изключване на електромерите на място; компютърно оборудване и периферия за програмиране на електромерите на място; софтуер за сервизно обслужване и проверка на електромерите в лабораторни условия. Липсата на кое да е от гореизброеното оборудване може да застраши успешното внедряване на системата.

III.2.2. Последващо обслужване

Както всяко друго оборудване, ИИС изисква обслужване. Както вече беше отбелязано, системата има множество компоненти, обезпечаващи: измерване на електрическа енергия; комутация на електромера; комуникация между електромера и концентратора на данни; събиране и конвертиране на данните от електромера към центъра за управление на системата и обратно; комуникация между концентратора на данни и центъра за управление на системата; обработка на данните от електромерите; управление и програмиране на електромерите и връзка с други системи. Обслужването и отстраняването на техническите проблеми в работата на всички изброени компоненти, освен последните два, изискват посещение на място от персонал с познания в областта както на първичното мрежово оборудване, така и на комуникациите и са задължение на експлоатационните звена на оператора на електроразпределителната мрежа.

В общият случай, поради новите елементи на ИИС, операторите на електроразпределителната мрежа не разполагат с необходимия ресурс от подготвен персонал, който да има познания както по първичната част на оборудването така и в комуникационните технологии, за извършване на основните функции по поддръжка на ИИС. Масово внедряване на ИИС, без необходимия персонал би довело до невъзможност за обслужване и като краен резултат непостигане на целите за които е внедрена системата. Поради това е от голяма важност експлоатационният състав на оператора на електроразпределителната мрежа да бъде подготвен, преминавайки необходимите квалификационни курсове за работа с компонентите и сервизното оборудване на системата преди започване на масовото внедряване.



Фигура 3.4 Типичната ИТ инфраструктура, вътрешни и външни връзки на разглежданата ИИС

III.3. Изводи

- Успешното внедряването и използване функциите на ИИС изисква определена регулаторна рамка. Част от функциите на системата засягат крайните битови потребители на електрическа енергия и тяхното внедряване ще доведе до определени промени в характера и навиците на потребление. В технически аспект, поради сложността си, системата ще доведе до промени в работата на оператора на електроразпределителната мрежа. Поради това за успешното внедряване на ИИС следва да бъдат разгледани заедно регулаторните, социалните и техническите аспекти.
 - В социален аспект, като основна трудност може да се очаква резистентната на битовите клиенти за използване на функциите на ИИС. Това произхожда най-вече от съмнението на клиентите относно възможностите на технологията да осигури ниво на комфорт еквивалентно на това при конвенционалното електропотребление. За преодоляване на недоверието е необходимо да се предвидят необходимите информационни и разяснителни кампании, както и внедряване на ИИС с необходимото ниво на надеждност.
 - Инвестициите за подмяна на съществуващото домашно електрооборудване с ново, обезпечаващо функциите на ИИС по отношение на предоставяне на системни услуги, са съществени. Поради това те следва да бъдат стимулирани със съответните адекватни ценови пакети. Препоръчително е при закупуване на ново оборудване, същото да бъде с възможност за работа с ИИС, което може да бъде постигнато чрез подходящи информационни кампании, особено за райони в които се очаква внедряване на системата.
 - Използването на функционалността на системата, свързана с предоставянето на балансиращи услуги, изисква да бъдат извършени минимални корекции в законодателството позволяващо директни взаимоотношения между ползватели и доставчици на балансираща електроенергия. Това ще доведе допълнително до повишаване на конкурентността и прозрачността във формирането на цените за балансиращи услуги.
 - Техническата концепция и архитектурата на системата са в основата на нейното внедряване. При тяхната разработка трябва да се вземат под внимание нормативните изисквания и ограничения, целта на внедряването на системата, нейните функции и очакван максимален капацитет по отношение на брой крайни устройства и данни, които да се събират от тях.
 - Като част от изграждането на ИИС се изгражда и мащабна комуникационна инфраструктура, която може да се използва за събиране на данни от други измервателни устройства на комунално битови услуги. Синергията от такъв процес може да доведе до значителни икономии. Поради това е препоръчително при изготвяне на концепцията и архитектурата на ИИС да се разгледат тези възможности.
 - Комуникационната инфраструктура на системата следва да бъде много внимателно подбрана, тъй като е един от основните компоненти, определящ последващите експлоатационни разходи за системата.
 - Един от основните компоненти на системата е електромера. Електромер за директно измерване на електроенергия от ИИС е съвкупност от електромер, комуникатор и комутатор. Наличните на пазара системи предлагат трите компонента в един корпус или три отделни устройства. Избора на устройство има пряко въздействие върху първоначалната инвестиция, надеждността и нивото на сложност на поддръжка на системата от експлоатационния персонал. Препоръчително е по време на концептуалната фаза въпросите свързани с това да бъдат разглеждани в необходимата детайлност.
 - Успешното внедряване и последваща работа на системата изисква да бъдат извършени следните дейности преди започване на монтажа на крайните устройства:
 - изграждане на необходимата IT инфраструктура;
 - доставка на всички сервизни компоненти за обслужване на системата;
 - осигуряване на обучен персонал с необходимата численост за работа със системата и обслужване на крайните устройства.
- Неизпълнението на кое да е от гореспоменатите условия би довело до намаляване на вероятността за успешно внедряване на ИИС.

ГЛАВА IV. Математични модели за оценка ефектите от внедряването на интелигентна измервателна система, като част от управлението на електрическа разпределителна мрежа.

В настоящата глава са представени инструментите за извършване на оценка на ефекта от внедряването на интелигентната измервателна система.

Основните етапи за извършване на оценката са: оценка на разходите и ползите от внедряването; остойностяване на ползите от внедряването; определяне на срок на откупуване на инвестицията.

За остойностяване на ползите от внедряване на интелигентната измервателна система по отношение на управление на товарите, като основна функция по отношение на интеграцията ѝ към интелигентните мрежи, е разработен алгоритъм за оценка.

IV.1. Оценка на разходите и ползите от внедряването

Оценката на разходите и ползите от внедряването на интелигентната измервателна система е направена съгласно „Насоките за оценка на разходите и ползите от внедряването на интелигентни измервателни системи” [99] и „Насоки за извършване на оценка на разходите и ползите от внедряването на интелигентни мрежи” на ЕС [98].

IV.1.1. Разходи за внедряването на ИИС

Исходната база за определяне на разходите за внедряване и обслужване на ИИС е техническата архитектура предложена в предходния раздел. Общите инвестиционни разходи се получават по следната формула

$$C_{INV} = N_{1ph.MET} * (C_{1ph.MET} + C_{Inst.1ph.MET} + C_{SW}) + \\ + N_{3ph.dir.MET} * (C_{3ph.dir.MET} + C_{Inst.3ph.dir.MET} + C_{SW}) + \\ + (N_{3ph.ind.CUST.MET} + N_{3ph.ind.BAL.MET}) * (C_{3ph.ind.MET} + C_{Inst.3ph.ind.MET} + C_{SW}) + \\ + N_{ROUTER} * (C_{ROUTER} + C_{Inst.ROUTER}) + N_{SERV.EQ} * C_{SERV.EQ}, \quad (4.1)$$

където $N_{1ph.MET}$ - брой монофазни електромери, $N_{3ph.dir.MET}$ - брой трифазни директни електромери, $N_{3ph.ind.CUST.MET}$ - брой клиентски трифазни индиректни електромери, $N_{3ph.ind.BAL.MET}$ - брой балансови трифазни индиректни електромери, N_{ROUTER} - брой концентратори на данни, N_{TR} - брой трансформатори СрН/НН, $N_{SERV.EQ}$ - брой сервизни уреда за обслужване на устройствата на системата, $C_{1ph.MET}$ - цена на монофазен електромер, $C_{3ph.dir.MET}$ - цена на трифазен директен електромер, $C_{3ph.ind.MET}$ - цена на трифазен индиректен електромер, C_{ROUTER} - цена на концентратор на данни, $C_{Inst.1ph.MET}$ - цена за монтаж на монофазен електромер, $C_{Inst.3ph.dir.MET}$ - цена за монтаж на трифазен директен електромер, $C_{Inst.3ph.ind.MET}$ - цена за монтаж на трифазен индиректен електромер, включително измервателни трансформатори и клеморед, $C_{Inst.ROUTER}$ - цена за монтаж на концентратор на данни, C_{SW} - цена на софтуер за обслужване на системата, $C_{SERV.EQ}$ - цена на сервизно оборудване за обслужване на концентратори на данни и електромери.

IV.1.2. Ползи от внедряването на ИИС

Внедряването на интелигентните измервателни системи води не само до количествени, но и до качествени подобрения. Не всички ползи биха могли да се измерят финансово. Поради тази причина ползите от внедряването на ИИС се делят на такива, които могат да бъдат финансово измерени и такива, които не могат да се измерят финансово.

IV.1.2.1. Финансово измерими ползи

В условията на българската електроенергетика могат да бъдат идентифицирани следните ползи: намаляване на нетехническите загуби на електроенергия в следствие на функцията на ИИС да предоставя данни за почасов енергиен баланс в края на всяко денонощие; намаляване на разходите за отчет на електромери, посредством функцията на ИИС за дистанционен отчет; намаляване на разходите за прекъсване; подобряване на събираемостта на вземанията; доставка на системни услуги, чрез възможностите на системата за управление на товарите.

IV.1.2.2. Финансово неизмерими ползи

Финансово неизмеримите ползи могат да се обобщят в следните направления: по-добра информираност на клиентите за разхода на електроенергия, промяна на енергийната култура на домакинствата и икономия в следствие на това; възможност за гъвкави цени според сезона и частта от денонощието; възможност за динамични промени на ценовите схеми; възможност за динамична промяна на доставчика на електроенергия; възможност за предоставяне на предплатени услуги; намаляване на разходите за

обслужване на клиенти; възможност за оптимален анализ на потреблението, разработване и предлагане на нови и иновационни продукти; облекчаване на процесите по фактуриране на консумираната електроенергия; мониторинг на потреблението и осигуряване на исторически данни, чрез което се постига максимално уплътняване на наличните капацитети и подобряване на планирането на развитието на мрежата; подобряване на процесите по прогнозиране на потребление и производството за целите на либерализирания пазар на електроенергия; ограничаване на консумацията по мощност; намаляване на чисто техническите загуби; подобряване на качеството на доставяната електроенергия; локализиране на предаварийни състояния на елементи от мрежата. Неминуемо, голяма част от гореспоменатите приноси ще доведат до качествени изменения, които в определен момент ще предизвикат количествени или финансови подобрения.

IV.2. Остойносттаване на ползите от внедряването

Условно, за създаването на модела за остойносттаване, ползите са разделени на такива от оптимизация на разходите по разпределение на електроенергия и от предоставянето на системни услуги. Ползите от оптимизация на разходите включват намаляването на нетехническите загуби на електрическа енергия, както и на разходите за отчет и прекъсване.

IV.2.1. Ползи от оптимизация на разходите по разпределение на електроенергия

Моделът за остойносттаване на ползите по отношение на намаляването на нетехническите загуби на електроенергия и намаляването на разходите за отчет и прекъсване е изготвен въз основа на сравнение на разходите, които операторът на електроразпределителната мрежа има при наличието на конвенционални електромери и разходите при внедрена ИИС за гореспоменатите направления. При наличие на съответните данни, моделът може да бъде приложен от най-малката единица в мрежата, а именно трансформаторна подстанция, до национален мащаб.

- Разходи при наличието на конвенционални електромери

Разходите за отчет и прекъсване могат да се получат от следния израз.

$$C_{READ/DISC.conv} = N_{CUST} * N_{READ} * C_{MAN.READ} + N_{DISC} * C_{CON/DISCON}, \text{ лв.} \quad (4.4)$$

където N_{CUST} - брой клиентски електромери, N_{READ} - брой на извършените отчети, $C_{MAN.READ}$ - цена за отчет на електромер от отчетник на място, N_{DISC} - среден брой на прекъсванията за месец, $C_{CON/DISCON}$ - цена за прекъсване и възстановяване на електромер от електромонтьор на място.

Технологичните разходи за разпределение на електрическа енергия могат да се определят по следния израз.

$$C_{\Delta Econv} = (\Delta E\%_{TECH} + \Delta E\%_{NONTECH}) * E_{SUP} * C_{LOSS}, \text{ лв.} \quad (4.5)$$

където $\Delta E\%_{TECH}$ - технически загуби, $\Delta E\%_{NONTECH}$ - нетехнически загуби, E_{SUP} - доставена електроенергия на НН в района, C_{LOSS} - цена на електроенергията за покриване на технологичните разходи.

Въз основа на изразите (4.4) и (4.5) могат да бъдат определени общите разходи при наличието на конвенционални електромери

$$C_{conv} = C_{READ/DISC.conv} + C_{\Delta Econv}, \quad (4.6)$$

- Разходи при наличието на ИИС

Разходите за отчет и прекъсване при наличието на ИИС могат да се определят по следната формула.

$$C_{READ/DISC.smart} = (N_{CUST} + N_{3ph.ind.BAL.MET}) * C_{IT} + N_{ROUTER} * C_{GPRS}, \quad (4.8)$$

където C_{IT} - разходи за годишно обслужване на IT системата приведени към електромер, C_{GPRS} - разходи за комуникационна SIM карта за месец,

Тъй като при PLC комуникация един концентратор на данни обслужва електромерите захранени от един трансформатор, то броят на концентраторите на данни е равен на броя на трансформаторите.

$$N_{ROUTER} = N_{TR} \quad (4.9)$$

Технологичните разходи за разпределение на електрическа енергия могат да се определят по следния израз.

$$C_{\Delta Esmart} = \Delta E\%_{TECH} * E_{SUP} * C_{LOSS} \quad (4.10)$$

На база на изразите (4.8) и (4.10) могат да бъдат определени общите разходи при наличието на интелигентни измервателни средства

$$C_{smart} = C_{READ/DISC.smart} + C_{\Delta Esmart} \quad (4.11)$$

Съгласно данните поместени в [16], при наличието на конвенционални електромери електроразпределителните дружества не могат да поддържат нивото на технологичните разходи на нивото на техническите загуби в мрежата т.е. има определено ниво на нетехнически загуби, което дружествата не биха могли да минимизират при такива средства за измерване.

IV.2.2. Ползи от доставянето на системни услуги. Алгоритъм за оценка

Чрез възможностите на системата за управление на товарите, описани в Глава II е възможно да се редуцира пиковата мощност за даден регион, да се промени товаровият график на потребление, както и предоставянето на други системни услуги. Най-измеримите към момента, предвид действащото законодателство и практики, са: доставката на балансираща енергия за целите на свободния пазар; отлагане на инвестиции за увеличаване на капацитета на електроразпределителната, а дори и електропреносната мрежа.

За определяне на необходимите управляеми мощности, присъединени към мрежа ниско напрежение, както и финансовия и енергийния ефект от тяхното управление е разработен алгоритъм за симулиране на ефекта от внедряване на интелигентна измервателна система в разпределителната мрежа, с цел управление на товара. Алгоритъмът се основа на целева функция, която оптимизира разходите на балансиращата група за небаланс към доставчика на балансираща енергия. Тези разходи се намаляват чрез използването на по-евтини средства, а именно управляеми товари, хранилища и електромобили.

Алгоритъма включва модели на управляеми електроуреди, депа за съхранение на енергия, електромобили и производители на електроенергия от ВИ.

Работата на алгоритъма следва пазарния модел в Р България. Един изчислителен цикъл е денонощие, а изчисленията се извършват за всеки час, което е период на сетълмент съгласно изискванията на [18].

- Приети означения на величините участващи в математичния модел

Малка буква – обозначава променлива

Голяма буква – обозначава вектор или матрица

i - индекс на текущия интервал от време (15 min, 1h или др.)

k - индекс (номер) на устройство – управляем товар, хранилище или електромобил

n_i - общ брой на интервалите от време

n_{DR} - общ брой на товарите (електроуреди), които могат да бъдат управлявани

n_{BAT} - общ брой на хранилищата за електроенергия (батериите)

n_{EV} - общ брой на електромобилите

I - $1...n_i$ множество на симулираните интервали от време

DR - $1...n_{DR}$ множество на управляемите товари

BAT - $1...n_{BAT}$ множество на хранилищата (батериите)

EV - $1...n_{EV}$ множество на електромобилите

C_{DC}^+ - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цени за положителен небаланс (недостиг) за всеки интервал i , която координатора на балансираща енергия (КБГ) плаща на ЕСО, лв./MWh

C_{DC}^- - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цени за отрицателен небаланс (излишък) за всеки интервал i , която КБГ плаща на ЕСО, лв./MWh

C_{DR} - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цената, която КБГ плаща за управление на товарите (бойлери или др.) лв./MWh. В действителност това е отстъпката, която потребителите получават от регулярната цена за електроенергията

C_{RES}^+ - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цени за положителен небаланс за всеки интервал i , която ВИ заплащат на КБГ, лв./MWh

C_{RES}^- - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цени за отрицателен небаланс за всеки интервал i , която ВИ заплащат на КБГ, лв./MWh

C_{BAT}^+ - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цени на които хранилищата закупуват енергията от КБГ, лв./MWh

C_{BAT}^- - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цени на които хранилищата продават енергията на КБГ, лв./MWh

C_{EV}^+ - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цени на които електромобилите закупуват енергията от КБГ, лв./MWh

C_{EV}^- - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с цени на които електромобилите продават енергията на КБГ, лв./MWh

E_{DC}^+ - $\in R^{n_i \times 1}$ вектор с количество енергия положителен небаланс (недостиг) за всеки интервал i , което се реализира от цялата група на КБГ, MWh

- $E_{DC}^- \in R^{n_i \times 1}$ вектор с количество енергия отрицателен небаланс (излишък) за всеки интервал i , което се реализира от цялата група на КБГ, MWh
- $\Delta E_{DR} \in R^{n_i \times 1}$ вектор с количеството енергия, изразходена за потребителите участващи в регулируемия товар, за всеки интервал i , MWh
- $E_{RES}^+ \in R^{n_i \times 1}$ вектор с количеството енергия положителен небаланс (излишък) общо за всички ВИ, за всеки интервал i , MWh
- $E_{RES}^- \in R^{n_i \times 1}$ вектор с количеството енергия отрицателен небаланс (недостиг) общо за всички ВИ, за всеки интервал i , MWh
- $E_{BAT}^+ \in R^{n_i \times 1}$ вектор с общото количество енергия заредено в хранилищата, за всеки интервал i , MWh
- $E_{BAT}^- \in R^{n_i \times 1}$ вектор с общото количество енергия отдадено от хранилищата, за всеки интервал i , MWh
- $E_{EV}^+ \in R^{n_i \times 1}$ вектор с общото количество енергия заредено в хранилищата, за всеки интервал i , MWh
- $E_{EV}^- \in R^{n_i \times 1}$ вектор с общото количество енергия отдадено от хранилищата, за всеки интервал i , MWh
- $E_{REQ} \in R^{n_i \times 1}$ вектор със заявената от КБГ (ден по-рано) енергия за всеки интервал i , MWh
- $E_{REAL} \in R^{n_i \times 1}$ вектор с реализираната от КБГ енергия за всеки интервал i , при реализацията на пазара, MWh
- $E_{PERM,Load} \in R^{n_i \times 1}$ вектор с енергията на неуправляемата част от товара, за всеки интервал i , MWh
- $E_{RES,REQ} \in R^{n_i \times 1}$ вектор със заявената от ВИ (ден по-рано) енергия за всеки интервал i , MWh.
- $ST_{DR} \in R^{n_i \times n_{DR}}$ матрица със състоянието на всеки управляем товар $\{0,1\}$, във всеки интервал от време i
- $E_{DR} \in R^{n_{DR} \times 1}$ вектор с енергията, която всеки управляем товар консумира за един интервал време, MWh
- $ST_{DR,REQ} \in Z^{n_{DR} \times 1}$ вектор, указващ в колко от интервалите всеки управляем товар трябва да работи в рамките на симулирания период от време, за да удовлетвори нуждите на клиентите, MWh
- $\Delta e_{BAT}^+ \in R$ количеството енергия заредено в едно от хранилищата, в даден интервал от време, MWh
- $\Delta e_{BAT}^- \in R$ количеството енергия отдадено от едно от хранилищата, в даден интервал от време, MWh
- $\Delta e_{BAT,init} \in R$ първоначално количество заряд налично в едно от хранилищата, при стартиране на симулацията, MWh
- $e_{BAT,maxCap} \in R$ максимално количество заряд което може да се съхранява в едно от хранилищата (максимален капацитет), MWh
- $\Delta e_{BAT,max}^+ \in R$ максимална скорост на заряд на хранилището, т.е. максималното количество, което то може да поеме за един интервал от време, MWh
- $\Delta e_{BAT,max}^- \in R$ максимална скорост на разряд на хранилището, т.е. максималното количество, което то може да отдаде за един интервал от време, MWh
- $\Delta e_{EV}^+ \in R$ количеството енергия заредено в един електромобил, в даден интервал от време, MWh
- $\Delta e_{EV}^- \in R$ количеството енергия отдадено от един електромобил, в даден интервал от време, MWh
- $ST_{EV} \in Z^{n_{EV} \times n_i}$ матрица със състоянието на всеки електромобил $\{0,1\}$, във всеки интервал от време i - включен или изключен от електроенергийната мрежа
- $e_{EV,init} \in R$ първоначално количество заряд налично в батерията на даден електромобил, при стартиране на симулацията, MWh
- $e_{EV,maxCap} \in R$ максимално количество заряд което може да се съхранява в батерията на електромобила (максимален капацитет), MWh
- $\Delta e_{EV,max}^+ \in R$ максимална скорост на заряд на батерията на електромобила, т.е. максималното количество, което тя може да поеме за един интервал от време, MWh

$\Delta e_{EV,max}^- \in R$ максимална скорост на разряд на батерията на електромобила, т.е. максималното количество, което тя може да отдаде за един интервал от време, MWh

$e_{EV,dischLevel} \in R$ ниво на заряда на батерията на електромобила, до което тя се разрежда след като автомобилът е бил използван, MWh.

За постигане на максималната полза, следва да се реши оптимизационната задача с целева функция и ограничения както следва.

- Целева функция

В алгоритъма се минимизира следната целева функция:

$$\begin{aligned} \min_x f(x) = & \left(C_{DC}^{+T} \cdot \Delta E_{DC}^+ + C_{DC}^{-T} \cdot \Delta E_{DC}^- \right) + \left(C_{DR}^T \cdot \Delta E_{DR} \right) \dots \\ & + \left(C_{BAT}^{-T} \cdot \Delta E_{BAT}^- - C_{BAT}^{+T} \cdot \Delta E_{BAT}^+ \right) + \left(C_{EV}^{-T} \cdot \Delta E_{EV}^- - C_{EV}^{+T} \cdot \Delta E_{EV}^+ \right) \dots \\ & - \left(C_{RES}^{+T} \cdot \Delta E_{RES}^+ + C_{RES}^{-T} \cdot \Delta E_{RES}^- \right) \end{aligned} \quad (4.13)$$

Трябва да се подчертае, че алгоритъма не е предназначен да работи в реално време, а да симулира ефекта от внедряването на ИИС върху разходите на КБГ и неговите клиенти. В този смисъл, за изследвания интервал, предварително е известно реализирания товаров график за частта от товара, която не подлежи на управление, както и реализираното производство от ВИ, т.е. реализацията на неопределеностите от ВИ. Последните скоби в (4.13) се отнасят до ВИ и както вече стана ясно се състоят от предварително известни данни. В този смисъл, те се явяват параметри и следва да бъдат извадени от целевата функция при нейното програмиране. В горното уравнение те присъстват само за пълнота при изясняването на икономическите отношения. Всички компоненти в (4.13), които са с положителен знак са разходи за КБГ, а онези с отрицателен - приходи.

- Ограничения

- Уравнение на баланс на енергията

$$\begin{aligned} - \left(E_{PERM,Load} - E_{RES,REQ} - \Delta E_{RES}^+ + \Delta E_{RES}^- - E_{REQ} \right) = & -\Delta E_{DC}^+ + \Delta E_{DC}^- \dots \\ & + \Delta E_{DR} + \Delta E_{BAT}^+ - \Delta E_{BAT}^- + \Delta E_{EV}^+ - \Delta E_{EV}^- \end{aligned} \quad (4.14)$$

- Управляеми товари

Уравнение за изчисляване на количеството енергия консумирано от управляемите товари:

$$0 = ST_{DR} \cdot E_{DR} - \Delta E_{DR} \quad (4.15)$$

Уравнение, с което се гарантира, че всеки управляем консуматор работи определен брой интервали в зададения период от време, за да удовлетвори нуждите на потребителите. С други думи, с това се гарантира, че кумулативната сума от енергиите при неуправляем товаров график ще е равна на тази при управляем:

$$ST_{DR,REQ,k} = \sum_{i=1}^{n_i} ST_{DR,i,k} \quad \forall k \in DR \quad (4.16)$$

- Възобновяеми източници

ВИ генерацията за простота се разглежда обобщено на ниво присъединени централи към КБГ. Като вход в алгоритъма се задава прогнозата за производство за ВИ $E_{RES,REQ}$, излишъка ΔE_{RES}^+ и недостига ΔE_{RES}^- . Тези данни за алгоритъма са единствено параметри, но не и променливи.

- Депа за съхранение на електрическа енергия (батерии)

Имплементацията на алгоритъма позволява всяко хранилище да бъде моделирано отделно. Въпреки това, за ускоряване на изчисленията се препоръчва хранилища със сходни характеристики да бъдат представени като едно с обобщени данни.

Уравнения за изчисляване на общото количество енергия приемано и отдавано от хранилищата за интервала i :

$$\begin{aligned} 0 = \sum_{k=1}^{n_{BAT}} \Delta e_{BAT,i,k}^+ - \Delta E_{BAT,i}^+ \quad \forall i \in I \\ 0 = \sum_{k=1}^{n_{BAT}} \Delta e_{BAT,i,k}^- - \Delta E_{BAT,i}^- \quad \forall i \in I \end{aligned} \quad (4.17)$$

Хранилищата са ограничени от нулева енергия до максималния им капацитет. Това математически ще се следи като за всеки интервал се следи сумата на входяща и изходяща енергия за всички предходни интервали плюс тази за текущия. Например за хранилище второ $k = 2$, за интервал трети, наличния заряд ще се получи като сума от входящата и изходяща енергия за интервалите 1, 2 и 3.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^z (\Delta e_{BAT,i,k}^+ - \Delta e_{BAT,i,k}^-) &\leq e_{BAT,maxCap} - \Delta e_{BAT,init,k} \quad \forall k \in BAT, \forall z \in I \\ -\sum_{i=1}^z (\Delta e_{BAT,i,k}^+ - \Delta e_{BAT,i,k}^-) &\leq \Delta e_{BAT,init,k} \quad \forall k \in BAT, \forall z \in I \end{aligned} \quad (4.18)$$

Хранилищата са ограничени и от енергията, която могат да поемат и отдават за един интервал от време. Може да има различно ограничение за заряда и разряда.

$$\begin{aligned} \Delta e_{BAT,i,k}^+ &\leq \Delta e_{BAT,max,k}^+ \quad \forall k \in BAT, \forall i \in I \\ \Delta e_{BAT,i,k}^- &\leq \Delta e_{BAT,max,k}^- \quad \forall k \in BAT, \forall i \in I \end{aligned} \quad (4.19)$$

○ Електромобили

Ще бъдат моделирани подобно на хранилищата. Разликата ще е в това, че ще има ограничения за периода, в който се извършва заряда и разряда, както и за готовността на автомобила за използване.

Уравнения за изчисляване на общото количество енергия приемано и отдавано от електромобилите за интервала i . Чрез въвеждането на променливата ST_{EV} се контролира това, когато автомобилите не са включени в мрежата и се разреждат, енергията на разряда им да не влиза в баланса на енергията на мрежата.

$$\begin{aligned} 0 &= \sum_{k=1}^{n_{EV}} \Delta e_{EV,i,k}^+ \cdot ST_{EV,i,k} - \Delta E_{EV,i}^+ \quad \forall i \in I \\ 0 &= \sum_{k=1}^{n_{EV}} \Delta e_{EV,i,k}^- \cdot ST_{EV,i,k} - \Delta E_{EV,i}^- \quad \forall i \in I \end{aligned} \quad (4.20)$$

Батериите на електромобилите са ограничени от нулева енергия до максималния им капацитет. Това математически ще се следи като за всеки интервал се следи сумата на входяща и изходяща енергия за всички предходни интервали плюс тази за текущия.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^z (\Delta e_{EV,i,k}^+ - \Delta e_{EV,i,k}^-) &\leq e_{EV,maxCap} - \Delta e_{EV,init,k} \quad \forall k \in EV, \forall z \in I \\ -\sum_{i=1}^z (\Delta e_{EV,i,k}^+ - \Delta e_{EV,i,k}^-) &\leq \Delta e_{EV,init,k} \quad \forall k \in EV, \forall z \in I \end{aligned} \quad (4.21)$$

Електромобилите са ограничени и от енергията, която могат да поемат и отдават за един интервал от време, т.е. скорост на заряд и разряд.

$$\begin{aligned} \Delta e_{EV,i,k}^+ &\leq \Delta e_{EV,max,k}^+ \quad \forall k \in EV, \forall i \in I \\ \Delta e_{EV,i,k}^- &\leq \Delta e_{EV,max,k}^- \quad \forall k \in EV, \forall i \in I \end{aligned} \quad (4.22)$$

Следващото условие автомобиля да е зареден до максималния си капацитет, в посочен от потребителя номер на интервал c :

$$\sum_{i=1}^c (\Delta e_{EV,i,k}^+ - \Delta e_{EV,i,k}^-) = e_{EV,maxCap,k} - \Delta e_{EV,init,k}, \quad \forall k \in EV, c \in I \quad (4.23)$$

Необходимо условие е автомобиля да е разреден до определено ниво, в посочен от потребителя номер на интервал d , за да може да се симулира разреждането в интервалите, в които автомобиля не е включен в мрежата и се използва по предназначение.

$$\sum_{i=1}^d (\Delta e_{EV,i,k}^+ - \Delta e_{EV,i,k}^-) = e_{EV,dischLevel,k} - \Delta e_{EV,init,k}, \quad \forall k \in EV, d \in I \quad (4.24)$$

○ Други

Неравенства гарантиращи, че следните променливи са само положителни числа:

$$-E_{DC}^+ \leq 0; -E_{DC}^- \leq 0; -E_{BAT}^+ \leq 0; -E_{BAT}^- \leq 0; -E_{EV}^+ \leq 0; -E_{EV}^- \leq 0 \quad (4.25)$$

Неравенства (4.25) позволяват използването на различни цени за положителен и отрицателен небаланс в целевата функция.

IV.3. Изводи

1. Ползите от внедряването на ИИС се делят на финансово измерими и неизмерими. Финансово измеримите ползи са в следствие на намаляване на загубите за разпределение на електрическа енергия, намаляване на разходите за отчет и прекъсване, подобряване на събираемостта на вземанията и предоставяне на системни услуги, свързани с доставка на балансираща електроенергия за целите на свободния пазар и с цел отлагане на инвестиции. Източници на балансираща електроенергия могат да бъдат управлявани от ИИС товари, електромобили или хранилища на електроенергия.
2. Адекватното оценяване на разходите и ползите от внедряването на ИИС изисква голям брой конкретна достоверна информация макар, създадените модели да са относително несложни от математическа гледна точка.
3. Създадения модел на минимизационна оптимизационна задача е с линейна целева функция и комбинирани ограничения от равенства и неравенства. За успешно решаване на задачата следва да се избере от Matlab подходящ метод за решаване на оптимизационни задачи с такава структура.
4. За да се установи пригодността и работоспособността на създадените модели е необходимо да се направи подходящо тестване.

ГЛАВА V. Тестване на създадените модели за оценка на ефектите от внедряването на ИИС.

V.1. Тестови случаи, входни данни и резултати

Разгледани са общо 6 случая за определяне на рентабилността от внедряване на ИИС. Първите четири случая са за градски район с мащаба на гр. Варна и различни нива на нетехнически загуби на електроенергия. Четирите варианта имат за цел да послужат за изчисляване на възвращаемостта на инвестициите в следствие на предоставените системни услуги свързани с намаляването на разходите за небаланс и въз основа на оптимизацията на разходите по разпределение на електроенергия. Петият тестови случай описва относително малък населен район със смесено потребление и съизмерими загуби на електроенергията като тези на електроразпределителното дружество. Целта на разглежданият случай е да се направи оценка на възможността за избягване на инвестиции в разширение на капацитета на електроразпределителната мрежа чрез предоставяне на системни услуги. Шестият случай е характерен район с агресивно население, висок процент на загуби и нисък процент на събираемост на вземанията. При този случай не се използват икономическите приноси в следствие на предоставяне на системни услуги тъй като за райони с такава специфика на електропотреблението на практика услугата е неприложима.

V.1.1. Инвестиционни и оперативни разходи

За получаването на резултати са използвани входни данни от различни документи, изготвени през различни години, както и такива основани на експертна оценка. В следствие на това е възможно да има неточност в общия краен резултат, но не по-голяма от 5 %. Важно е да се отбележи, че входните данни свързани с цените на електромерите, както и обслужващия софтуер, които са основен дял на разходите са взети от договор за доставка на СМАРТ система между електроразпределително дружество и доставчик на интелигентна измервателна система, описан в [9]. Входните данни и резултатите от (4.1) са изложени в Таблица 5.1.

Инвестиции ИИС	Сл. 1	Сл. 2	Сл. 3	Сл. 4	Сл. 5	Сл. 6
Брой монофазни електромери ¹	144 000				216	800
Брой трифазни директни електромери ¹	36 000				54	200
Брой трифазни индиректни електромери НН ¹	3 400				1	7
Брой концентратори на данни	1 900				1	7
Брой трансформатори СрН/НН ¹	1 900				1	7

¹ Допускане основано на практически опит

Инвестиции ИИС	Сл. 1	Сл. 2	Сл. 3	Сл. 4	Сл. 5	Сл. 6
Брой сервизни устройства ²	36				1	2
Цена на 1ф. електромер, лв. ³	110.00				110.00	110.00
Цена на 3ф. електромер, лв. ³	199.01				199.01	199.01
Цена на 3ф. индиректен електромер, лв. ³	155.00				155.00	155.00
Цена на концентратор на данни, лв. ³	1300.00				1300.00	1300.00
Цена за монтаж на 1ф. електромер, лв. ⁴	30.00				30.00	30.00
Цена за монтаж на 3ф. директен електромер, лв. ⁴	30.00				30.00	30.00
Цена за монтаж на 3ф. индиректен електромер, лв. ⁴	390.00				390.00	390.00
Цена за монтаж на концентратор на данни, лв. ²	30.00				30.00	30.00
Цена на софтуер за електромер, лв./електромер ³	1.63				1.63	1.63
Цена на сервизно устройство, лв. ³	1300				1300	1300
Инвестиционни разходи общо, хил. лв.	33 130				46	175

Таблица 5.1 Входни данни за изчисление на инвестиционни разходи за внедряване на ИИС и резултат от изчисленията

Входните данни и изчислените съгласно (4.6) и (4.11) оперативни разходи при наличие на съответно конвенционална и интелигентна измервателна система са показани в Таблица 5.2.

Оперативни разходи	Сл. 1	Сл. 2	Сл. 3	Сл. 4	Сл. 5	Сл. 6
Брой електромери НН	180 000				270	1 000
Електроенергия за разпределение на НН, MWh ⁵	936 889				450	6 200
Среден брой прекъсвания на година ²	60 000				90	576
Брой трансформатори СрН/НН ²	1 900				1	7
Брой отчети за година ⁶	12				12	12
Технически загуби от разпределение на ел. енергия, % ²	6.00				6.00	5.00
Нетехнически загуби на електроенергия, % ²	9.00	6.00	3.00	0.00	6.00	35.50
Разходи за отчет на електромер, лв./отчет ³	0.59				0.59	0.59
Разходи за прекъсване и възстановяване на клиент, лв./прек. и възст. ⁴	32.03				32.03	32.03
Разходи за SIM карта на година, лв./год. ²	36.00				36.00	36.00
Разходи за IT обслужване на системата на година приведени за един електромер, лв./год. ²	3.00				3.00	3.00
Цена на електроенергията за покриване на технологичните разходи, лв./kWh ⁷	0.03				0.03	0.03
Разходи при наличие на конвенционални електромери	Сл. 1	Сл. 2	Сл. 3	Сл. 4	Сл. 5	Сл. 6
Разходи за отчет и прекъсване, хил. лв.	3 199				5	26
Разходи за покриване на технологичните разходи за разпределение, хил. лв.	4 216	3 373	2 530	1 686	2	75
Общо, хил. лв./ год.	7 415	6 572	5 729	4 885	6	101
Разходи при наличие на ИИС	Сл. 1	Сл. 2	Сл. 3	Сл. 4	Сл. 5	Сл. 6
Разходи за отчет и прекъсване, хил. лв.	614				1	3
Разходи за покриване на технологичните разходи за разпределение, хил. лв.	1 686				1	9
Общо, хил. лв./ год.	2 301				2	13

Таблица 5.2 Входни данни за изчисление на оперативни разходи при наличие на конвенционална и интелигентна измервателна система и резултат от изчисленията

V.1.2. Приходи от оптимизацията на разходите по разпределение на електрическа енергия

Приходите от оптимизация на разходите по разпределение могат да бъдат определени като разлика между разходите при наличието на конвенционални електромери (4.6) и разходи при наличието на интелигентни измервателни средства (4.11)

² Допускане основано на практически опит

³ Доклад на КЕВР от Извършен одит на “Енерго-Про Мрежи” АД [9]

⁴ Ценоразписи на „ЕВН България Електроразпределение” ЕАД [30], „ЧЕЗ Разпределение България” АД [31], „ЕНЕРГО-ПРО Мрежи” АД [32]

⁵ Мотиви към ценово решение № Ц - 17 на КЕВР [16] и допускане основано на практически опит

⁶ Правила за измерване на количеството електрическа енергия [18]

⁷ Ценово решение No Ц - 12 на КЕВР [25]

$$S_{dc} = C_{conv} - C_{smart}, \text{ лв.} \quad (4.26)$$

	Сл. 1	Сл. 2	Сл. 3	Сл. 4	Сл. 5	Сл. 6
Икономия, лв.	5 114 517	4 271 317	3 428 117	2 584 917	4 760	88 302

Таблица 5.3 Годишни приходи от оптимизация на разходите за разпределение

V.2. Оптимизиране на разходите за небаланс на потребители

Всички изчисления, свързани с предоставянето на системни услуги са извършени въз основа на реални почасови данни за периода от 1 юни 2014 до 31 май 2015 т.е. за период от една година. Данните са предоставени от оператор на електроразпределителна мрежа и производители на електроенергия от ВИ. Данните за фотоволтаичната и вятърната електроцентрала са коригирани с коефициент с цел постигане на производство в размер на 10 % от потреблението. Коефициентите са съответно 3,30 и 1,35. Основните характеристики, свързани с пазара на електроенергия на потребителите, фотоволтаичната и вятърната електроцентрала са показани в таблица 5.4. Цените на електроенергията за небаланс за всеки период на сетълмент са официалните за страната, взети от интернет страницата на ЕСО [29].

Параметър	Мярка	Потребители	Фотоволтаик	Ветроген.
Потребление / Производство	MWh	936 983	93 697	93 697
Средногодишна консумация / производство за един час	MWh	107.0	10.7	10.7
Излишък	MWh	11 282	16 329	14 855
Максимална грешка излишък	MWh	24	50	35
	%	16.5	93.6	100.0
Средна грешка излишък	%	1,2	17.4	15.9
Недостиг	MWh	21 130	10 568	34 872
Максимална грешка недостиг	MWh	33	45	45
	%	26.2	1246.4	516.9
Средна грешка недостиг	%	2,3	11.3	37.2
Нетен годишен излишък/недостиг ⁸	MWh	-9 848	5 761	-20 017
Разходи за небаланс	лв.	5 135 877	3 737 397	8 563 351

Таблица 5.4 Основни характеристики на потребители, фотоволтаична и вятърна електроцентрали свързани с пазара на електроенергия

		Потребители	Фотоволтаик	Ветроген.
Потребление / Производство	%	100	10	10
Средна грешка излишък	%	100	1 450	1 325
Средна грешка недостиг	%	100	491	1 617

Таблица 5.5 Процентно съотношение на характеристиките на фотоволтаична и вятърна електроцентрали спрямо тези на потребителите

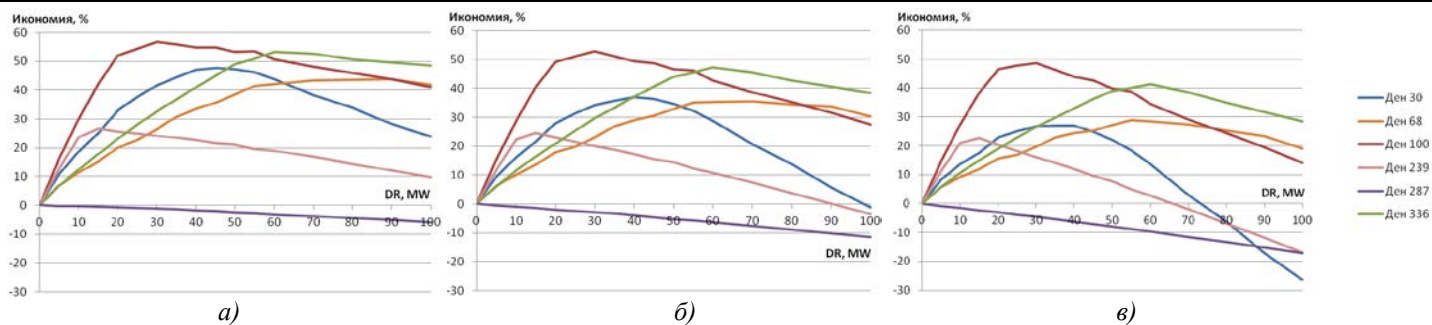
V.2.1. Чрез използването на управляеми товари

Най-често използваният принцип за заплащане на системни услуги, свързани с управлението на товарите на крайните потребители, присъединени към мрежа НН е чрез предлагане на електроенергия на по-ниска цена за управляемото електропотребление директно или под формата на отстъпка от текущата цена. Условие е за всеки 24 часа уреда да работи достатъчно дълго, осигурявайки желаната топлинна или охлаждаща енергия. С цел определяне на тенденциите за намаляване на разходите в следствие на предоставените системни услуги са направени изчисления за период от една година въз основа на реални данни. Изчисленията са направени с управляем товар с капацитет от 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90 и 100 MW и за всеки капацитет с отстъпка в цената на електроенергията съответно 20, 30 и 40 лв./MWh.

- Реализираната икономия при различни цени, управляеми мощности и периоди на определяне на управляемите товари

Намалението на разходи в проценти за шест дни, при различни цени на системните услуги и мощност на управляемите потребители са показани на Фигура 5.1.

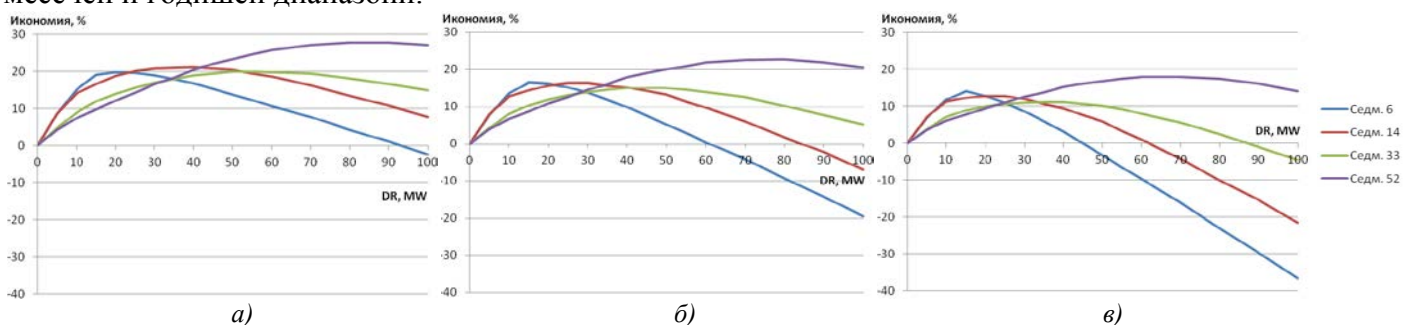
⁸ Нетното количество недостиг или излишък за период от една година „-“ недостиг, „+“ излишък



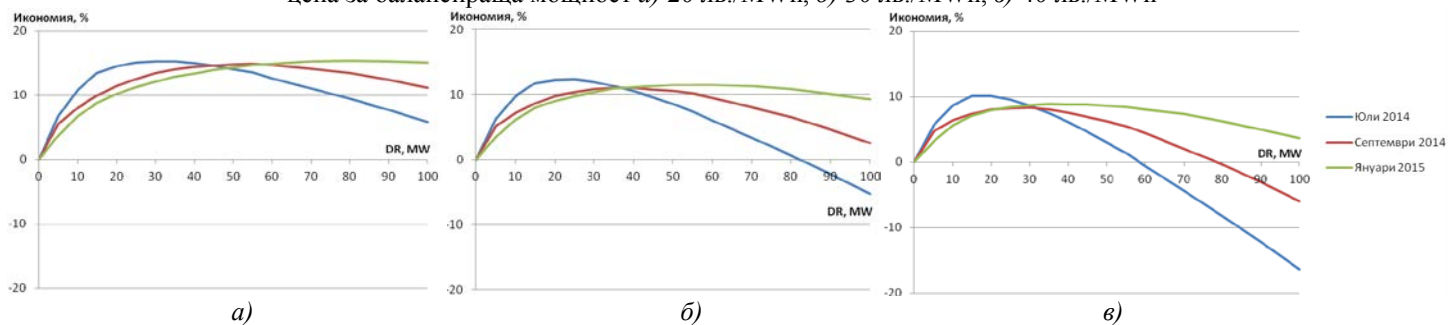
Фигура 5.1 Дневно реализирани икономии от разходи за небаланс при различни мощности на управляемия товар (DR) при цена за балансираща мощност а) 20 лв./MWh, б) 30 лв./MWh, в) 40 лв./MWh

Видно от резултатите, всеки един от дните има максимум при различна мощност на управляемото потребление т.е. ако за период от една година се вземат резултатите от дните с максимални икономии, в целия диапазон от управляеми мощности, то това ще доведе до най-високи финансови резултати от работата на системата.

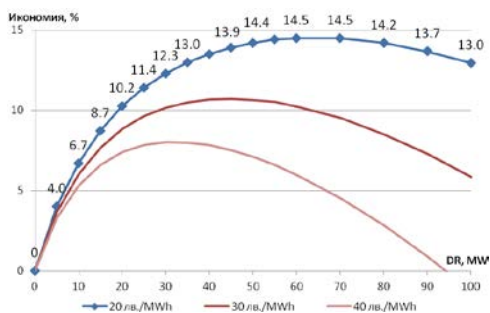
Освен дневно, капацитета може да се фиксира за по-голям интервал, примерно седмично, месечно или годишно. Изложените резултати във фигури 5.2, 5.3 и 5.4 показват тенденциите при седмичен, месечен и годишен диапазони.



Фигура 5.2 Реализирани икономии от разходи за небаланс при седмично фиксиран капацитет на управляемия товар (DR) при цена за балансираща мощност а) 20 лв./MWh, б) 30 лв./MWh, в) 40 лв./MWh



Фигура 5.3 Реализирани икономии от разходи за небаланс при месечно фиксиран капацитет на управляемия товар (DR) при цена за балансираща мощност а) 20 лв./MWh, б) 30 лв./MWh, в) 40 лв./MWh



Фигура 5.4 Реализирани икономии от разходи за небаланс при годишно фиксиран капацитет на управляемия товар (DR) при цени за балансираща мощност 20, 30 и 40 лв./MWh

Видно от резултатите изложени на фигури 5.1, 5.2, 5.3 и 5.4 функцията винаги има максимум при определена мощност. На Фигура 5.4 е видно, че при разход за балансираща услуга 20 лв./MWh, максимума на функцията е 14.5 % при 60 MW капацитет на управляемия товар, при 50 и 80 MW е 14.2 %. Въз основа на тази информация може да се оцени до какви финансови последствия ще доведе грешката при определяне на управляемата мощност.

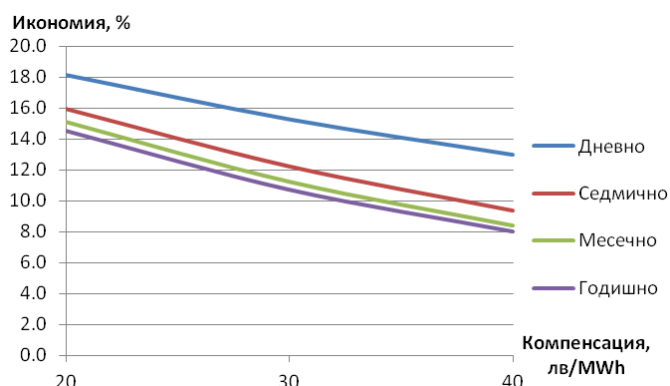
- Връзка между реализираната икономия и периода на договаряне на управляемите мощности.

От представените резултати на Фигури 5.1, 5.2, 5.3 и 5.4 е видно, че при дневно определяне на управляемите мощности има най-добър финансов ефект от работата на ИИС по отношение на предоставените балансиращи услуги. Направените изчисления с алгоритъма предоставят информация за различ-

ното ниво на реализираните икономии, въз основа на което може да вземе решение за периода на договаряне на управляемите мощности.

Отстъпка в цената, Цикъл на договаряне на управляемата мощност		лв./MWh		20	30	40
		лв.	%			
Дневно	лв.	930 698	783 508	665 772		
	%	18.1	15.3	13.0		
Седмично	лв.	819 543	628 034	480 477		
	%	16.0	12.2	9.4		
Месечно	лв.	775 870	576 979	431 490		
	%	15.1	11.2	8.4		
Годишно	лв.	744 184	550 276	412 259		
	%	14.5	10.7	8.0		

Таблица 5.6 Максимални годишни икономии на разходи за небаланс при различни цени на балансиращи услуги и периоди на договаряне на капацитета на управляемата мощност



Фигура 5.5 Максимални икономии за една година в проценти при различни цени за управление на товара и различни периоди на договаряне на капацитета на управляемия товар

Също така данните предоставят информация за връзката между цената на услугата и намалението на разходите за небаланс. Реализираната икономия от небаланс при управляемите товари е обратно пропорционална на размера на отстъпката, която се предоставя на управляемите товари за доставката на системни услуги, като функцията на намаляване на реализираните икономии има почти линеен характер. Информацията може да се използва при определяне на цената на балансиращата услуга.

- Връзка между мощността на стъпката на управление и реализираната икономия.

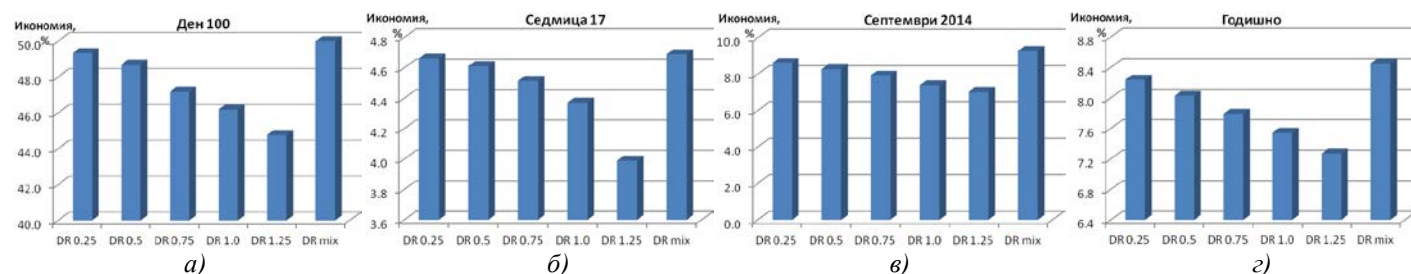
За реализация управлението на уредите на потребителите, в ИИС се формират групи на включване и изключване, към които в последствие ИИС подава команди. Освен това е възможно и наличието на единичен потребител с голяма инсталирана мощност. Алгоритъма предоставя възможност за залагане на различни стъпки на регулиране т.е. наличие на товари с различен управляем капацитет. Изчисленията са направени при управляем товар с капацитет 30 MW и отстъпка в цената за управляемия товар 40 лв./MWh. Стъпките на управление на тестовите случаи за извършване на изчисленията са показани в Таблица 5.7.

Тестови случаи	DR0,25	DR0,5	DR0,75	DR1,0	DR1,25	DRmix
Стъпка на управление, MW	120*0,5	60*0,5	40*0,75	30*1,0	24*1,25	81*0,5 45*0,1

Таблица 5.7 Тестови случаи и стъпки на управление на товара

Период \ Мощност	DR0,25	DR0,5	DR0,75	DR1,0	DR1,25	DRmix
Ден 100	49.3	48.7	47.2	46.2	44.8	50.0
Седмица 17	4.7	4.6	4.5	4.4	4.0	4.7
Септември 2014	8.6	8.3	7.9	7.4	7.0	9.3
Годишно	8.2	8.0	7.8	7.5	7.3	8.5

Таблица 5.8 Реализирана икономия в % при различна стъпка на управление на товара



Фигура 5.6 Реализирана икономия в % при различна стъпка на управление на товара за а) ден, б) седмица, в) месец, г) година

Видно от резултатите увеличаването на стъпката на управление е обратно пропорционално на размера на реализираната икономия. При използване на консуматори с различни мощности е възможно да се реализира максимална икономия от разходи за небаланс.

В.2.2. Чрез използване на електромобили

Подходящите методи за заплащане на системни услуги от страна на оператора на ЕРМ или КБГ на електромобилите, приложими в условията на българския пазарния модел са два [100, 157, 170]: оператора на ЕРМ или КБГ продава електроенергия на собственика на електромобила на определена цена, близка до пазарната цена на електроенергията и при последваща необходимост я купува на по-висока

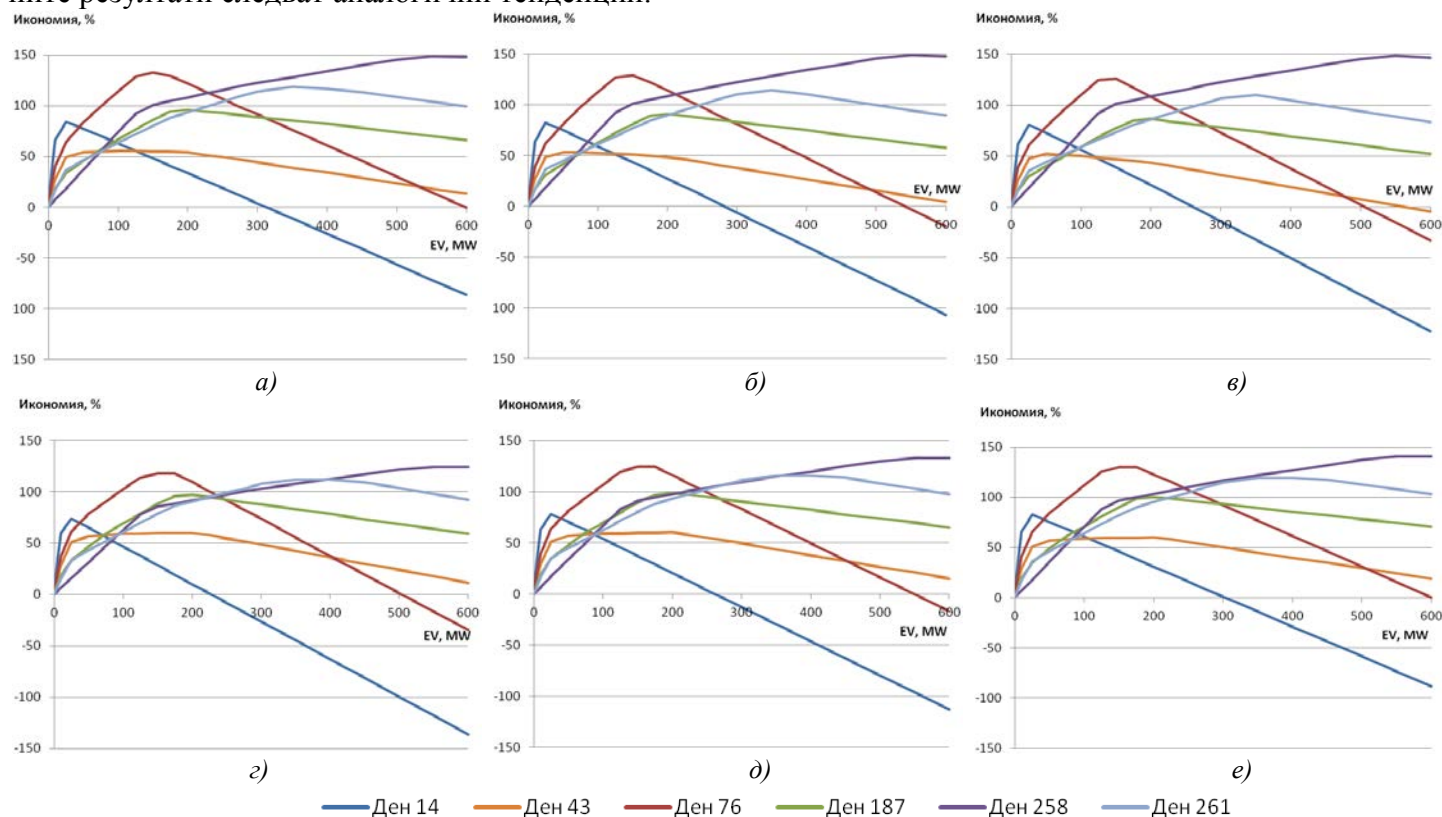
(метод „а”); оператора на ЕРМ или КБГ продава електроенергия на и купува от собственика на електро-мобиля на една и съща цена, която е по-ниска от пазарната (метод „б”). И в двата случая на собственика на електро-мобиля се гарантира пълен заряд в уговорения за това час.

Изчисленията за икономии в следствие на предоставените системни услуги са направени за период от една година въз основа на реални данни. Изчисленията са направени с електро-мобиля с капацитет от 5, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400, 450, 500, 550 и 600 MW. По двата описани метода са направени изчисления с финансови параметри посочени в Таблица 5.9.

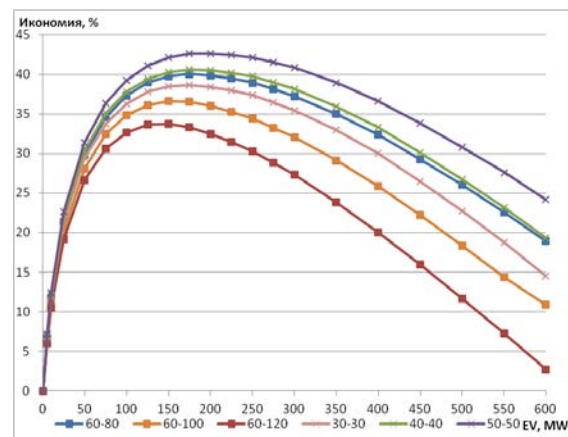
Цена \ Тестов случай	EV60_80 (метод а)	EV60_100 (метод а)	EV60_120 (метод а)	EV30_30 (метод б)	EV40_40 (метод б)	EV50_50 (метод б)
Електро-мобил купува, лв./MWh	60	60	60	30	40	50
Електро-мобил продава, лв./MWh	80	100	120	30	40	50

Таблица 5.9 Ценови параметри заложили за изчисления на тестови случаи

Дневните и годишните резултатите са представени на следващите фигури. Месечните и седмичните резултати следват аналогични тенденции.



Фигура 5.7 Дневно реализирани икономии от разходи за небаланс при различни мощности на електро-мобиля (EV) при цена за електро-мобил купува и продава а) 60-80 лв./MWh, б) 60-100 лв./MWh, в) 60-120 лв./MWh, г) 30-30 лв./MWh, д) 40-40 лв./MWh, е) 50-50 лв./MWh



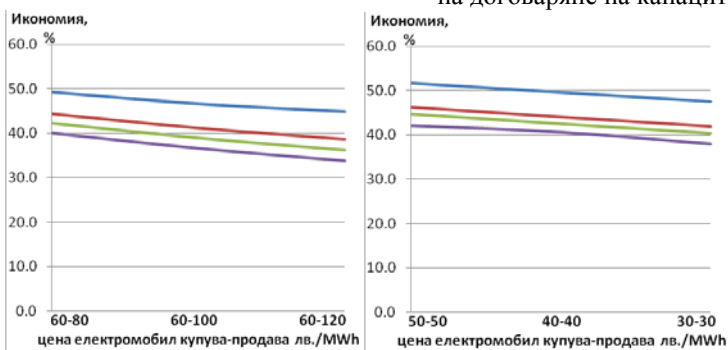
Фигура 5.10 Реализирани икономии от разходи за небаланс при годишно фиксиран капацитет на електро-мобиля (EV) при цена за електро-мобил купува и продава 60-80, 60-100, 60-120, 30-30, 40-40 и 50-50 лв./MWh

Видно от изложените функция винаги има максимум при определена мощност. При месечно договаряне е възможно да се достигне до 44,7 % намаляване на разходите за небаланс, като капацитета на необходимите електро-мобиля е в рамките на 100 до 400 MW през различните месеци. Както и при управляемите товари, въз основа на тази информация може да се оцени до какви финансови последствия ще доведе грешката при определяне на управляемата мощност.

- Връзка между реализираната икономия и периода на договаряне на мощността на електро-мобиляте.

Е-моб.куп.-прод. Цикъл договаряне лв./MWh		60-80	60-100	60-120	50-50	40-40	30-30
Дневно	лв.	2 530 608	2 397 911	2 308 367	2 654 165	2 546 903	2 440 689
	%	49.3	46.7	44.9	51.7	49.6	47.5
Седмично	лв.	2 276 269	2 116 806	1 988 519	2 382 424	2 265 217	2 153 757
	%	44.3	41.2	38.7	46.4	44.1	41.9
Месечно	лв.	2 175 109	2 004 717	1 865 364	2 295 914	2 184 024	2 074 413
	%	42.4	39.0	36.3	44.7	42.5	40.4
Годишно	лв.	2 056 669	1 879 087	1 732 784	2 162 601	2 086 842	1 950 751
	%	40.0	36.6	33.7	42.1	40.6	38.0

Таблица 5.10 Максимални годишни икономии на разходи за небаланс при различни цени на балансиращи услуги и периоди на договаряне на капацитета на електромобилите



Фигура 5.11 Максимални икономии за една година в проценти при различни цени на електромобили купува-продава и различни периоди на договаряне на капацитета на електромобилите

И тук, както при управляемите товари, се наблюдава линейност на намаляване на функцията при увеличаване на цената на балансиращата услуга. При дневно договаряне на капацитета на електромобилите може да се постигне икономия в размер 51,7 %. Разликата в реализираната икономия между дневно и седмично договаряне на мощността при всички тестови случаи е в рамките на около 5 %, а между седмично и месечно договаряне на мощността е в рамките на 2 %.

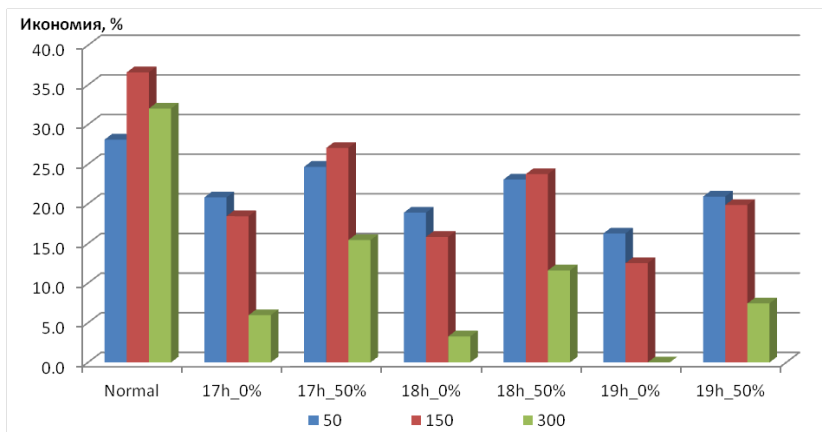
- Връзка между реализираната икономия част на включване на електромобилите в мрежата и остатъчния заряд след употреба.

След употреба, електромобилите се присъединяват към мрежата с определен остатъчен заряд. Съобразно условието електромобила да бъде напълно зареден до следващият час на използване е необходимо количество електроенергия за неговият заряд да бъде осигурено. Логично, ако електромобилите се присъединяват към мрежата след употреба с малко остатъчно количество електроенергия, то оператора следва да осигури по-голямо количество електроенергия. Това от своя страна води до намаляване на гъвкавостта за оператора по отношение на предоставените системни услуги, респективно реализираните икономии. Освен това, основната цел на електромобилите е да служат като средство за мобилност. Поради тази причина те не са присъединени към електроразпределителната мрежа денонощно. Наличието на присъединени електромобилите към мрежата е също фактор, който влияе на гъвкавостта на оператора по отношение на предоставените системни услуги. Липсата на електромобили ще намали възможността за намаляване на небаланса и съответно наличието на голям брой следва да доведе до обратното.

Алгоритъма позволява обследването на връзката между първоначалния заряд на електромобилите и реализираната икономия, както и връзката между часа на присъединяване на електромобилите към мрежата и реализираната икономия. Направени са изчисления при капацитет на електромобилите 50, 150 и 300 MW и цена на електромобилите купува продава 60-100 лв./MWh. Обследването е направено при нормалният случай с който са направени всички изчисления за електромобилите (в диапазона от 8:00 до 18:00 електромобили се изключват и включват към мрежата след употреба и със среден заряд от 16 %), означен с „Норм” и шест случая, при които първото число е часа на присъединяване на електромобилите към мрежата след употреба (напр. 17h), а второто процентът на остатъчния заряд (напр. 0%).

Е-моб.		Случай	Норм.	17h_0%	17h_50%	18h_0%	18h_50%	19h_0%	19h_50%
50 MW	лв.		1 443 497	1 068 880	1 266 975	970 016	1 185 026	835 306	1 074 142
	%		28.1	20.8	24.7	18.9	23.1	16.3	20.9
150 MW	лв.		1 879 087	947 244	1 389 108	812 920	1 219 555	642 930	1 019 953
	%		36.6	18.4	27.0	15.8	23.7	12.5	19.9
300 MW	лв.		1 644 726	306 296	792 469	168 241	595 642	-3 238	382 039
	%		32.0	6.0	15.4	3.3	11.6	-0.1	7.4

Таблица 5.11 Годишни икономии на разходи за небаланс при различни мощности, час на включване на електромобилите в мрежата и остатъчния заряд след употреба



Фигура 5.12 Годишни икономии на разходи за небаланс при електромобили с мощност 50, 150 и 300 MW и различни час на включване на електромобилите в мрежата и остатъчния заряд след употреба

Въз основа на резултатите може да се заключи, че липсата на електромобили в стандартното работно време на ползвателя води до намаляване на реализираните икономии от небаланс както следва: от 3,4 % до 24,6 % при присъединяване на електромобилите към мрежата след употреба с 50 % остатъчен заряд; от 7,3 % до 32,1 % при

присъединяване на електромобилите към мрежата след употреба с 0 % остатъчен заряд;

При тази хипотеза, увеличаването на мощността на електромобилите води до намаляване на реализираните икономии от небаланс. При тестовият случай, в който всички електромобили, с обща мощност 300 MW, излизат в 10:00 и се присъединяват към мрежата в 19:00 със заряд 0 % има загуба от 0,1 %, вместо реализираната икономия от 32 % в нормалния случай.

- Влияние на скоростта на заряд и разряд на електромобилите върху реализираната икономия.

Зареждането на електромобили може да се осъществява чрез битовата електрическа мрежа или чрез специално изградени за това зарядни станции. За първия метод е характерно, че не може да осигури голяма мощност на заряд и съответно отдаване в мрежата. В повечето случаи номиналната мощност достига 4-5 kW. Най-често зарядните станции се изграждат с капацитет от поне 20 kW, като целта е осигуряването на достатъчна мощност за зареждане на батерията за относително кратък интервал (примерно час). За обследване на въздействието на скоростта на зареждане на електромобилите върху реализираната икономия са направени изчисления с мощности на електромобили от 50, 150 и 300 MW и следните възможности за заряд: нормалният случай с който са направени всички изчисления за електромобилите, при който скоростта на заряд и разряд е 20 % от капацитета на електромобила, означен с „Норм“; скоростта на заряд и разряд е 50 % от капацитета на електромобила означен с „Бърз“.

Заряд \ Мощност	50	150	300
Норм.	28.1	36.6	32.0
Бърз	29.3	37.3	32.8
Подобрение, %	1.2	0.7	0.8

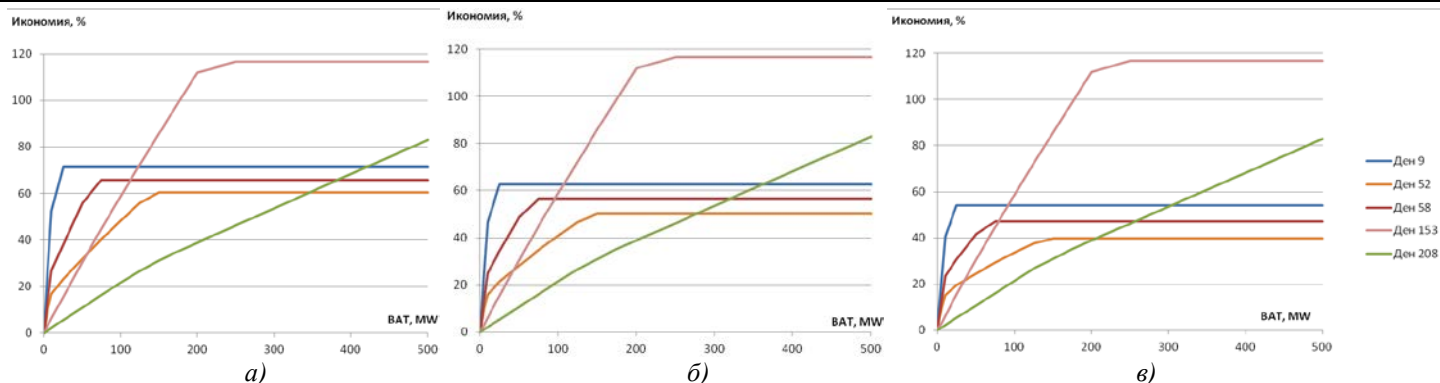
Таблица 5.12 Годишни икономии на разходи за небаланс в % при електромобили с мощност 50, 150 и 300 MW и различен капацитет на заряд и разряд

Въз основа на получените резултати могат да се направят две заключения:

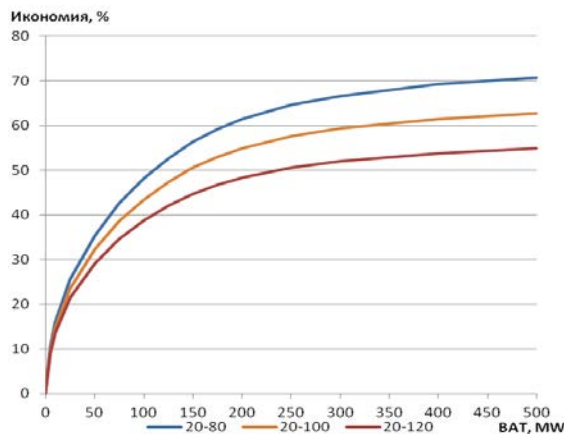
- Увеличаването на скоростта на заряд и разряд води до подобряване на използваемостта на електромобилите като източник на балансиращи услуги;
- При по-малките мощности се наблюдава по-голямо подобряване в ефективността на използване на електромобилите при увеличаване на скоростта на разряд и заряд.

V.2.3. Чрез използването на хранилища на електроенергия

Принципът за заплащане на системни услуги, доставяни от хранилища е чрез предлагане на електроенергия на по-ниска цена за зареждане на хранилищата и последващо закупуване на електроенергията на по-висока цена. С цел определяне на тенденциите за намаляване на разходите в следствие на предоставените системни услуги са направени изчисления за период от една година. Изчисленията са направени с хранилища с капацитет от 5, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 400 и 500 MW и за всеки капацитет с цена за хранилищата купува - продава съответно 20-80, 20-100 и 20-120 лв./MWh. Дневните и годишните резултатите са представени на следващите фигури. Месечните и седмичните резултати следват аналогични тенденции.



Фигура 5.14 Дневно реализирани икономии от разходи за небаланс при различни мощности на хранилищата (ВАТ) при цена за хранилищата купува и продава а) 20-80 лв./MWh, б) 20-100 лв./MWh, в) 20-120 лв./MWh



Фигура 5.17 Реализирани годишни икономии от разходи за небаланс при различен капацитет на хранилищата и цени за хранилище купува и продава 20-80, 20-100 и 20-120 лв./MWh

Видно от резултатите изложени на фигури 5.14 и 5.17 функцията винаги достига определен максимум. Максимумът се достига при осигуряване на достатъчен капацитет на хранилищата.

За разлика от другите методи, при предоставянето на системни услуги от хранилища не се наблюдават отрицателни стойности за реализираните икономии т.е. разходи вместо приходи. Това се дължи на спецификата, че КБГ, в частност оператора на електроразпределителната мрежа, не е задължен да осигурява енергия за управляеми електроуреди или зареждане на електромобили.

Тенденцията за намаляване на разходите за небаланс свързана с цените, на които хранилищата продават електроенергията видна от фигура 5.17 се наблюдава също при месечните, седмичните и дневните резултати.

Функцията на реализираните икономии е нелинейна, като в началото реализираната икономия на единица инсталирана мощност на хранилищата е по-голяма т.е. има по-добра използваемост. В конкретния случай, видно и от фигура 5.17 в годишен аспект, до около 50 MW мощност на хранилищата функцията има по-стръмно нарастване. Тъй като инвестициите в хранилища са относително високи, тази информация е необходима за определяне на капацитета им с оглед постигане на оптимална използваемост, респективно постигане на по-добра норма на възвращаемост на инвестициите.

В.2.4. Чрез използването на управляеми товари, електромобили и хранилища в комбинация

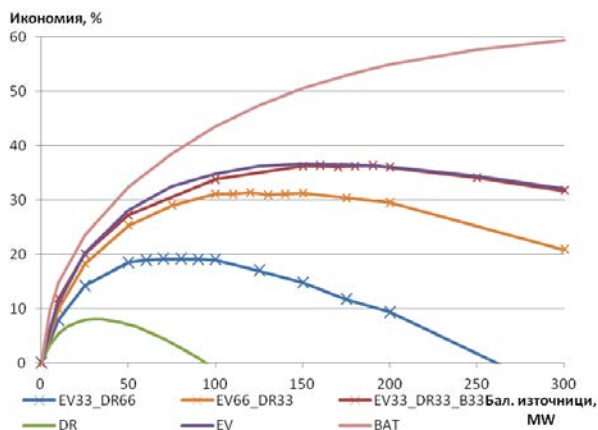
В реални условия се очаква използването на източници на балансираща енергия от всякакъв вид и технология. За обследване на тенденциите при комбиниране на източниците са направени общо 39 годишни изчисления с управляеми мощности в диапазона от 10 до 300 MW и ценови параметри както следва:

- EV33_DR66 - Балансиращи мощности съставлявани от 33% електромобили с цена за електромобил купува 60 и продава 100 лв./MWh и 66 % управляеми товари с отстъпка за управление 40 лв./MWh;
- EV66_DR33 - Балансиращи мощности съставлявани от 66% електромобили с цена за електромобил купува 60 и продава 100 лв./MWh и 33 % управляеми товари с отстъпка за управление 40 лв./MWh;
- EV33_DR33_V33 - Балансиращи мощности съставлявани от 33% електромобили с цена за електромобил купува 60 и продава 100 лв./MWh, 33 % управляеми товари с отстъпка за управление 40 лв./MWh и 33 % хранилища с цена за хранилище купува 20 и продава 100 лв./MWh.

Въпреки, че алгоритъма позволява дневно, седмично и месечно разглеждане на реализираните икономии в Таблица 5.13 и на Фигура 5.18 са показани само годишните резултати на разходи тъй като те представят с достатъчна достоверност тенденциите на изменение на функциите.

Цикъл договаряне	Е-моб.куп.-прод. лв./MWh	EV33_ DR66	EV66_ DR33	EV33_ DR33_ B33	DR 40	EV 60_100	BAT ⁹ 20_100
		лв.	лв.	лв.	лв.	лв.	лв.
Годишно		981 107	1 608 109	1 864 592	412 259	1 879 087	2 959 780
	%	19.1	31.3	36.3	8.0	36.6	57.6

Таблица 5.13 Максимални годишни икономии на разходи за небаланс при комбинирани източници на балансираща енергия



Фигура 5.18 Реализирани годишни икономии от разходи за небаланс при балансиращи източници електромобили, управляеми товари и хранилища и техни комбинации

Въз основа на резултатите може да се заключи следното.

При смесени източници на балансираща енергия реализираните икономии са в диапазона между икономии-те реализирани при съответните самостоятелни източници, например реализираните икономии при смесени източници управляеми товари и електромобили са между реализираните икономии по отделно от управляеми товари и електромобили.

При източници електромобили и управляеми товари, размера на реализираните икономии не е пропорционален на съотношението на източниците;

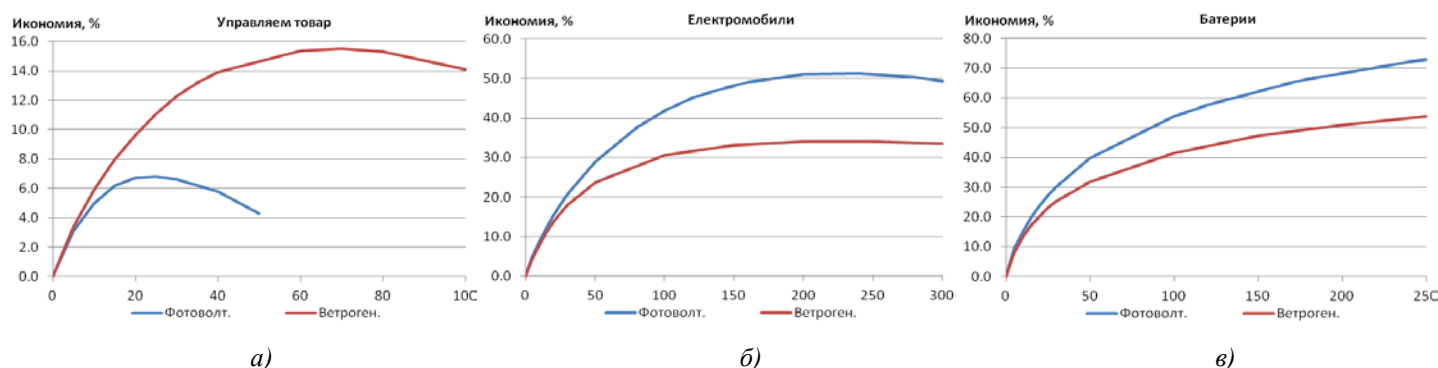
Добавянето на хранилища или електромобили към управляемите товари увеличава значително гъвкавостта и потенциала за реализиране на икономии. Това също така води до увеличаване на диапазона на договорени мощности, в който функцията има максимум.

5.3. Оптимизиране на разходите за небаланс на производители от ВИ

Производителите на електрическа енергия от ВИ също биха могли да се възползват от балансиращите услуги, предоставяни чрез ИИС. За обследване на тенденциите за икономия на разходи за небаланс на ВИ, чрез предоставяне на балансиращи услуги посредством ИИС, са направени 50 изчисления за фотоволтаична и 35 за вятърна електроцентрали с управляем товар в диапазон от 5 до 100 MW с отстъпка в цената 40 лв./MWh, електромобили в диапазон от 5 до 320 MW с цена за електромобил купува 60 и продава 100 лв./MWh и хранилища в диапазон от 5 до 250 MW с цена за хранилище купува 20 и продава 100 лв./MWh.

Изн. на балансираща енергия	Изн. на небаланс	Упр. товар (DR)	Електромоб (EV)	Хранилища (BAT)
		лв.	лв.	лв.
Фотоволтаик	лв.	254 002	1 916 726	2 721 776
	%	6.8	51.3	72.8
Ветрогенератор	лв.	1 326 287	2 910 714	4 600 730
	%	15.5	34.0	53.7

Таблица 5.14 Максимални годишни икономии на разходи за небаланс на ВИ при различни източници на балансираща енергия



Фигура 5.20 Реализирани годишни икономии от разходи за небаланс при производители и източници на балансираща енергия а) управляеми товари б) електромобили, в) хранилища

⁹ Реализирана икономия при мощност на хранилищата 250 MW

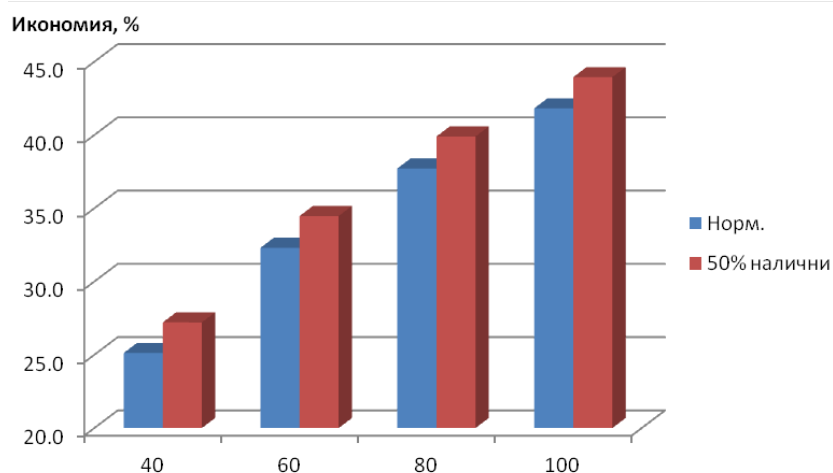
От резултатите е видно, че както при потребителите функцията на реализираните икономии при управляемите товари и електромобилите винаги има максимум при определена мощност, а тази при хранилищата нараства пропорционално на техният капацитет.

- Връзка между реализираната икономия от разходи за небаланс на фотоволтаици и наличието на присъединени електромобил към мрежата в светлата част на денонощието.

Основна функция на електромобилите е осигуряването на транспорт. Това предполага отсъствието на такива в светлата част на денонощието, когато е логично да са в употреба. Същевременно производството на електроенергия от фотоволтаични електроцентрали е в същата част на денонощието. Комбинацията от двете особености води до определена неефективност на използване електромобилите като източник на балансираща енергия за фотоволтаични електроцентрали. За обследване на връзката между наличието на електромобили присъединени към мрежата и реализираните икономии от разходи за небаланс са разгледани нормалният случай с който са направени всички изчисления за електромобилите (в диапазона от 10:00 до 15:00, 40 % от електромобилите са включени към мрежата, с изключение на 12:00 до 13:00, когато са налични само 20 %, в останалото време 60% и повече са присъединени към мрежата), означен с „Норм“; случай с 50 % присъединени към мрежата електромобил в интервала от 7:00 до 17:00 и в останалото време 100 %, означен с „50 % налични“. Изчисленията са направени с мощности 40, 60, 80 и 100 MW. Резултатите са показани в Таблица 5.15 на фигура 5.21.

Случай \ Мощност	40	60	80	100
Норм.	25.1	32.3	37.7	41.8
50 % налични	27.2	34.5	39.9	43.9
Подобрение, %	2.1	2.2	2.2	2.1

Таблица 5.15 Годишни икономии на разходи за небаланс в % при електромобили с мощност 40, 60, 80 и 100 MW и различен наличен капацитет в светлата част на денонощието



Фигура 5.21 Годишни икономии на разходи за небаланс в % при електромобили с мощност 40, 60, 80 и 100 MW и различен наличен капацитет в светлата част на денонощието

Въз основа на получените резултати могат да се заключи, че увеличаването на електромобилите, присъединени към мрежата, в светлата част на денонощието води до увеличаване на реализираните икономии от разходи за небаланс. Конкретно увеличаването на наличните в периода от 10:00 до 15:00 електромобили средно с около 15 % води до увеличаване на икономии с около 2 % при една и

съща мощност на електромобилите.

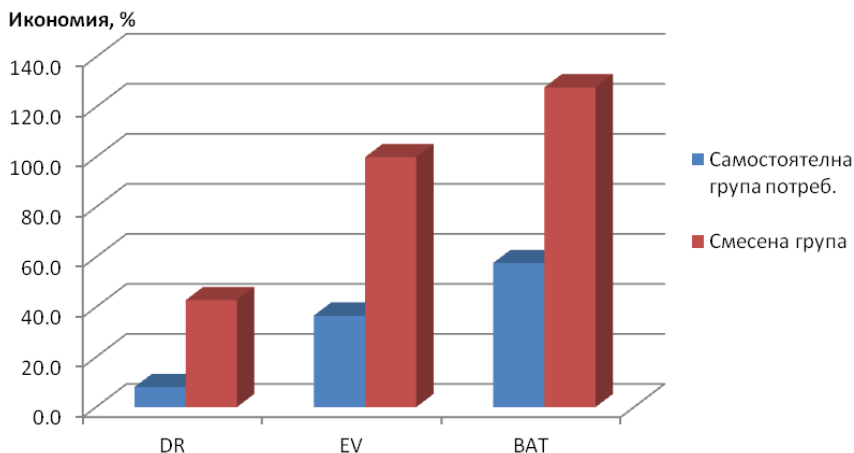
В.4. Оптимизиране на разходите за небаланс при потребители и производители на електрическа енергия

В днешно време, към електроразпределителната мрежа са присъединени както потребители така и производители. Съществува пазарен модел, в който собственика на мрежата оперира с целия енергиен небаланс, който е в следствие на грешки в прогнозата на потребление и производство. Във финансов аспект производителите заплащат своя дял за небаланс. По този начин се получава допълнителна икономия за оператора на мрежата, който в случая е отговорен за небаланса на цялата мрежа, от кумулативния ефект на небаланса на потребители и производители от ВИ и наличието на по-голям енергиен дисбаланс без допълнителни разходи, който подлежи на оптимизация посредством балансиращите услуги предоставяни от ИИС.

Стимулирането на участието на производителите в този модел се постига чрез отстъпка в цената за небаланс, която плащат. За обследване на тенденциите за икономия на разходи за небаланс при този модел са направени общо 23 изчисления с управляеми товари в диапазон от 30 до 190 MW с отстъпка за управление 40 лв./MWh, електромобили в диапазон от 50 до 500 MW с цена за електромобил купува 60 и продава 100 лв./MWh и хранилища в диапазон от 100 до 600 MW с цена за хранилище купува 20 и продава 100 лв./MWh. Реализираните годишни икономии, сравнени с тези при наличието само на потребители са показани в Таблица 5.16 и на Фигура 5.22.

Група	Мощност		Управл. товар (DR)		Електромоб. (EV)		Хранилища (BAT) ¹⁰	
	лв.	%	лв.	%	лв.	%	лв.	%
Самостоятелна потреб.	412 259	8.0	1 879 087	36.6	2 959 780	57.6		
Смесена потреб. и ВИ	2 197 223	42.8	5 133 665	100.0	6 567 321	127.9		
Подобрение, %	1 784 964	34.8	3 254 577	63.4	3 607 541	70.2		

Таблица 5.16 Максимални годишни икономии на разходи за небаланс в самостоятелна балансираща група само от потребители и смесена група на потребители и производители при различните източници на балансиращи услуги



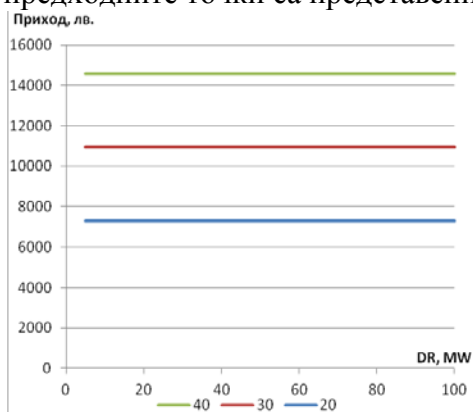
Фигура 5.22 Максимални годишни икономии на разходи за небаланс в % в самостоятелна балансираща група само от потребители и смесена група на потребители и производители при различните източници на балансиращи услуги

Видно от резултатите в Таблица 5.16, подобрението при управляемите товари е 34.8 %, при електромобилите 63.4 % и при хранилищата 70.2 %. Част от финансовото подобрение може да се използва за стимулиране на производителите за участие в този пазарен модел.

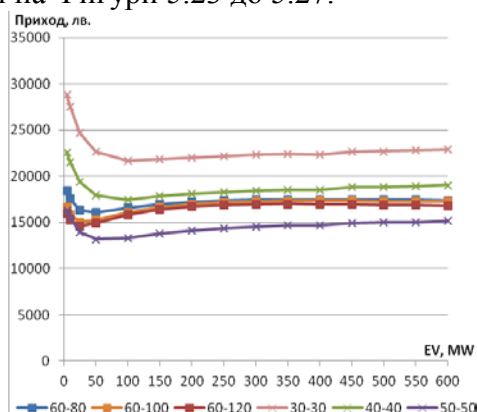
V.5. Приходи на собствениците на балансиращи мощности

Както при всички инвестиционни начинания и това, за привличане на доставчиците на балансиращи услуги в разглежданият модел на предоставяне на балансиращи услуги е необходимо да се осигури добър инвестиционен климат. Най-съществен фактор за това са финансовите ползи за собствениците на източниците на балансираща мощност.

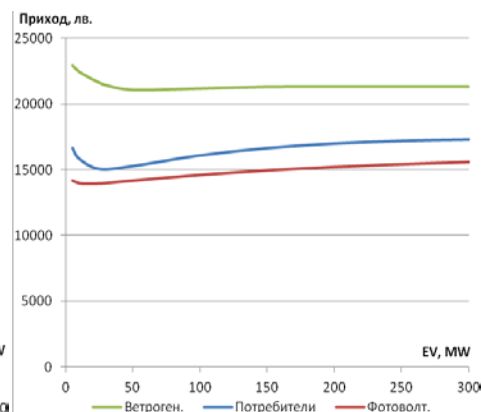
При управляемите товари приходите са винаги фиксирани и зависят от отстъпката в цената, която оператора на електроразпределителната мрежа им предоставя за управляемата мощност. При електромобилите и хранилищата, поради възможността да акумулират и отдават електроенергия, приходите зависят от използваемостта на съответното устройство. Алгоритъма позволява точното определяне на приходите на доставчиците на системни услуги. Приходите на доставчиците на балансиращи услуги, посредством управляеми товари, хранилища и електромобили, при различните варианти, разгледани в предходните точки са представени на Фигури 5.23 до 5.27.



Фигура 5.23 Годишни приходи на управляеми товари при компенсация на небаланс на потребители и различни отстъпки в цената за управление на товара, лв./MWh разполагаема мощност

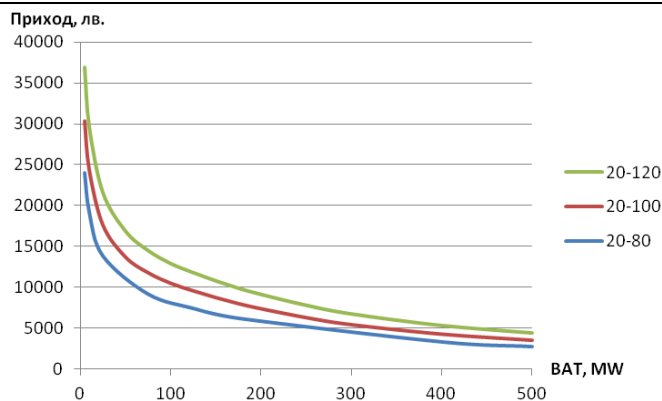


Фигура 5.24 Годишни приходи на електромобили при компенсация на небаланс на потребители, различни цени за електромобил купува продава и разполагаема мощност, лв./MWh разполагаема мощност

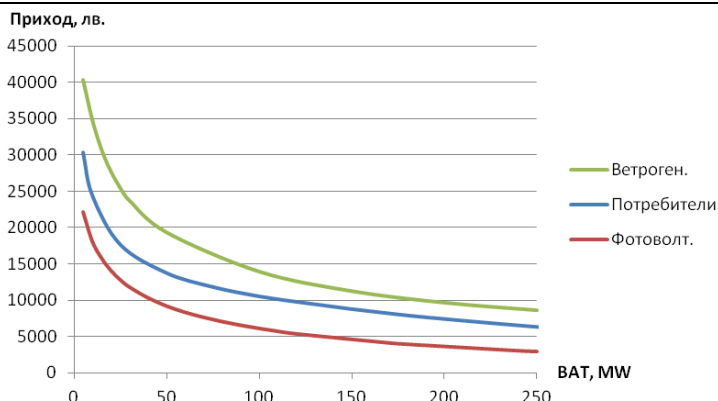


Фигура 5.25 Годишни приходи на електромобили при цена купува-продава 60-100 лв./MWh, различни източници на небаланс и разполагаема мощност, лв./MWh разполагаема мощност

¹⁰ Реализираните икономии са при мощност на хранилищата 250 MW.



Фигура 5.26 Годишни приходи на хранилища при компенсация на небаланс на потребители, различни цени купува продава и разполагаеми мощности, лв./MWh разполагаема мощност



Фигура 5.27 Годишни приходи на хранилища при цена купува-продава 20-100 лв./MWh, различни източници на небаланс и различни разполагаеми мощности, лв./MWh разполагаема мощност

При управляемите товари прихода на доставчика на управляемата мощност е пропорционален на цената, тъй като условието е в рамките на 24 часа да се осигури електроенергията необходима на уреда т.е. цената и количествата за са константа.

Приходите при електромобилите са почти константни при еднакви цени за различните мощности. Промените се дължат на промяната на наличният заряд в електромобила след като електромобила е използван и присъединен към мрежата за зареждане и в края на денонощието, който варира от 41 % при малките мощности до 11 % при големите.

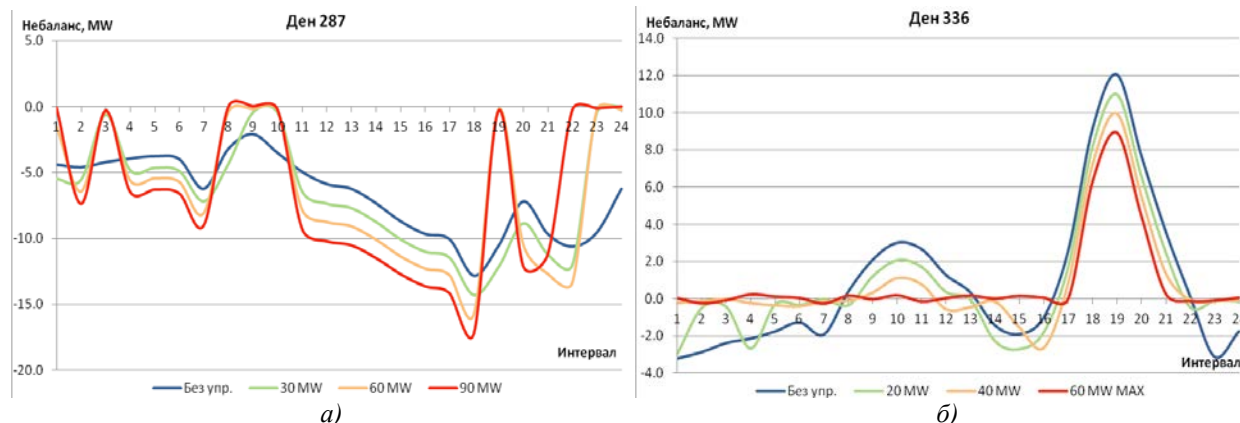
Видно от резултатите на Фигура 5.27, в годишен аспект, използваемостта на хранилищата намалява с увеличаването на инсталираната мощност. Това се дължи на факта, че при всяко индивидуално денонощие се постига максимум на функцията при различна мощност на хранилището. След тази мощност увеличаването на капацитета на хранилището не води до никакви приноси по отношение на спестените разходи за небаланс на оператора на мрежата и респективно приходите на собственика на хранилището. Конкретно, максимални икономии се наблюдават при инсталирана мощност на хранилищата до около 25 MW т.е. при тази мощност и по-малка има най-голяма използваемост на хранилищата в годишен аспект, след нея използваемостта намалява.

У.6. Изменение на товарите графици от доставяните системни услуги

Неминуемо, доставянето на системни услуги води до промяна във формата на товарите графици. За онагледяване на изменението в товарите графици при всяка от доставяните системни услуги са разгледани някои от дните, представени на Фигура 5.28 за управляемите товари, Фигура 5.29 за електромобилите и Фигура 5.31 за хранилищата на електроенергия.

- Управляеми товари

Като специфични дни за управляемите товари са показани ден 287 и ден 336 при отстъпка в цената 40 лв./MWh.



Фигура 5.28 Денонощни товарни графици с и без управление на товара за а) ден 287 и б) ден 336

Параметър \ Ден	30	68	100	239	287	336
Консумация за денон.	2 177.9	2 444.3	2 109.8	3 025.8	3 056.8	1 998.1
Излишък без упр.	25.1	1.0	10.2	8.1	159.7	24.7
Недостиг без упр.	11.2	44.9	21.8	40.7	0.0	44.9
Нетен небаланс без упр.	-13.9	43.9	11.6	32.6	-159.7	20.1
Излишък ¹¹ с упр.	14.5	1.3	0.1	0.0	159.7	1.0
Недостиг ¹¹ с упр.	0.6	45.2	11.6	32.6	0.0	21.1
Нетен небаланс с упр.	-13.9	43.9	11.6	32.6	-159.7	20.1

Таблица 5.17 Характеристики на дневните товари графици в MWh за дни 30, 68, 100, 239, 287 и 336 с и без наличие на управление на товара

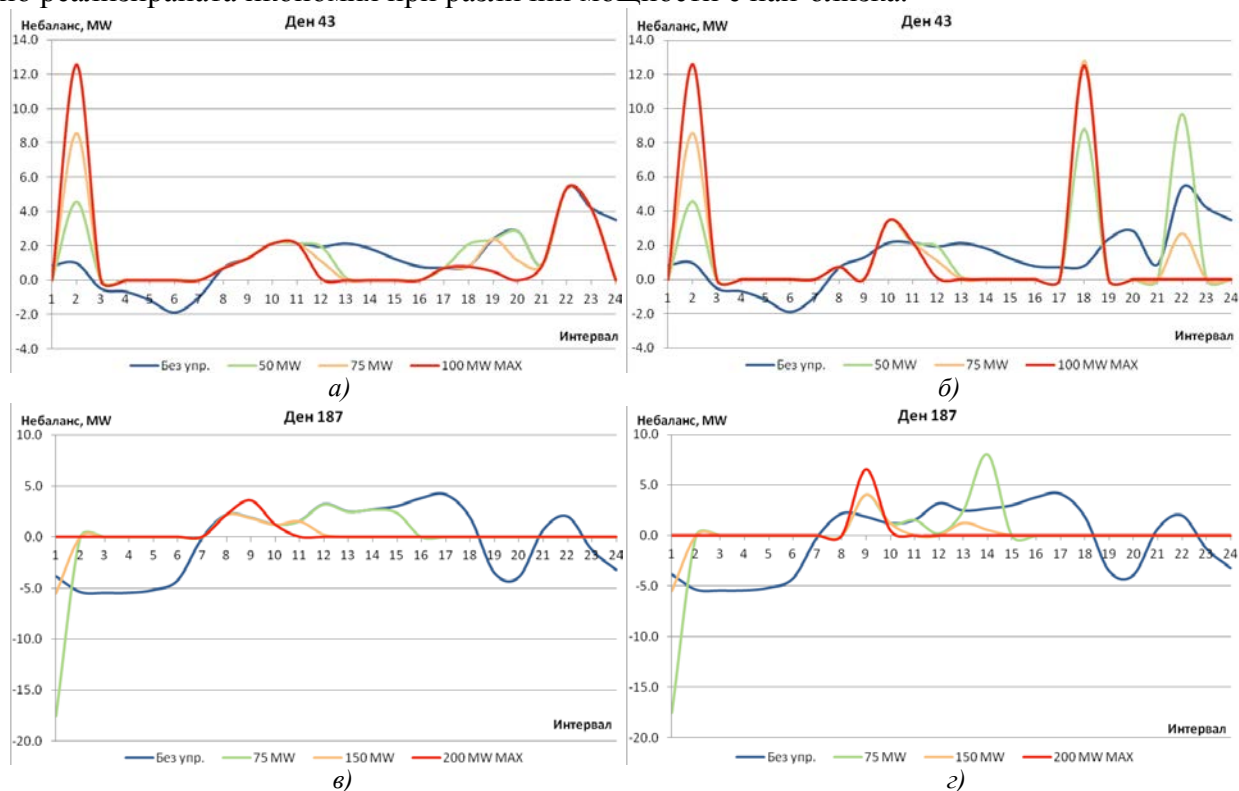
Ден 336 е типичен ден с относително еднакво количество недостиг и излишък. Както е видно от Фигура 5.28, при управлението на товарите, икономия се постига чрез изместване на потреблението в интервали с по-ниски разходи, както и компенсирането на недостиг и излишък от различни часове чрез преместване в един. Това е видно и от стойността на нетният небаланс с и без управление на товара показан в Таблица 5.17.

Специфичното за ден 287, видно и от Фигура 5.28 е, че през при всички стойности на управляемите товари вместо икономия се получават допълнителни разходи. Това се дължи най-вече на относително малките разлики в порядъка на отстъпката в цената, която се предлага на клиентите в цената за излишък и недостиг и много голям небаланс само в едната посока, конкретно излишък.

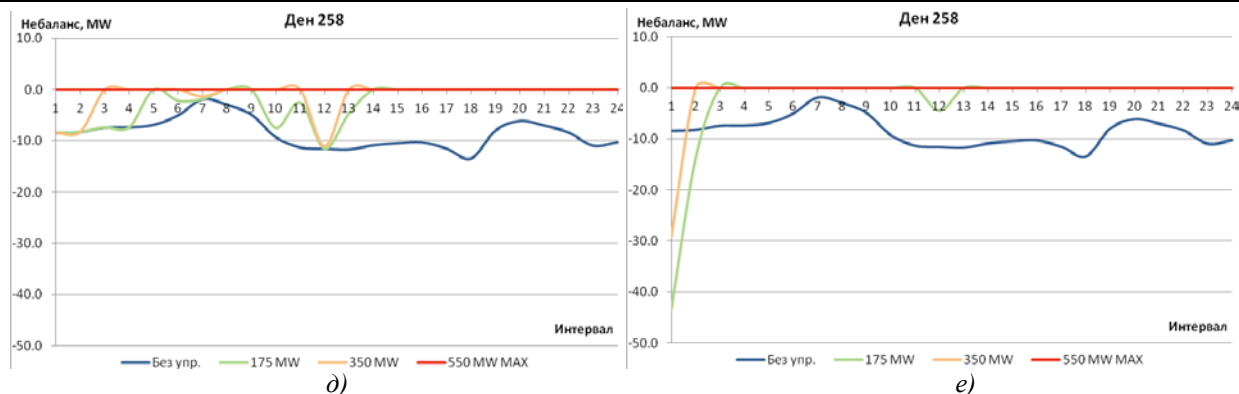
При така зададените ценови диапазони на отстъпката в цената, която се предоставя за управляемата мощност, промяната в цената при една и съща мощност на управляемите товари не се отразява върху енергийният баланс т.е. оптимизираните товари графици не се променят.

• Електромобили

При електромобилите са разгледани двата модела на стимулиране на доставяне на балансиращи услуги от собствениците на електромобили описани в раздел V.2.2. Изложените резултати са за цените на електромобил купува и продава съответно 60-80 лв./MWh и 40-40 лв./MWh тъй като при тези цени годишно реализираната икономия при различни мощности е най-близка.



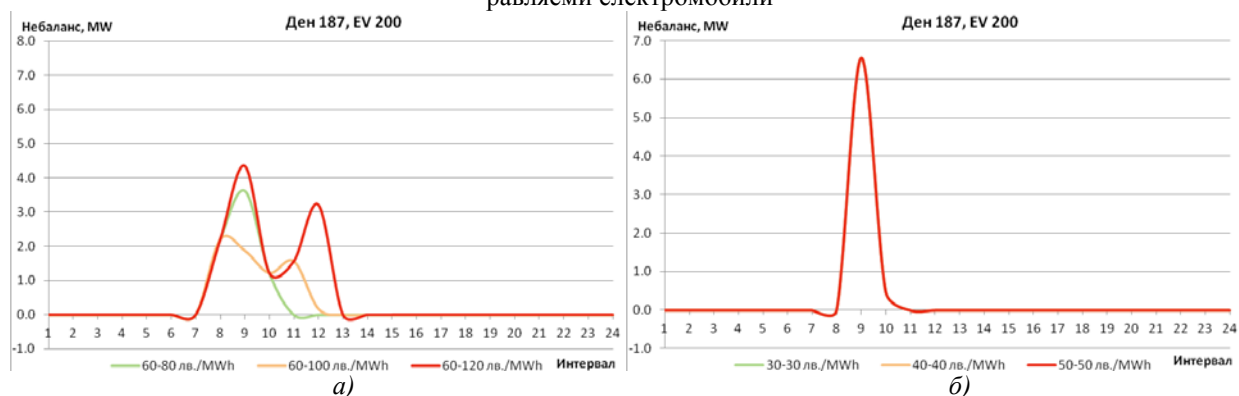
¹¹ Стойностите са при оптимум на функцията по отношение на икономията на разходи за небаланс



Фигура 5.29 Денонощни товарови графици с и без наличие на управляеми електромобили а) ден 43 цена 60-80, б) ден 43 цена 40-40, в) ден 187 цена 60-80, г) ден 187 цена 40-40, д) ден 258 цена 60-80, е) ден 258 цена 40-40 лв./MWh

Параметър	Ден 14		Ден 43		Ден 76		Ден 187		Ден 258		Ден 261	
	60-80	40-40	60-80	40-40	60-80	40-40	60-80	40-40	60-80	40-40	60-80	40-40
Консумация за денон.	2145.6		2255.4		2664.0		3034.3		3423.3		3402.6	
Излишък без упр.	18.3		5.2		31.4		41.4		204.0		72.5	
Недостиг без упр.	12.6		36.7		4.8		30.8		0.0		24.1	
Нетен небаланс без упр.	-5.7		31.5		-26.7		-10.6		-204.0		-48.4	
Излишък ¹² с упр.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Недостиг ¹² с упр.	10.3	10.3	31.4	31.4	0.0	0.0	7.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Нетен небаланс с упр.	10.3	10.3	31.4	31.4	0.0	0.0	7.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Таблица 5.18 Характеристики на дневните товарови графици в MWh за дни 14, 43, 76, 187, 258 и 261 с и без наличие на управляеми електромобили



Фигура 5.30 Денонощни товарови графици при наличие на управляеми електромобили и различни цени за електромобил купува- продава за ден 187 а) при метод „а” и б) при метод „б”

Видно от данните на Фигура 5.29 икономията на разходи за небаланс при наличието на управляеми електромобили се постига чрез акумулиране на електроенергия по време на излишък и отдаване по време на недостиг в случай, че това е икономически целесъобразно предвид общата цена за небаланс и тази на която електромобилите купуват и продават електроенергия на оператора на мрежата.

Ден 187 е типичен, в който енергийния небаланс и цените за балансираща енергия и услуги, позволяват постигането на минимален енергиен и финансов небаланс. Реализираната икономия на разходи за небаланс за този ден варира между 86 и 100 % в зависимост от цените за балансиращите услуги на електромобилите.

Ден 43 е ден с преобладаващ недостиг. При наличието на електромобили следва освен преразпределението на товара да се осигури и необходимата електроенергия за зареждане на електромобилите, поради това реализираните икономии са силно зависими от цените за небаланс и цените на които електромобилите купуват и продават. Конкретно в ден 43, при цена на електромобил купува- продава 60-80 лв./MWh максималната реализирана икономия е 55 %, докато при цена 60-100 лв./MWh е 12 %.

Специфично за ден 258 е наличието на голямо количество излишък във всеки интервал на денонощието. Това на практика е електроенергия с която се зареждат електромобилите. В такива специфични дни оператора на мрежата реализира предимно приходи. Необходимо условие за осигуряването на минимален небаланс е наличието на достатъчен капацитет на електромобилите, като в случая при 550

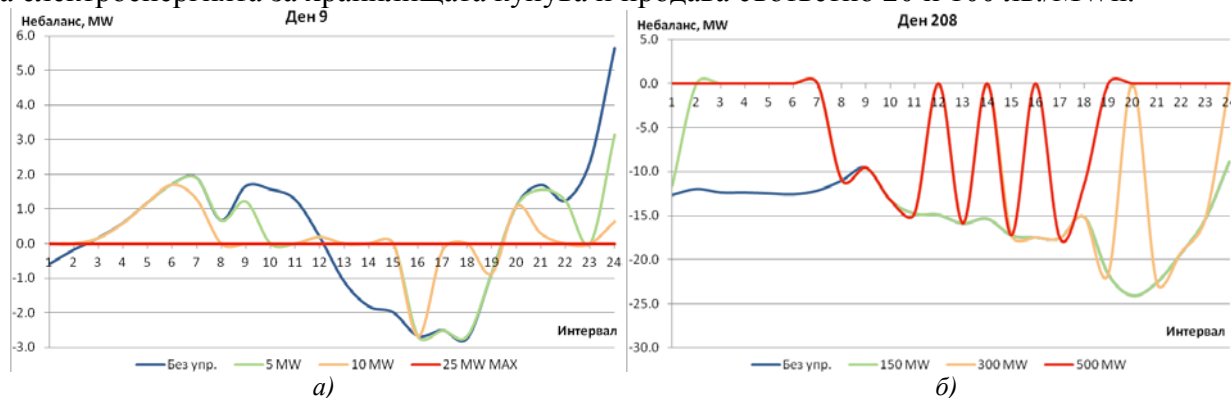
¹² Стойностите са при оптимум на функцията по отношение на икономията на разходи за небаланс

MW капацитет на електромобилите се постига нулев енергиен небаланс и максимални икономии (приходи) за оператора на мрежата. При различните цени електромобили купува/ продава, за ден 258 реализираната икономия варира между 125 и 149%.

Видно от Фигура 5.30, при така зададените ценови диапазони за електроенергията за електромобили купува/ продава, промяната в цената при една и съща мощност на управляемите товари при метод „а” може да се отрази върху енергийният баланс, докато промяна в цената при метод „б” не се наблюдава подобно въздействие.

• Хранилища на електроенергия

Като специфични дни за управляемите товари на Фигура 5.31 са показани ден 9 и ден 208 при цена на електроенергията за хранилищата купува и продава съответно 20 и 100 лв./MWh.



Фигура 5.31 Денонощни товари графици с и без наличие на хранилища за а) ден 9 и б) ден 208

Параметър \ Ден	9	52	58	153	208
Консумация за денон.	2100.9	2326.9	2418.3	2813.5	2741.2
Излишък без упр.	14.5	11.2	10.6	104.5	360.8
Недостиг без упр.	22.9	71.3	33.5	0.0	0.0
Нетен небаланс без упр.	8.4	60.1	22.9	-104.5	-360.8
Излишък ¹³ с упр.	0.0	0.0	0.0	0.0	-110.9
Недостиг ¹³ с упр.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Нетен небаланс с упр.	0.0	0.0	0.0	0.0	110.9

Таблица 5.19 Характеристики на дневните товари графици в MWh за дни 9, 52, 58, 153 и 208 с и без наличие на хранилища

При хранилищата на електроенергия, както при електромобилите икономии от небаланс се реализират посредством акумулиране на електроенергия по време на излишък и отдаването ѝ при недостиг, в случай че това е икономически целесъобразно. Видно от Фигура 5.31 а) и данните поместени в Таблица 5.19, при наличието на хранилища и при така зададените ценови параметри, винаги се постига нулев енергиен небаланс при наличието на достатъчен капацитет на хранилищата. При нулев капацитет е и максимума на икономия на средства от небаланс. Поради голямото количество излишък на електроенергия в ден 208, капацитетът на хранилището не позволява достигането на нулев енергиен небаланс, респективно максимум постигнатата финансовата икономията от небаланс.

При така зададените ценови диапазони, на които хранилищата купуват и продават електроенергия, промяната в цената при една и съща мощност на хранилищата не се отразява върху енергийният баланс т.е. оптимизираните товари графици не се променят.

V.7. Отлагане на инвестиции

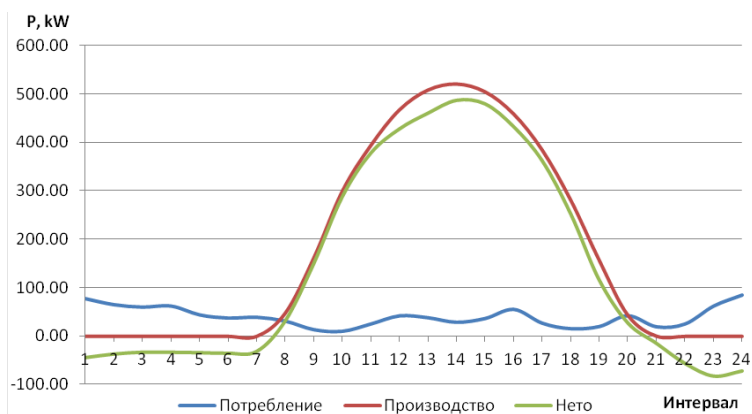
За определяне на ефекта от отлагането на инвестиции е разгледан случай, в който е монтиран фотоволтаик в капацитет 550 kWp към съществуваща трансформаторна подстанция 20/0.4 kV с трансформатор с капацитет 400 kVA, захранващ 270 битови клиента. Товарите графици на производство, потребление и на натоварване на трансформатора (нетен) са показани на Фигура 5.32. Видно от нетният товаров график е необходимо подмяна на трансформатора с мощност 630 kVA. Това може да бъде избегнато, посредством изместване на потреблението в диапазона на пиково производство на електроцентралата, което ще намали натоварването на трансформатора.

Изчисленията са направени за периода от 1 юни 2014 до 31 май 2015 т.е. една година. Тъй като товара е предимно битов е направено допускането, че фактора на мощността е 1.

¹³ Стойностите са при оптимум на функцията по отношение на икономията на разходи за небаланс

Величина	Рвърхов	Рср
Потребление, kW	373	51
Производство, kW	577	96
Нето, kW	557	45

Таблица 5.20 Характеристики на годишния товаров график на потребление, производство и нетен



Фигура 5.32 Денонощни товари графици на потребление, производство и нетен за 11 юли 2014

Ако се приеме, че трансформатора може да работи с претоварване от 5 %, то нетното количество електроенергия, преминаващо през трансформатора, което надвишава тази стойност трябва да бъде консумирано локално. Конкретно за изчислителният период количеството енергия (W_{DR}) е 15 568 kWh. При отстъпка в цената за управление на товара 40 ст./kWh, годишните разходи за услугата (C_{DR}) възлизат на 623 лв. Този разход следва да се съпостави с необходимата за подмяната на трансформатора инвестиция. Конкретните резултати за възвращаемост на инвестицията са получени с цена за трансформатор и разходи за подмяна 15 000 лв.

V.8. Определяне на срок на откупуване на инвестицията

За определяне на възвращаемостта на инвестицията е използван метода „Срок на откупуване” без дисконтиране. Чрез метода срок на откупуване се определя продължителността от време, необходимо, за да се възстановят първоначалните инвестиции за сметка на финансовите резултати от инвестицията т.е. постигнатата икономия и допълнителни приходи при наличието на ИИС. Този метод е един от най-популярните и широко използвани методи за оценка и избор на инвестиционни варианти [51, 82].

Срокът на откупуване следва да се определи по следната формула

$$PBP = \frac{C_{INV}}{C_{conv} - C_{smart} + I_{SS}} \quad (5.1)$$

където, C_{INV} - инвестиционни разходи за внедряване на системата, C_{CONV} - годишни разходи при наличието на конвенционални електромери, C_{SMART} - годишни разходи при наличието на ИИС, I_{SS} - приходи от предоставяне на системни услуги.

В първите четири разгледани случая, при които в приходната част са включени икономии реализирани от оптимизация на разходите по разпределение и намаляване на разходите на небаланс, са разгледани срокове на откупуване на инвестицията при различните варианти на доставчик на балансираща електроенергия при годишно фиксирани мощности. Цените за управляем товар, електромобили и хранилища купува-продава са съответно 40, 60-100 и 20-100 лв./MWh.

	Сл. 1	Сл. 2	Сл. 3	Сл. 4	Сл. 5	Сл. 6
Инвестиции, лв.	33 130 221				46 223	175 169
Годишни икономии, лв.						
Разходи разпределение	5 114 517	4 271 317	3 428 117	2 584 917	4 760	88 302
Небаланс						
- управляем товар		412 259			-	-
- електромобили		1 879 087			-	-
- хранилища ¹⁴		2 959 780			-	-
- EV33_DR66		981 107			-	-
- EV66_DR33		1 608 109			-	-
- EV33_DR33_B33		1 864 592			-	-
РВР, години						
- управляем товар	6.0	7.1	8.6	11.1	-	-
- електромобили	4.7	5.4	6.2	7.4	-	-
- хранилища	4.1	4.6	5.2	6.0	-	-
- EV33_DR66	5.4	6.3	7.5	9.3	-	-
- EV66_DR33	4.9	5.6	6.6	7.9	-	-

¹⁴ Реализирана икономия при мощност на хранилищата 250 MW

	Сл. 1	Сл. 2	Сл. 3	Сл. 4	Сл. 5	Сл. 6
- EV33_ DR33_B33	4.7	5.4	6.3	7.4	-	-
Без приходи от небаланс	6.5	7.8	9.7	12.8	7.51	1.98

Таблица 5.21 Инвестиционни разходи, годишни икономии и срок за откупуване на инвестицията за монтаж на ИИС

V.9. Изводи

1. С проведените тестващи изчисления с реални данни се доказва пригодността и ефективността на разработените математични модели в Глава IV.
2. Решаването на оптимизационната задача от IV.2.2 води до съществено намаляване разходите за небаланс.
3. При наличие на управляеми товари, икономия се постига чрез изместване на консумацията в по-подходящ интервал с цел намаляване на разходите за небаланс т.е. енергийния небаланс за разглеждания интервал не се променя. Като стимул потребителите получават отстъпка в цената за предоставената управляема мощност. В този случай се постигат най-ниски икономии на разходи за небаланс - около 14,5 % при 20 лв./MWh отстъпка, тъй като в този случай няма възможност за акумулиране и отдаване на електроенергия. Кривата на реализираните икономии винаги има максимум при определена мощност на товара. При дневно определяне на управляемите мощности се постига максимален финансов ефект спрямо фиксираните седмично, месено или годишно. Увеличаването на отстъпката в цената за управление на товара е обратно пропорционално на реализираната икономия, като зависимостта е относително линейна. Увеличаването на мощността на стъпката на управление на товара може да доведе до около 1 % намаляване в реализираните годишни икономии.
4. Икономията на разходи за небаланс чрез електромобили се постига чрез зареждане на електроенергия при излишък и отдаване на електроенергия при недостиг, в случай че това е финансово целесъобразно. За стимулиране на електромобилите за участие в пазара на балансираща енергия се използват два финансови модела. При електромобилите се наблюдават същите зависимости както при управляемите товари, като максималната икономия достига до 42.6 %. При електромобилите влияние имат фактори като ниво на остатъчен заряд след употреба на електромобила, както и часът на включване. Включването на електромобила с нулев заряд в 19:00 може да доведе до намаляване на реализираната икономия от небаланс с от 8 до 30% в зависимост от мощността на електромобилите. Осигуряването на електростанции за бърз заряд на електромобили може да доведе до около 1 % повишаване на реализираната икономия. Годишните приходи на собствениците на такъв източник на балансираща са средно 18 000 лв./ MWh или 450 лв. за електромобил с капацитет 25 kWh.
5. При хранилищата на електроенергия, икономията се постига чрез акумулиране на електроенергия при излишък и отдаване при недостиг, в случай че това е икономически целесъобразно. При този източник на балансираща услуга и тези зададени цени за електроенергия купува и продава винаги се постига нулев енергиен небаланс, при който има и максимална икономия на разходи. Реализираните икономии при 250 MW достигат до 65 %. Мощността на постигане на максимум на функцията зависи от небалансите в конкретния ден. При конкретните товарни графици максимуми има в диапазона от 25 до 500 MW мощност на хранилищата. След достигане на максимума, увеличаването на капацитета не води до увеличаване на реализираната икономия т.е. допълнителният осигурен капацитет в този ден не се използва. В следствие на това с увеличаване на мощността на тези източници намалява използваемостта. Тъй като хранилищата на електроенергия са с основна цел предоставяне на балансираща услуга, финансовите параметри, респективно използваемостта, са фундаментални за инвеститора. Поради това избора на капацитет не може да се извършва въз основа на реализирана максимална икономия, а на максимална използваемост на хранилището, с цел постигане на необходимата икономическа ефективност на инвестицията.
6. Използването на смесени източници на балансираща енергия води до подобряване на резултатите по отношение на спестените разходи за небаланс. Добавянето на други източници на балансираща енергия към управляемите товари води до значително увеличаване на гъвкавостта и реализираните икономии. Конкретно заместването на 33 % от управляемите товари с електромобили води до 2.4 пъти увеличаване на реализираните икономии от небаланс.

7. Възобновяемите източници също биха могли да се възползват от предоставянето на балансиращи услуги от управляеми товари, електромобили и хранилища на електроенергия, като реализираната икономията зависи от небалансите. Съвместяването на електромобили и фотоволтаици поради техните съответно специфика на използване и производство, може да не доведе до очакваните резултати. При разгледаният случай увеличаването на наличните в периода от 10:00 до 15:00 електромобили средно с около 15 % води до увеличаване на икономииите с около 2 % при една и съща мощност на електромобилите.
8. Съществува пазарен модел, в който собственика на мрежата оперира с целия енергиен небаланс, в следствие на грешки в прогнозата на потреблението и производството в ЕРМ, като производителите заплащат въз основа на своя небаланс. По този начин се получава допълнителна икономия за оператора на мрежата, който в случая е отговорен за нетния небаланс на мрежата, от кумулативния ефект на небаланса на потребители и производители от ВИ и от наличието на по-голям енергиен дисбаланс без допълнителни разходи, който подлежи на оптимизация посредством балансиращите услуги предоставяни от ИИС. При този модел, спрямо собствените разходи за небаланс на оператора на мрежата, се наблюдава увеличение на икономисаните средства с 35 % при управляемите товари, 63 % при електромобилите и 70 % при хранилищата на електроенергия.
9. В повечето случаи възвращаемостта на инвестицията в ИИС е главно от намаляване на разходите за разпределение на електрическа енергия, като по-значима част са технологичните разходи. Ако срок на откупуване от 7 години се счита за целесъобразен, въпреки че балансиращите услуги са по-малката част от приходите, те имат определяща роля за достигане на такава възвращаемост.
10. В конкретният разгледан случай, отлагането на инвестиции посредством промяна в графика на потребление е на границата на срока на рентабилност, като и в този случай основната част от икономииите са в следствие на намаляване на технологичните разходи. При изчисления по този модел всеки случай следва да се разглежда конкретно.
11. В райони с агресивно население, в които нетехническите загуби имат значителна стойност, видно от разгледаният пример, срока на откупуване може да е от порядъка на 2 години.

Приноси на дисертационния труд

Научни приноси

- Създаване на нова структура на математичния модел на пазара на балансираща енергия, основана на използването интелигентна измервателна система. Чрез структурата се постигат:
 - a. Опростяване на финансовите взаимоотношения между участниците на пазара;
 - b. Ефективно управление на производството на електрическа енергия от ВИ и баланса на потреблението.

Научно-приложни приноси

- Създаване на математични модели на управляеми товари, електромобили и хранилища на електроенергия, необходими за изследване на ползите от тяхното управление, свързани с предоставянето на балансиращи услуги;
- Създаване на алгоритъм за оценка и обследване на финансовия и енергийния ефект от предоставянето на балансиращи услуги посредством управляеми товари, електромобили и хранилища на електроенергия.

Приложението на моделите, ще е първата стъпка за обосноваване на необходимостта от интелигентните измервателни системи в управлението на електрическите разпределителни мрежи и ускоряване на внедряването им в нашата страна.

Приложни приноси

- Разработване на компютърна програма за оценка на ползите от внедряването на ИИС, включително на алгоритъм за оценка на ефекта от управлението на балансиращите мощности, присъединени към електрическите разпределителни мрежи;

- Получаване на резултати от многовариантни изчисления с реални данни. Резултатите носят информация и показват тенденции и могат да се използват за априорна оценка за рентабилността на иновациите по отношение на внедряване на ИИС.

Публикации по дисертационния труд

1. Йорданов, С., Р. Василев, "Reduction of grid losses with implementation of SMART metering system" (Намаляване на мрежовите загуби чрез внедряване на интелигентна измервателна система), Workshop on Costs, benefits and Impact Assessment of Smart Grids for Europe and Beyond, Antalya, Turkey, 23-25 April 2014, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Petten, Netherlands (<http://iet.jrc.ec.europa.eu/>).
2. Йорданов, С., Р. Василев, "Интелигентното измерване на електрическа енергия – основа на концепцията за изграждането на интелигентни електрически мрежи", Техническа конференция "Електроренергетика 2014", 11-13 септември 2014, КК "Златни пясъци", България.
3. Йорданов, С., Р. Василев, "Възможности за управление на обекти от електроразпределителната мрежа чрез интелигентни измервателни системи", Техническа конференция "Електроренергетика 2014", 11-13 септември 2014, КК "Златни пясъци", България.
4. Йорданов, С., Н. Николаев, К. Герасимов, „Интелигентни мрежи и либерализация - Икономически ползи от управление на товара в мрежа ниско напрежение“, сп. „Ютилитис“, брой 8, 2015 г.
5. Йорданов, С., „Практичен обзор на ефекта от внедряване на интелигентни измервателни системи за българския електроенергиен сектор.“, сп. „Енергетика“, брой 6, 2015 г.

Abstract (Резюме на английски език)

Subject of present PhD Thesis is Application of Smart Metering Systems for Distribution Network Control. It considers the problems of contemporary electric power systems (EPS) connected mainly with integration of producers from renewable energy sources and the possible solutions of such problems. Implementation of smart metering systems is one of the possible methods for solving aforementioned problems. Therefore implementation process in Bulgarian legal, market and technical framework is scrutinized. Technical and economical evaluation of benefits from system implementation is performed. The Thesis comprises five chapters.

The First chapter represents a literature overview of the modern EPS. Following relevant issues are examined:

- Goals and tasks related to management of EPS
- Liberalized energy market as a potential tool for settlement of relationship between participants
- Specific features of contemporary distribution electricity networks management, which includes difficulties in EPS management taking into consideration decentralized energy production from renewables and possible solutions for integration of renewable energy sources
- Energy storage facilities aiming at identification of most suitable technology for connecting to the distribution networks
- Bulgarian electricity consumption structure in order to identify the potential of manageable electricity loads connected to the LV distribution network
- Available systems for EPS management with their main components and scope
- Smart metering systems as a component of the future smart grids, including their structures, advantages and disadvantages, relevant EU requirements, etc.

Literature overview served as the basis for drawing conclusions and definition of main objectives and tasks in present Thesis.

Chapter 2 contains the concept and opportunities for management of electricity distribution networks through smart metering systems. Herein are presented the advantages of smart metering system in both autonomous operation mode as well as operation mode under the subordination of transmission system operator. Second half of the chapter describes and illustrates methodology for management of the customers' consumption through smart metering system with respective conditions for its implementation. The proposed new concept is compared with the existing practices in Bulgaria.

Main objective of Chapter 3 is the implementation of the concept described in Chapter 2. The main issues related to system successful implementation and operation are identified and evaluated, namely social, political and technical aspects relevant to implementation and further maintenance of the system. The main risks are considered; mitigation measures and criteria for success are pointed out.

Chapter 4 is focused on evaluation of results from implementation of smart metering system. Cost-benefit analyses is based on the Guidelines for Conduction a Cost-benefit Analysis of Smart Grid Projects and Guidelines for Cost Benefit Analysis of Smart Metering Deployment, issued by JRC Institute for Energy and Transport of EC. Profitable and non-profitable benefits from implementation of smart metering systems under the conditions of Bulgarian legal framework are identified. Profitable benefits are mainly from optimization of costs for distribution of energy (reading, disconnection/reconnection of meters and reduction of grid losses) and providing of energy for balancing market, and the system services (voltage and frequency regulation, regulation of consumption for avoiding of investments for network extension, etc.). For overall evaluation of profitable benefits from implementation of smart metering system a mathematical model is developed. An algorithm for simulating of distribution grid balancing optimization through smart-grid devices (DR, EV, ES) is also elaborated. Its objective is to optimize the costs of the Balancing Group Manager for the balancing energy. The costs are reduced by obtaining of balancing energy from cheaper sources, such as demand response (DR), electrical vehicles (EV) and energy storages (ES), rather than paying the supplier for expensive balancing energy. All the specific features of different smart-grid devices are duly taken into account for the purpose of algorithm preparation.

Chapter 5 presents the results from the research. The required investment costs for totally six representative regions are determined. The operational costs both with and without smart metering system are evaluated. The developed optimization algorithm is realized in Matlab ®. Based on the hourly costs for balancing energy and measured real data 389 annual calculations are performed with different prices and capacity of the smart-grid devices. Test cases include optimization of costs of customers and producers separately and jointly through usage of demand response, electrical vehicles and energy storages. Apart from the general cases, influences of charging/ discharging capacity, availability in the network and level of discharging after use of electrical vehicles over the realized savings are studied as well. Savings of the Balancing Group Manager and incomes of the balancing sources are calculated. Load profiles changes due to the provided balancing power are analyzed. Returns of investments for six above mentioned regions are calculated based on the savings from implementation of smart metering system. A case with deferred investments is also included.

The Thesis has certain contribution to scientific and applied researches related to:

- Development of a new mathematical model structure of the Market for balancing energy
- Creation of mathematical models for demand response, electrical vehicles and energy storages
- Algorithm for research and assessment of financial and energy effects from providing of balancing services.

The contribution of applied research is the implementation of said algorithm in a computer program and obtaining of results from multi-variant calculations of real data, which contain information and show the trends. These can be used for preliminary assessment of profitability from smart metering system implementation.

Zusammenfassung (Резюме на немски език)

Das Thema der Dissertation lautet: "Anwendung der intelligenten Messsysteme bei der Steuerung der elektrischen Verteilnetze". Sie behandelt die Probleme der modernen Energiesysteme (ES), die aus der zahlreichen Integration der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen (Renewable Energy Sources RES) resultieren. Es wird eine Lösungsmöglichkeit hinsichtlich der Integration von RES im für Bulgarien aktuell bestehenden rechtlichen Rahmen und Marktumfeld durch den Einsatz eines intelligenten Messsystems analysiert.

In diesem Zusammenhang wurde eine wirtschaftliche und technische Bewertung der Vorteile des Systems vorgenommen.

Die Dissertation besteht aus 5 Kapiteln.

Das erste Kapitel enthält Beschreibung typischer moderner ES. Es werden folgende relevanten Fragen behandelt:

- Ziele und Aufgaben der Steuerung der ES.
- Der liberalisierte Energiemarkt als potentielles Instrument zur Regelung der Beziehungen zwischen den Teilnehmern.
- Besonderheiten der Steuerung der modernen Stromverteilnetze, einschließlich der Schwierigkeiten im Hinblick auf die dezentrale Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen und mögliche Lösungen für deren Integration.
- Energiespeicher, einschließlich der Auswahl der dazu zu bevorzugenden Technologie.
- Die Analyse eines typischen Stromverbrauchs in der Republik Bulgarien, um das Potential einer Schaltung von Lasten, die an das Verteilnetz im Bereich der Niederspannung angeschlossen sind, zu ermitteln.
- Eine Beschreibung der zum jetzigen Zeitpunkt bestehenden Systeme zur Steuerung der ES und deren wichtigsten Komponenten.
- Intelligente Messsysteme als zukünftiger Bestandteil der intelligenten Stromnetze, einschließlich Beschreibung ihrer Struktur, der Vorteile und Nachteile, sowie eine Zusammenfassung der regulativen Anforderungen, etc.

Auf der Grundlage der Übersicht werden Schlussfolgerungen gezogen und die wichtigsten Ziele und Aufgaben der Dissertation definiert.

Im zweiten Kapitel wird ein Konzept und eine Möglichkeiten zur Steuerung des Verteilnetzes durch Integration intelligenter Messsysteme vorgeschlagen. Es werden die Vorteile des intelligenten Messsystems im Modus "Steuerung durch den Betreiber des Transportnetzes (TSO)" und im Offline-Betrieb dargestellt. Der zweite Teil des Kapitels beschreibt und veranschaulicht die Methode zur Laststeuerung der Verbraucher (Demand Site Management) mit den entsprechenden Bedingungen für die Umsetzung. Das vorgeschlagene Konzept wird mit der bisherigen Praxis in der Republik Bulgarien verglichen.

Kapitel 3 umfasst die Realisierung des entwickelten Konzeptes. Für eine erfolgreiche Realisierung und Bedienung des Systems werden die wichtigsten Themen angesprochen und bewertet. Dieses umfasst sowohl soziale, politische als auch technische Aspekte hinsichtlich der Einführung und der anschließenden Wartung des Systems. Es werden wichtigste Risiken einschließlich notwendiger Gegenmaßnahmen behandelt. Die Erfolgskriterien werden aufgeführt.

Im Kapitel 4 werden die Ergebnisse des Einsatzes eines intelligenten Messsystems bewertet. Die Kosten-Nutzen-Analyse basiert auf der "Richtlinien für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse der Projekte für Smart Grid" und der "Richtlinien für eine Kosten-Nutzen-Analyse hinsichtlich der Entwicklung der Smart Meters", die vom JRC Institut für Energie und Verkehr der EU herausgegeben wurden. Es werden die finanziell messbaren und die immateriellen Vorteile aus der Einführung von intelligenten Messsystemen im Hinblick auf die bulgarischen Rechtsbedingungen aufgeführt. Finanziell messbare Vorteile resultieren einerseits aus einer Kostenoptimierung für die Stromverteilung wie beispielsweise Beschleunigung der Abrechnung, Verkürzung von Ausfallzeiten bzw. Wiederaufnahme sowie Verringerung der Verluste im Netzwerk sowie andererseits aus der Lieferung von Ausgleichsenergie und Systemdienstleistungen wie beispielsweise Regelung der Frequenz, Spannung und Verbesserung der Auslastung, um die Investitionen zur Kapazitätserhöhung des Netzes zu verschieben. Es wird ein mathematisches Modell für die Bewertung der messbaren Vorteile durch den Einsatz von einem intelligenten Messsystem vorgestellt. Es wird einen Algorithmus zur Simulation der Optimierung der Kosten des Ungleichgewichts durch den Einsatz von Anlagen für Smart Grids ausgearbeitet. Der Algorithmus optimiert die Kosten des Koordinators einer ausgleichenden Gruppe für Ausgleichsenergie. Eine Kostensenkung wird durch eine Berücksichtigung von Ausgleichsenergie aus kostengünstigen Quellen wie gesteuerte Lasten, Elektroautos und Energiespeicher erreicht, anstatt alternativ Ausgleichsenergie von einem Anbieter teurer zu beschaffen. Bei der Vorbereitung des Algorithmus wurden alle Besonderheiten der des Smart Grid berücksichtigt.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Forschung vorgestellt. Es werden die Investitionskosten für insgesamt 6 repräsentative Bereiche ermittelt. Es wurden die Betriebskosten mit und ohne Einsatz eines intelligenten Messsystems gegenübergestellt. Der Algorithmus zur Kostenoptimierung wurde in Mathlab® entwickelt. Auf Basis stündlicher Preise für Ausgleichsenergie und realer Messdaten wurden Berechnungen für 389 jährliche Zyklen für ein Smart Grid vorgenommen. Die Testfälle berücksichtigen unterschiedliche Lastfälle und Ka-

pazitäten, eine Optimierung der Kosten für Verbraucher und Erzeuger, kombiniert und getrennt, den Einsatz gesteuerter Lasten, Elektrofahrzeuge und Energiespeicher. Neben den allgemeinen Fällen wurde der Einfluss der Kapazität für die Entladung und Ladung der Elektrofahrzeuge untersucht. Weiterhin wird ihr Vorhandensein im Netzwerk sowie die verbleibende Ladung nach Gebrauch und deren Einfluss auf die erzielten Einsparungen untersucht. Es werden die Einkünfte des Koordinators der ausgleichenden Gruppe und der ausgleichenden Quellen berechnet. Es wird die Veränderung der Lastflusses infolge der bereitgestellten ausgleichenden Dienstleistungen überprüft. Aufgrund der Ergebnisse aus den erzielten Einsparungen wird die Ertragsfähigkeit der Kapitalanlage in verschiedenen Fällen berechnet. Es wurde einen Fall mit Verschiebung der Investitionen behandelt.

Die Dissertation leistet einen wissenschaftlichen und einen angewandten Beitrag

- Zur Entwicklung einer neuen Struktur des mathematischen Modells des Marktes für Ausgleichsenergie.
- Zur Erstellung eines mathematischen Modells für gesteuerte Lasten, Elektroautos, Energiespeicher.
- Und für die Entwicklung eines Algorithmus für die Bewertung und Untersuchung des finanziellen und Energie-Ergebnisses? infolge der Erbringung von ausgleichenden Dienstleistungen.

Im angewandten Aspekt trägt die Dissertation zur Einführung eines EDV gestützten Algorithmus und für die Verarbeitung der Ergebnisdaten aus den zahlreichen Berechnungen mit Realdaten bei. Diese Berechnungen stellen Ergebnisse bereit und zeigen Tendenzen auf, die für eine Vorbewertung der Rentabilität beim Einsatz von Smart Meter verwendet werden können.

Съдържание

Характеристика на дисертационния труд.....	1
Актуалност на проблема	1
Проблем	1
Цел и задачи на изследването	2
Обект и предмет на изследването.....	2
Методи, използвани при изследването	2
Научна новост на изследването	2
Практическа ценност на изследването.....	2
Апробация на изследването	2
Публикации по дисертационния труд.....	3
Съдържание на дисертационния труд.....	3
ГЛАВА I. Управление на електрически разпределителни мрежи. Състояние и тенденции за развитие.	3
ГЛАВА II. Концепция за управление на електрическите разпределителни мрежи с използване на ИИС.....	4
II.1. Цели и режими на управлението с ИИС	5
II.2. Метод за управление на потреблението на краен потребител чрез интелигентни измервателни системи.....	6
II.3. Съпоставка на концепцията за управление чрез ИИС спрямо съществуващата практика в Р България	8
II.4. Изводи	9
ГЛАВА III. Реализация на концепция за управление на електроразпределителната мрежа с включена интелигентна измервателна система.	9
III.1. Основни фактори влияещи върху успешното внедряване на ИИС	9
III.2. Внедряване и обслужване	11
III.3. Изводи	13
ГЛАВА IV. Математични модели за оценка ефектите от внедряването на интелигентна измервателна система, като част от управлението на електрическа разпределителна мрежа.....	14
IV.1. Оценка на разходите и ползите от внедряването	14
IV.2. Остойностяване на ползите от внедряването	15
IV.3. Изводи.....	20
ГЛАВА V. Тестване на създадените модели за оценка на ефектите от внедряването на ИИС.	20
V.1. Тестови случаи, входни данни и резултати	20
V.2. Оптимизиране на разходите за небаланс на потребители	22
V.3. Оптимизиране на разходите за небаланс на производители от ВИ.....	29
V.4. Оптимизиране на разходите за небаланс при потребители и производители на електрическа енергия.....	30
V.5. Приходи на собствениците на балансиращи мощности	31
V.6. Изменение на товарите графици от доставяните системни услуги	32
V.7. Отлагане на инвестиции	35
V.8. Определяне на срок на откупуване на инвестицията.....	36
V.9. Изводи	37
Приноси на дисертационния труд	38
Abstract (Резюме на английски език).....	39
Zusammenfassung (Резюме на немски език).....	40
Съдържание	43