



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

**Факултет: Електротехнически
Катедра „Електроенергетика“**

Маг. инж. Васил Стоилов Драмбалов

**ОПТИМИЗАЦИЯ НА СХЕМИТЕ НА ЕЛЕКТРО-
РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ МРЕЖИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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

Област: 5. Технически науки
(шифър и наименование)

Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика
(шифър и наименование на направление в посочената област)

Научна специалност: Електрически мрежи и системи
(наименование на научната специалност)

Научни ръководители:
Проф. д-р Валентин Генов Колев
Доц. д-р Светлана Георгиева Цветкова

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „ЕЕ“ към Електротехнически Факултет на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 16.04.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 25.06.2018 г. от 13⁰⁰ часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ- 127 / 25.04.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р инж. Валентин Колев
2. доц. д-р инж. Димо Стоилов – председател
3. Проф. д-р инж. Стоян Стоянов
4. доц. д-р инж. Кирил Янев – научен секретар
5. доц. д-р инж. Живко Гроздев

Рецензенти:

1. доц. д-р инж. Кирил Янев
2. доц. д-р инж. Димо Стоилов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет Електротехнически факултет на ТУ-София, блок №12, кабинет № 12222.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Електроенергетика“ на факултет Електротехнически. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Васил Драмбалов
Заглавие: Оптимизация на схемите на електроразпределителни мрежи
Тираж: 30 броя
Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Разпределителните електрически мрежи постоянно се развиват, непрекъснато се появяват нови консуматори и инфраструктурни обекти, които трябва да бъдат захранени с електрическа енергия. Наред с това съществуващите мрежи се амортизират, увеличават се свързаните към тях консуматори и се налага те да бъдат допълвани, доразвивани или разширявани. Затова постоянно се търсят методи за оптимизиране на електрическите мрежи и се прибегва до цялостно или частично проектиране.

Поради непрекъснатото нарастване цената на електро строителството, услугите и цената на електрическата енергия, се налага нов подход към проектирането, изграждането, обслужването и впоследствие към реновирането (реконструкция и модернизация) на електрическите мрежи средно и ниско напрежение. Пред проектантите винаги ще стои въпросът за икономично проектиране на електрическите мрежи, с цел максимално възвръщане на капиталните вложения за съответния период на експлоатация. За електрическите мрежи средно напрежение и ниско напрежение, той се приема 10-15 години. Определяща характеристика (задача) при една мрежа Ср.Н. и Н.Н. е линейната плътност на товара, или при зададена площ и съответстваща и мощност е определяне на оптималното сечение на проводниците и броят на захранващите източници.

В последните години, нарасна значително делът на комбинирано използване на топлинна и електрическа енергия през летния и зимния период за отопление и охлаждане на жилищните райони в областните градове на Република България. Изследването на силовите трансформатори в трансформаторните постове и Районни Подстанции с цел ограничаване на технологичните загуби на електроенергия е важна част от дисертацията. Направени са предписания за тяхното ефективно използване през летния и зимния период. Предложен е нов подход за определяне на тяхното местоположение. Необходимо е да се въведат нови закони и разпоредби в бъдеще, така че всеки производител на зелена енергия да може да включи генераторни мощности почти във всяка точка на системата. С цел оптималното им използване са разработени системи за оптимално управление и включване на тези мощности в подходящия момент и подходящото място, в зависимост от големината на напрежението и товара.

Целта на дисертационният труд е да се извърши оптимизация на изграждането на мрежи ниско и средно напрежение, като се разработят

математически модели, методи и алгоритми за оптимален избор на решения за рационално обоснована конфигурация на електрическите мрежи.

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

1. Да се състави методика за определяне на оптималния вариант за електрозахранване на комунално-битови товари от мрежи средно и ниско напрежение.

2. Да се определят оптималния брой понижаващи подстанции В.Н./С.Н. на районна електрическа мрежа в зависимост от мощността и дължината на мрежата.

3. Да се изследва натоварването на трансформаторите при различни схеми на електро- и топлоснабдяване на населението.

4. Да се определи несиметрията и загубите в трафопостове, захранващи електрическите мрежи.

5. Да се изследват електрическите мрежи със симулационни програми.

6. Да се разработят математически модели за решаване на следните задачи:

- определяне на местоположението на източника на захранване в радиална електрическа мрежа на базата на произволни ограничения на местността;

- оптимално захранване на консуматорите при възможност за повече от един източник на захранване;

Обект на изследване се явява системата за електроснабдяване на район с комунално-битови консуматори. В него са включени също и оптималното разположение на районни подстанции и рационалното използване по мощност на трансформаторите в трансформаторни постове и подстанции.

Методи за изследване: Използвани са евристични методи за моделиране; методи на еволюционното моделиране и програмиране; методи на генетичното моделиране и програмиране; специални методи за оптимизация на графите. Изследванията се реализират с помощта на програмите Matlab, Excel, Mathcad и др.

Оригинален принос: Определен е най-подходящият критерий и целева функция за оптимизация на електроразпределителните мрежи. Предложено е оптимизацията на електроразпределителните мрежи да се извършва по минимални годишни приведени разходи. Това е универсален критерий, който най-пълно отчита всички изразходвани финансови ресурси.

Научна новост

Приложени са генетичните алгоритми за оптимизация на електрическите мрежи. Разработен е модел на електроснабдяваща мрежа Ср.Н./Н.Н. на

базата на генетичните алгоритми. Дефинирана е целева функция за определяне на оптималния брой на трансформаторните постове и сечението на хранящите проводници на фидерите. На базата на създадения модел е разработена програма на Matlab за оптимизация на електрически мрежи Ср.Н./Н.Н..

Практическа приложимост

Получените резултати на дисертационното изследване позволяват използване на ефективни методи и алгоритми за решаване на широк клас оптимизационни задачи, възникващи при обосноваване на рационална конфигурация на системата на електроснабдяване. Създадената методика и изчислителни програми в Matlab и Excel позволява на Проектантски къщи, строителни фирми и електро-разпределителни компании да изчисляват и избират оптимален вариант за електрозахранване на консуматорите в малки населени места. Представен е метод на мрежите за определяне центъра на товара. С този метод електрически мрежи средно и ниско напрежение могат да се проектират, разширяват и реновират. Представени са отзиви от проектантски, строителни фирми и електро разпределителни дружества.

Апробация

Резултатите от изследванията на дисертационният труд са публикувани и докладвани в списание ЕНЕРГЕТИКА. бр.2 от 2013 г, на международна конференция - International Conference Technics, Technologies and Education ICTTE 2016, Yambol и национални конференции - Научни трудове на СУБ-Пловдив, 2013 г., 2015г. и 2017 г.

Публикации

Общо са публикувани 6 броя статии, от които една в списание, четири в СУБ - Пловдив и една на конференция с международно участие гр. Ямбол.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 158 страници, като включва увод, четири глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 157 литературни източници, като 99 са на латиница и 58 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 33 фигури и 25 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМИТЕ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Въведение. Обосновава се актуалността на проблема за оптимизация конфигурацията на системите на електроснабдяване, на основание на която е формулирана целта и задачите на изследването. Определено е основното съдържание на дадената дисертациона работа.

Първа глава се посвещава на анализа на състоянието на проблема и постановката на задачата за оптимизация избора на решение при обосновка на рационалната конфигурация на системата на електроснабдяване.

Съвременните електрически мрежи са сложни географски системи. Те имат нееднотипна конфигурация на развитие. Поради сложността и многовариантността на съвременни системи за електрозахранване, съществуват различни предпочитания при избора на схемни решения. Проблемът за обосноваване на изследванията и развитието на тези електрически мрежи е, че тя е тромава от практическа гледна точка и непреодолима в някои случаи.

Като се има на предвид сложността на проблема, решението се разглежда като система от проблеми. Необходимо е поетапно изясняване и подробно описание на решенията за развитието на електрическите мрежи.

На първият етап се решава задачата за дефиниране на проблема за рационалната конфигурация на електрическите мрежи, включително оптимизиране на разположението на захранващите източници (ПС). Оптималното захранване на потребителите от трансформаторни подстанции, присъединителни елементи на електрическата система под формата на определена структура, оптимизиране маршрута на електропроводите, свързващи потребителите с ПС, и така нататък. Конфигурацията на системата на електрическите мрежи като цяло дава уникална идентификация на топологични свойства на електроразпределителната мрежа.

При проектирането на токозахранващи системи за различни цели винаги има ограничения на генералният план върху обекта на проектирането, технологията на производство и т.н. Необходимо е да се разработят нови математически модели и методи за проектиране и изграждане на електрическите мрежи, като се вземат предвид такива ограничения в общия случай на неравномерното разпределение на електрическите товари и

произволната форма на територията, където електроенергийната система е проектирана.

Поради сложността на решаването на комплекса от задачи за рационалната обосновка на конфигурацията на системите за електрозахранване и многото специфични задачи [97, 98, 99, 101] все още те не са подробно разглеждани и не е вземано решение за тяхното отстраняване. Предизвикателствата които стоят пред проектантите са следните:

- Проблемът за оптимално разполагане на един източник на захранване с отчитане на произволни ограничения на областта, в случай на електрозахранване от радиална електрическа мрежа;

- Задачата за оптимално захранване на потребителите от два или повече източника на захранване;

- Задачата за оптимално разполагане на множество източници на захранване (с различни по големина мощности) и едновременно осигуряване на клиентите за тези източници на електроенергия, проблемът на свързване на няколко трансформаторни подстанции [89], (ТП) в структурата на контурна верига.

При направения литературен преглед за оптимизацията на електрическите мрежи [82, 86, 88, 90, 91, 92, 93], много от авторите използват следните методи :

- Парето методи за оптимизация;
- Метод на мравките;
- Табу търсещи методи;
- Генетичните методи за оптимизация;
- Метод на пътуващия търговец и др.

Доста интензивно се провеждат изследвания върху синтеза за оптимална конфигурация на електроразпределителните мрежи в чужбина (Sahoo N., Ganguly S., Diaz - Dorado D. , Aoki K. , Navarro A. , Ramirez - Rosado I.J. , и др.) , както се вижда от големия брой публикации по темата. За повече от тридесет години назад, се поставят различни постановки на задачи за оптимизация на електроразпределителните мрежи и се решават с помощта на различни модели. Показаното в литературата е, че тези проблеми могат да бъдат решени с помощта на непрекъснати или дискретни целеви функции. За справяне с тези проблеми могат да се прилагат както класическите методи за оптимизация така и алгоритми като методът на графите, еволюционното моделиране, генетичните и евристични алгоритми.

Разпределителните електрически мрежи постоянно се развиват. Непрекъснато се появяват нови консуматори и инфраструктурни обекти, които трябва да бъдат захранени с електрическа енергия. Наред с това

съществуващите мрежи се амортизират, увеличават се свързаните към тях консуматори и се налага те да бъдат допълвани, доразвивани или разширявани. Затова постоянно се търсят начини за оптимизиране на системите и се прибягва до цялостно или частично проектиране.

В настоящата работа са разгледани въпросите, свързани с оптимизация на електрическите мрежи средно и ниско напрежение и оптималното разположение на източниците на хранане. Определен е броят и мощността на трансформаторните постове и оптималното сечение на хранващите проводници, при зададена площ и плътност на товара.

С нови закони и разпоредби, вече ще може да се включват генераторни мощности на зелена енергия почти във всяка точка на системата. За използването им са разработени системи за оптимално управление и включване на тези мощности в подходящ момент и подходящо място, в зависимост от големината на напрежението и електрическият товар.

1.2. Съкращаване на годишните приведени разходи за електрическа мрежа средно напрежение

Техническото състояние на електрическите мрежи средно напрежение, както и желанието за съкращаване на годишните приведени разходи за тях, водят до снижаване на сигурността на електроснабдяването на битовите потребители. В Република България около 50% от основните, намиращи се в експлоатация съоръжения в мрежата [3,25], превишават предвидения нормативен срок на годност, а степента на износване често е критична. Голяма част от това електро обзавеждане се намира в експлоатация 1,5-2 пъти над нормативния срок на годност. Частта на износеното електро обзавеждане за подстанции 110/20 kV е от порядъка на 20%, а за подстанции 20/0,4 kV е 35% [140].

Съществуват вътрешни и външни фактори за развитието на електроразпределителните мрежи, които са следните:

- **Ограничени финансови ресурси:** Основни инвестиционни разходи за електрическите компании са разходите за технологично присъединяване, разходите за снижаване на загубите на електрическа енергия в мрежата и амортизационния фонд. Вследствие несъвършената оценка на стойността на основните фондове и високата степен на износването им, средствата за амортизационни отчисления са незначителни. В тази връзка, инвестиционната политика е недостатъчно оптимизирана и обоснована, не съществува дълбок анализ за състоянието на техническите и технологични условия на функциониране на електропреносната и електроразпределителната мрежа.

В много от мрежовите компании инвестициите за реконструкция и техническо възстановяване, са сравними или по-големи от тяхната остатъчна стойност. В действителност, разходите са на порядък по-малки от изчисленията. Електроразпределителните мрежи са привлекателен обект за инвестиции. Изчисленията показват, че инвестициите в развитието на разпределителните мрежи се възвръщат в относително кратък период от време, а именно за 5-7 години.

- **Повишени изисквания към качеството на електрическата енергия:** Новите производства не допускат прекъсване на електроснабдяването. Затова сигурността (надеждността) на електроснабдяването не трябва да бъде по-малка от 99%. Трябва да се отбележи, че цифровата електроника е много чувствителна към неустойчивите режими на работа на мрежата, особено при промяна на честотата на захранващото напрежение и отклонения от неговата номинална стойност.

- **Увеличаване на площта, заемана от електрическата мрежа:** Проблемът става критичен, вследствие на бързото повишаване на цената на земята и ограниченията, които се налагат при изграждане на въздушни и кабелни линии в райони с жилищно строителство, природни резервати и паркове. При това се повишават изискванията към снижаване на електромагнитните излъчвания, с цел осигуряване безопасността на хората. Строителството на обектите е свързано с отчуждаване на земя от селското стопанство или от предградията на големите градове, която няма да носи приходи за стопанството. Особено остро стои проблемът в големите градове.

Анализът показва, че реорганизацията на електрическите мрежи позволява, да се повиши икономическият оборот до 20% от съществуващия, както и значително да се увеличи обемът на строителството.

- **Липсата на единство в интересите на енергоразпределителните дружества:** В противоположност на националната електрическа компания (НЕК), енергийните дружества, управляващи разпределителните мрежи в България (газоразпределителни, нефтени и електроразпределителни), имат няколко собственика и е нормално при тях да липсва консолидация на интересите. Техническото ниво на мрежата се различава от ефективността на нейното функциониране, което води до некоординираност с нормативно техническата база и липса на единна техническа и технологична политика в електрическите мрежи.

- **Ограничение на пропускателната способност на мрежата:** В момента, по технически причини, не е възможно присъединяване на всички консуматори към електрическите мрежи на КЕЦ (клиентски енергиен

център). В резултат на това през последните години се увеличават неудовлетворените молби на консуматорите на електрическа енергия.

Списъкът на ограничаващите фактори може да бъде продължен. Така че днес е нужна концепция за това, как активно да се повлияе или да се реагира на вътрешни и външни предизвикателства.

➤ **Цел и задачи на развитие.**

Развитието на електроразпределителните мрежи трябва да бъде насочено към подобряване на сигурността, качеството и ефективността на електроснабдяването на консуматорите на енергия чрез непрекъснато усъвършенстване на мрежите на базата на иновативни технологии [8, 9, 10], с цел -превръщането им в интелигентни (активно-адаптивни) мрежи.

За постигане на целта в рамките на техническата политика, е необходимо да се извърши следното:

1. Разработване и въвеждане на нови видове на електрическо силово обзавеждане.

2. Използване на нови методи и средства за релейна защита и автоматика, апаратура за диагностика и измерване на електроенергията с микропроцесорна апаратура.

3. Въвеждане на система за контрол на техническото състояние на електрическото обзавеждане.

4. Използване на система за събиране на данни, предаване и обработка на информация, както софтуер и хардуер за адаптивно регулиране, способни да въздействат в реално време върху активните мрежови елементи на електроконсумация (Системата SCADA).

5. Осигуряване на условия за защита на мрежата от външни влияния и безопасност при експлоатация.

6. Прилагане на мерки за подобряване на сигурността на електроснабдяването и качеството на електрозахранването, както и нови концепции за контрол на електрическите мрежи и дизайн, на базата на текущите параметри на режима за наблюдение и контрол (мониторинг). Също така и текуща оценка на мрежата при нормални, или предварително настъпващи спешно аварийни и след аварийни ситуации.

7. Координиране и оптимално взаимодействие между мрежата и независимите производители на електроенергия.

8. Гъвкави пазарни механизми на взаимодействие между мрежовите компании и потребителите.

Целта може да се постигне чрез актуализиране на мрежите, като се инвестира в обзавеждане на подстанции и електропроводи средно

напрежение, и/или чрез разработване на модерни системи за експлоатация на мрежата.

Технико-икономическите принципи за избор на инвестициите се обосновават с оптимизация на съществуващите показатели посредством съответната целева програма, включваща в себе си загубите, паричния еквивалент на вредата на консуматорите от недоставена електроенергия и др. показатели. За оптимизацията трябва да бъдат достъпни средства за провеждане на макроикономически изследвания на основата на използването на различни хипотези, технологично и методологично развитие (техника за моделиране) на разпределителните електрически мрежи, които трябва да доведат до:

- Оценка на отношенията на техническите и икономическите фактори (между разходите за реконструкция и качеството на захранването и други фактори).

- Развитие схемата на бъдещото разширяване на електрическите мрежи и инвестиционните планове на строителство (реконструкция) на мрежовата инфраструктура.

- Инвестиционни проекти на иновативни технологии и електрообзавеждане.

В тази връзка е необходимо да се разработят общи регулаторни изисквания за оптимизация на технологични и технически условия за развитие на електроразпределителните мрежи, като се вземат в предвид:

- методи за оценка на остатъчната стойност на съоръжения за електрозахранване.

- количествени критерии за оценка на инвестиционната привлекателност на електро-разпределителните мрежи;

- качеството на проектиране се основава на базата на използването на системи за автоматизирано проектиране на мрежови обекти.

- оптимизацията на режимите на електрическата мрежа, осигуряваща минимална цена по всяко едно време на натоварването, което се постига чрез:

- избор на конфигурация на електрическите мрежи и избор на обзавеждане, включено в работата;

- управление параметрите на работа на мрежата:

- създаване на оптимална система на разпределителните напрежения.

За да оптимизираме режима на електрическата мрежа, е необходимо да се намалят сумарните активни загуби на електроенергия в мрежите, което се постига чрез оптимална селекция на мощността и определяне на местата на компенсиращите устройства. Коефициентът на трансформация се избира

като се вземат в предвид техническите ограничения и избора на обзавеждане, в съответствие със схемата на изграждане на електрическата мрежа. Оптимизация се постига и чрез решаване на уравнения за установено състояние, [1,2,8] с използването на градиентни методи. Целта на оптимизацията е:

- най-ефективното използване и интегрирано развитие на територията, с цел гарантиране на обществения интерес, социалната сигурност и подобряване на качеството на местообитанието и.

В резултат на направения обзор на оптимизацията на електроразпределителни мрежи средно напрежение могат да се направят следните изводи:

1. Развитие на електроразпределителната мрежа е свързано с решението на различни задачи, което изисква категорично оптимизация на технологическите и технически условия. В тази връзка, се налага да се разработят нормативни документи за проучване и провеждане на оптимизация в електрическата мрежа средно напрежение.

2. Оптимизацията на мрежите трябва да предшества разработването на бъдещи схеми за развитие на електроразпределителните мрежи, а именно:

- Схеми за развитие на електрическите мрежи 110 kV (в рамките на изследването) и оптимизиране на схемите за развитие на електро-енергийния комплекс;

- Схеми за развитие на мрежите 20 kV и по-ниско за електрическата мрежа на Република България.

3. Инвестиционни програми за подобряване на надеждността и икономията на електроенергия, а също така и друга проектно-сметна документация за изграждане или реконструкция (включително и надграждане) на електрическата мрежа. Подновяване на съоръженията в разпределителните мрежи може да се проведе само, ако са налице перспективни схеми за развитие на мрежите средно напрежение.

ГЛАВА 2. МЕТОДИ ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ

2.1. Увод

Математическите методи за оптимизация са голям дял от Висшата математика. Обект на изследване обикновено са задачи, в които се търси екстремум на функция (минимум или максимум) на една или повече променливи в определена дефинирана област [1, 21, 26, 42, 43, 45, 69]. Такива задачи често се срещат в промишлеността, транспорта, селското стопанство, икономиката, енергетиката и др.

Казваме, че целевата функция има абсолютен (глобален) екстремум в точка от допустимата област, ако стойността на функцията в тази точка е екстремална за цялата област. Точката от допустимата област се нарича оптимална точка или оптимално решение. Целевата функция има локален екстремум в точка от допустимата област, ако съществува околност на тази точка, в която стойността на целевата функция е екстремална. Всеки глобален екстремум е локален екстремум, но обратното не е вярно [39].

За да се реши реална задача от практиката, чрез математическите методи на оптимизация, трябва да се опише със съответен математически апарат или да се състави математически модел. Той трябва максимално точно или частично да описва протичащите процеси. Този процес се нарича математическо моделиране, той е важен процес, тъй като благодарение на него се избира математическият метод за анализиране на получените решения. Един модел е адекватен, ако определя близки стойности на целевата функция и реалната цел при едни и същи стойности на променливите на модела и реалната задача. Ако адекватността не е достатъчна, то тогава той се коригира, след което процесът се повтаря.

Решаването на задачи за безусловна оптимизация на функции с няколко променливи с методите на прякото търсене и градиентни методи е удобно за вземането на оптимални решения в електроенергетиката. Приложението на оптимизационните методи, намира особено голям успех при проектиране и анализ на големи технически системи. Освен това интензивното развитие на изчислителната техника стимулира с ускорени темпове внедряването на теоретическите разработки в инженерната практика.

2.2. Методи на прякото търсене

Многомерните методи за оптимизация, основани на базата на изчисляване на целевата функция $f(x)$, могат да бъдат разделени като теоретични и евристични. По първата процедура търсенето се осъществява, чрез използване на интуитивни геометрични представяния. Тези методи осигуряват получаването на частни емпирични резултати.

Теоретичните методи, основани на основните математически теореми имат операционни свойства като конвергенция (сходимост).

ГЕНЕТИЧНИ АЛГОРИТМИ (ГА)

Генетичните алгоритми (ГА) принадлежат към оптимизационните методи за решаване на нелинейни функции. Основната им структура е разработена от Джон Холанд [126] в книгата му „Адаптацията в естествени и

изкуствени системи”. В нея той описва принципите на естествената еволюция върху оптимизационните проблеми. По този начин той изгражда теорията за генетичните алгоритми, като днес ГА са мощен инструмент за решаване на оптимизационни задачи.

Този нов и модерен изчислителен метод се базира на принципите на генетиката и еволюцията. От друга страна, съвременната компютърна техника създава възможност да се симулират процесите на еволюция, адаптация, обучение и управление в условия на непригодност.

При ГА се работи с малка популация, но при липса на сходимост към оптимално решение се прибегва към генериране на нови случайни хромозоми. Основните етапи на ГА са:

- 1) инициализиране на първоначална популация (случайна);
- 2) оценяване на пригодността на всяка хромозома от популацията;
- 3) избор на най-пригодните индивиди („елит”);
- 4) избор на хромозоми за репродукция;
- 5) кръстосване;
- 6) мутация;
- 7) следващо поколение;
- 8) оценяване на пригодността на новите хромозомите от популацията;
- 9) ако условието за прекратяване е изпълнено, се извежда най-доброто решение; а ако не е изпълнено – най-пригодните индивиди се запазват за пренареждане;
- 10) пренареждане на най-пригодните индивиди и случайно генериране на останалите индивиди;
- 11) връщане в 4).

При реализирането на всеки от етапите съществуват различни проблеми, например: как се генерират хромозомите, какво кодиране се използва, какви параметри на кръстосването и мутацията да бъдат избрани, как да се избират родители и пр.

- **Основни операции на генетичните алгоритми**
- **Кодиране**

В различните приложения се използват различни кодирания на хромозомите – двоично кодиране, кодиране по пермутации, кодиране по стойност, кодиране в дърво и други. При кодирането на хромозомите основно изискване е всяка хромозома да съдържа информация за решението, което тя задава. В ГА най-често се използва двоично кодиране, при което k -тата хромозома има вида:

11011001....001101101,

като всяка група от нули и единици може да задава някоя характеристика на решението. Кодирането по пермутации е подходящо предимно за задачи, свързани с намиране на наредба. Кодирането по стойност може да бъде използвано в задачи, в които е наложително използването на по-сложни представяния. Използването на двоично кодиране, при което този вид задачи би било твърде сложно. При кодиране по стойност, всяка хромозома е стринг от някакви стойности. Стойностите могат да бъдат числа, реални числа или символи, дори в някои случаи – обекти. Кодиране в дърво се използва при главно динамично програмиране. При кодиране в дърво всяка хромозома представлява дърво от някакви обекти, например, функции или команди в програмен език. В приложения от този вид е често използван програмния език LISP, защото програмите се представят в тази форма и кръстосването и мутацията могат да се извършат относително лесно.

➤ **Параметри на ГА**

ГА имат три основни параметъра:

- обем на популацията M ;
- вероятност за кръстосване pc ;
- вероятност за мутация pm .

Обемът на популацията M е равен на броя хромозоми, включени в съответното поколение. При недостатъчно голям обем, при реализиране на ГА се осъществяват малко на брой кръстосвания и решението се търси само в малка част от пространството на евентуални решения, а при твърде голям брой – ГА става бавен. Вероятността за кръстосване задава честотата на осъществяване на кръстосването, като при вероятност $pc=0$, цялата нова популация се получава като точно копие от гените на предходната, а при $pc=1$, цялата популация е с нови гени, които са части от родителските хромозоми. Вероятността за мутация задава честотата на мутиране на гени от хромозомата. При $pm=0$, поколение е точно копие на полученото след кръстосване, а при $pm=1$ цялата хромозома напълно се променя. При стойности на pm , близки до 1, ГА става алгоритъм за произволно търсене.

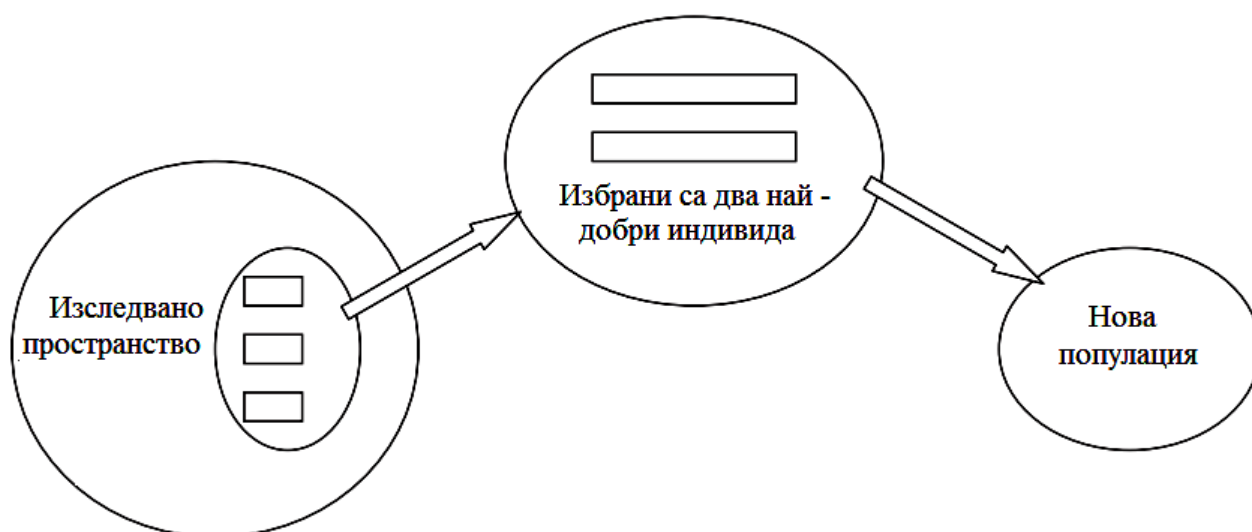
- Селекция

Селекцията е метод, който произволно избира хромозоми от популацията според оценъчната им функция. Колкото по-голяма е пригодността им, толкова по-голям шанс индивидът има да бъде избран.

Съгласно еволюционната теория на Дарвин [100], най-добрите индивиди оцеляват и създават ново поколение. Изборът на хромозоми за репродукция може да бъде осъществен с различни методи: селекция по рулетка, селекция по ранг, селекция на устойчивите състояния и други. При

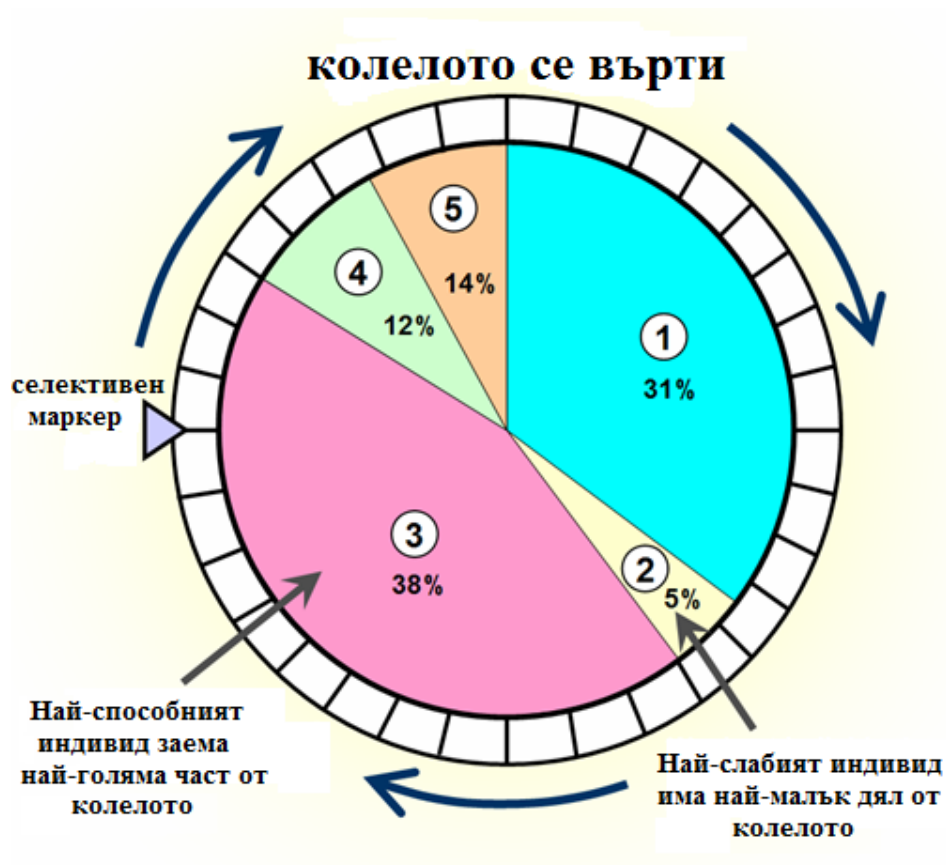
селекция по рулетка, вероятността за избор на дадена хромозома е правопрпорционална на нейната пригодност, т.е. колкото по-добро решение на проблема дава дадена хромозома, толкова по-голяма е вероятността тя да бъде избрана за родител. При селекция по ранг, първо всички хромозоми се подреждат според пригодността им и на всяка от тях се приписва ранг от 1 до M . Тогава вероятността за избор на дадена хромозома е правопрпорционална на нейният ранг. При селекция по устойчивост на състоянието от всяко поколение се избират няколко „добри“ хромозоми за създаването на новото потомство, а няколко „лоши“ се заместват с получените деца от „добрите“ хромозоми. Останалата част от популацията се запазва.

Методът на рулетката е един от традиционните видове селекции при ГА. Най-често срещаният репродуктивен оператор е пропорционалният репродуктивен оператор, при който се избира низ от изследваното пространство с вероятност, пропорционална на пригодността.



Фиг.3.9. Селекция

Принципът на този метод може да се сравни с рулетка в казино (Фиг. 3.10).



Фиг.3.10. Метод на рулетката (*Roulette Wheel Selection*)

Обикновено пропорции от колелото се иницират с всяка от възможните селекции, базирани на стойностите на техните функции на пригодност [126]. Това може да се постигне, като се раздели пригодността на селекция от общата пригодност на всичките селекции. След това се извършва произволна селекция подобно на въртенето на рулетката.

- Кръстосване

При кръстосването се избират гени от родителските хромозоми за създаване на новото поколение. Един възможен подход за това е случаен избор на позиция, като всички гени преди тази позиция се запазват, а всички гени след нея се унаследяват от другия родител, например:

k -та хромозома (родител 1) 11011001...00 1101101
 $k+1$ -ва хромозома (родител 2) 11100001...01 1001011
 k' -та хромозома (дете 1) 11011001...00 1001011
 $(k+1)'$ -ва хромозома (дете 2) 11100001...01 1101101

- Мутация

При мутацията новото поколение се променя случайно, като това е предпазна мярка против попадане в локален оптимум. Един често използван метод за мутация е промяна на случайно избран ген от 1 в 0 или от 0 в 1, например:

k -та хромозома 11011001....001101101

k' -та хромозома 11010001....001101101

Изводи

1. Разгледаните групи методи за безусловна оптимизация могат да бъдат сравнени по скорост и точност на тяхната работа.

При методите за пряко търсене, обикновено, не се изисква информация за поведението на целевата функция, а само нейната стойност. За намиране на решения с висока точност броят на итерациите е голям, тъй като провеждането на търсенето при тях е „сляпо“. Поради това, евристичните алгоритми за търсене на решения достигнат няколко десетки итерации, а реално те изпълняват до десет итерации (в зависимост от функцията).

Градиентните методи притежават голяма скорост, но изискват информация за поведението на функциите във вид на производни, намирането на които понякога е много сложно. Предимство на тези методи се явява високата точност на получените решения.

2. Може да се обобщи, че сред разгледаните методи и алгоритми за оптимизация нито един от тях не е напълно универсален и подходящ за решаване на задачи при всякакви условия.

ГЛАВА 3. ВАРИАНТНО ИЗСЛЕДВАНЕ ПРОЕКТИРАНЕТО НА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНА МРЕЖА СРЕДНО НАПРЕЖЕНИЕ

3.1. Методи за проектиране на мрежи средно напрежение в област от територията на Република България

Винаги, когато се проектира електрозахранването на райони от територията на страната, стои въпросът за определяне местоположението на подстанциите В.Н./С.Н., и се уточнява техният брой. За тази цел се съставят варианти при електрозахранване от една или няколко подстанции, и се избира най-икономически изгодния вариант за областта. Това е дълъг изчислителен процес, който отнема доста време, и макар с използване на съвременната изчислителна техника, нерядко се получават значителни грешки.

Методите по които се избират проводниците в електрическите мрежи, подробно са описани в [11, 12, 13], като те са следните:

1. по допустимо нагряване на проводниците.
2. по термична устойчивост на тока на късо съединение.
3. по допустима загуба на напрежение.
4. по загуби от явлението корона.
5. по механични показатели.

6. по минимален разход на метал.
7. по икономическо сечение и др.

3.2. Оптимизация на проектирането на Районна разпределителна мрежа средно напрежение

При проектирането на електрически мрежи средно напрежение [16, 17, 20] е необходимо, да се намалят капиталните вложения за изграждането на Районните Разпределителни мрежи и да се намалят загубите на мощност и електроенергия в тези мрежи. За постигането на целта е необходимо да се намали дължината на електрическата мрежа средно напрежение, [30, 31, 32] за сметка на по-дълбокото навлизане на мрежа 110 kV,. Това изисква повишаване броя на понижаващите подстанции 110/20 kV

С увеличаване броя на понижаващите подстанции се увеличават и капиталовложенията [127, 131, 132], но това не е от решаващо значение, тъй като става въпрос за една или няколко типови подстанции, които не изискват големи капиталовложения.

Една от главните съставлящи на капиталовложенията е стойността на електрическата мрежа. 90% от стойността на цялата мрежа се формира от разходите за изграждането на мрежа средно напрежение. Това до голяма степен предопределя насоката на оптимизацията.

Уравнението за капиталовите разходи е:

$$K = \sum_{i=1}^m K_{inc} + \sum_{i=1}^n K_{imp} \cdot L_{imp} + A_q \cdot \left\{ \sum_{i=1}^m \Delta P_{inc} + \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2 \cdot r_{oi} \cdot L_{oi}}{U_{in}^2 \cdot \cos(\varphi_i)^2} \right\} \quad (3.30)$$

където:

K - общи капиталовложения за проекта;

K_{inc} - капиталовложения за изграждане на подстанция 110 / 20kv ;

L_{imp} - дължина на електрическата мрежа;

K_{imp} - капиталовложения за изграждане на електрическата мрежа 20kv ;

A_q - стойност в лева на един киловат изградена мощност;

ΔP_{inc} - загуби на мощност в подстанцията 110 / 20kv ;

P_i - електрическа мощност в i -участък;

r_{oi} - съпротивление в i -участък;

L_{oi} - дължина на мрежата в i -участък;

U_{in} - номинално напрежение;

$\cos(\varphi_i)$ - номинален фактор на мощността на консуматорите.

Предложените промени в проектирането на разпределителните мрежи, дават отражение върху намалението на експлоатационните разходи [34].

С намаляването на общата дължина на мрежата средно напрежение [12, 13,20], се намаляват разходите и стойността на загубената в нея електрическа енергия. Уравнение (3.31) включва всички променливи и постоянни съставки свързани с експлоатацията на мрежата.

$$C = \frac{8,65}{100} \cdot \sum_{i=1}^m K_{inc} + \frac{5,9}{100} \cdot \sum_{i=1}^n K_{imp} + m \cdot C_4 + \sum_{i=1}^m \Delta P_{inc} \cdot \tau \cdot \beta + \sum_{i=0}^n \frac{P_i^2 \cdot r_i \cdot L_i}{U_{ном}^2 \cdot \cos(\varphi_i)^2} \cdot \tau \cdot \beta$$

(3.31)

където:

C - експлоатационни разходи;

β - цена на електрическата енергия;

τ - времетраене на максималния товар;

m - брой на обслужващия персонал;

C_4 - годишна заплата на един дежурен електротехник;

$\frac{8,65}{100}$ - коефициент, отчитащ годишните амортизационни отчисления на подстанцията 110/20 kV избрани от [11, 31];

$\frac{5,9}{100}$ - коефициент, отчитащ годишните амортизационни отчисления на електрическата мрежа 20 kV избрани от [11, 31].

Решаващо значение за намаляване както на капиталните вложения, а така също и на експлоатационните разходи, има дължината на мрежа средно напрежение.

Оптимизацията на тази мрежа основно зависи от големината на електрическия товар и размера на проектираната за захранване площ. Определящ параметър е стойността на специфичния електрически товар, който зависи от сумарната дължина на разпределителните линии средно напрежение. Целта, която се поставя, е да се минимизират годишните приведени разходи за построяването на електрическата мрежа, захранваща област с определена площ. Представа за минималните годишни приведени разходи ни дава уравнение (3.32).

$$B = \alpha \cdot \left[\sum_{i=1}^m K_{inc} + \sum_{i=1}^n K_{imp} + A_q \cdot \left(\sum_{i=1}^m \Delta P_{inc} + \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2 \cdot r_{oi} \cdot L_{oi}}{U_n^2 \cdot \cos(\varphi_i)^2} \right) \right] + \frac{8,65}{100} \cdot \sum_{i=1}^m K_{inc} + \frac{5,9}{100} \cdot \sum_{i=1}^n K_{imp} + m \cdot C_4 +$$

$$+(\sum_{i=1}^m \Delta P_{inc} + \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2 \cdot r_{oi} \cdot L_{oi}}{U_n^2 \cdot \cos(\varphi_i)^2}) \cdot \tau \cdot \beta \quad (3.32)$$

където:

B - годишни приведени разходи;

α - коефициент, който отчита възвращаемостта на капиталните вложения.

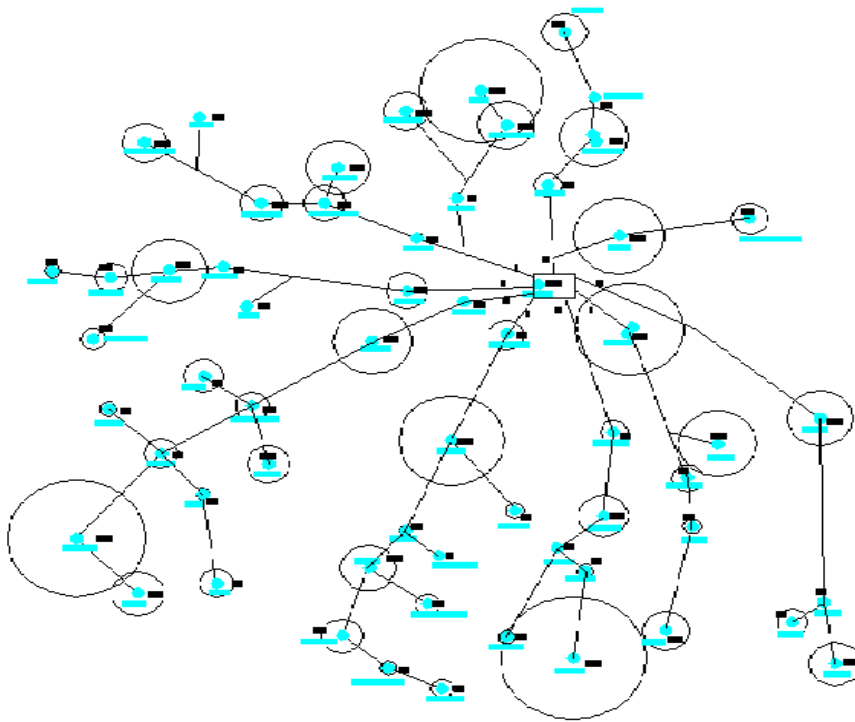
Колкото по-малка е стойността на специфичния електрически товар, и колкото по-голяма е дължината на разпределителната мрежа средно напрежение, сумарните годишни приведени разходи ще бъдат минимални при по-голям брой подстанции - уравнение (3.32).

За проверка на извършените изследвания разглеждаме два случая. Избрани са две реални области от територията на Република България. Те се характеризират с различна гъстота на популацията на населението, а от там и с различен специфичен товар, и съответно с различна дължина на мрежата средно напрежение.

В първия случай е взета област в близост до гр. Плевен и е показана на фиг.3.4. В първи вариант е проектирана разпределителна мрежа с една подстанция 110/20kV и съответстващата ѝ разпределителна електрическа мрежа 20kV. Изчислени са сеченията на проектираната мрежа, определени са загубите на мощност в трансформаторите на подстанцията и в мрежата средно напрежение. Изчислени са капиталовложенията за построяване на подстанцията, на мрежата средно напрежение и мрежата 110kV фиг.3.5.

Областта се характеризира с по-голяма плътност на електрическият товар - 12,2 kW/km². Подробни изчисления са дадени в таблици ТЗ.1,ТЗ.2 и ТЗ.3.

Върху същата територия проектираме втори вариант с разпределителната мрежа средно напрежение 20kV. Разликата се състои в проектирането на две подстанции, с което значително се съкращава дължината на мрежата средно напрежение таблици ТЗ.1.1, ТЗ.1.2, ТЗ.2.1, ТЗ.2.2, ТЗ.3.1 и ТЗ.3.2. След проведените изчисления се установи [13], [31], че оптимален е първи вариант с една подстанция. Тъй като сумарните годишни приведени разходи в първи вариант ($B_1 < B_2$ - уравнение (3.32)) са по-малки от втори вариант. Този резултат съответства на плътност на товара 12,2 kW/km².(Случай А).



Фиг.3.4. Районна разпределителна мрежа средно напрежение

Случай А, Вариант - 1

Капиталовложения за изграждане на ПС №1. Таблица 3.1

№	Наименование	Брой	Ед.цена лв.	Крайна цена лв.
1	Входно Поле 110 кв.	1	150000	150000
2	Трафо поле 110 кв.	2	150000	300000
3	Трансформатори 110/20 кв.	2x25 MVA	470000	940000
4	Трафополе 20 кв.	2	30000	60000
5	Изводи 20 кв.	8	30000	240000

Капиталовложения за изграждане на мрежа 20 кв. на ПС1. Таблица 3.2

№	Сечение мм ²	Ед. цена лв.	Дължина в км.	Крайна цена лв.
1	АС 95	42000	61,6	2587200
2	АС 70	40200	174	6994800
3	АС 50	37500	44,4	1665000
4	АС 35	35000	92,4	3234000
5	Ел. Провод 110 кв.	69000	20	1380000
6	Сумарна стойност \sum Кмр.			15861000

Експлоатационни разходи за ПС1. Таблица 3.3

Буквено означение	Формула за пресмятане	Стойност в лева
$C_1 =$	$\frac{8,65}{100} \cdot \sum K_{pc} =$	146185
$C_2 =$	$\frac{5,9}{100} \cdot \sum K_{mp} =$	935799
$C_3 =$	$\Delta A \sum \cdot \beta =$	544845
$C_4 =$	$n \cdot \alpha =$	24000
$K_{ц} =$	$\Delta P \sum \cdot 3000 =$	5226997
$B1 =$	$0,1 \cdot K \sum + C \sum =$	3405929

3.5. Приложение на генетичните алгоритми за определяне на оптималния брой понижаващи трансформатори СрН/НН

Захранването на консуматорите с електрическа енергия, при равномерно разпределен товар, се осъществява от трафопостове, в които са монтирани мрежови трансформатори Ср.Н/НН. Когато товарът е концентриран, трансформаторните постове се проектират индивидуално. Определянето на оптималната трансформаторна мощност и броят на трансформаторите [62, 120], захранващи комунално-битов товар в населени места е основна задача на етап предварително проучване и проектиране от проектанските бюра. Когато броят на трансформаторните постове нараства, мрежата Н.Н. намалява като дължина и сечение на проводниците, а нараства с малко дължината на мрежата Ср.Н.

За разглеждания случай се използва една формула на Козлов за конкретно определена задача. Същата се решава с генетични алгоритми [47]. Всички автори на такива формулировки използват определени допускания [104], като равномерно нарастване на товара през годините, линейно разпределен товар, смесена мрежа, всички трансформатори на захранваната територия имат еднаква мощност и др

Целевата функция по [47] има следният вид:

$$C = C_{01} \frac{D}{P_t} + C_1 D + C_{02} + C_2 s + B \frac{D}{P_t} + \frac{P_t^2 c \tau 10^3}{m^2 k^2 \gamma U^2 s} \quad (3.46)$$

Формулира се задача, която се среща много често при проектиране изграждането на селищни системи [107, 109]:

Да се определи оптималният брой понижавачи трансформаторни постове $20/0.4kV$ и сечение на проводниците и кабелите за мрежа Н.Н., за електроснабдяване на дадено населено място при следните изходни данни:

U_H -номинално първично напрежение на трансформатора $U_H = 20kV$;

$\Delta U\%$ -загуба на напрежение в електрическата мрежа Н.Н., $\Delta U\% = 5\%$;

$\cos(\varphi)$ -фактор на мощността на консуматорите $\cos(\varphi) = 0.95$;

$e_n = 0,1$ -нормен коефициент на възвръщаемост на инвестиционните разходи;

S_H -пълна мощност на населеното място $S_H = 30MVA$.

Изчислените стойностите на коефициентите са показани в Таблица 3.21.

Таблица 3.21

№ на вариант	C_{01}	B	D	k	c	C_2	C_1	C_{02}
1	1500	2500	0.6	1,73	0,2	0,5	500	15

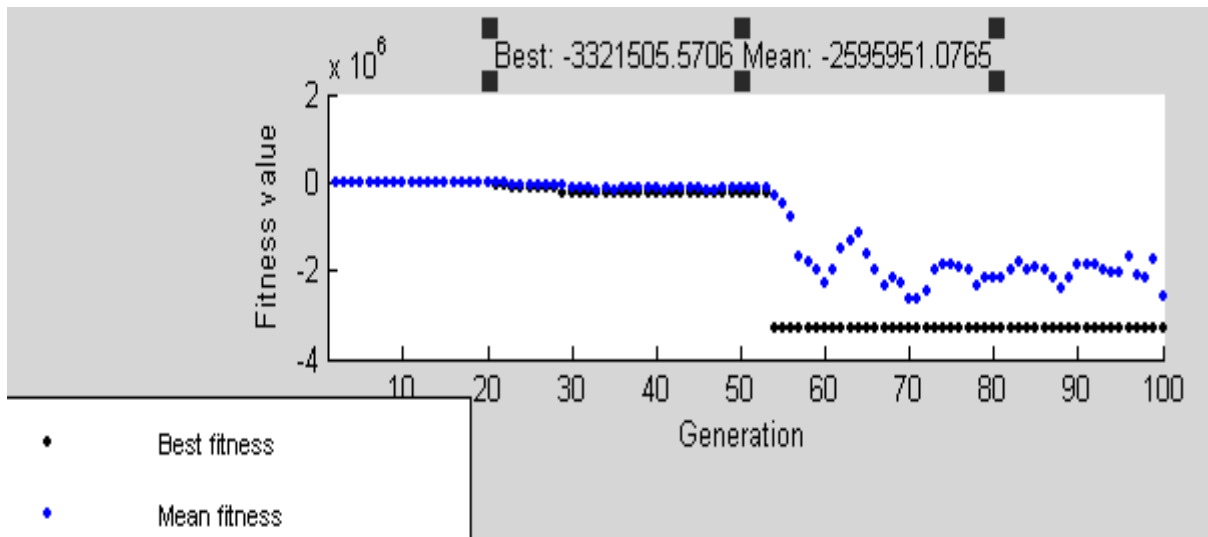
Разработена е програма в среда МАТЛАБ. На фиг. 3.11 до фиг. 3.16 са показани резултатите от симулациите.

На фиг. 3.11 е показана функцията на пригодност с най-добрите и средни резултати за 100 генерации.

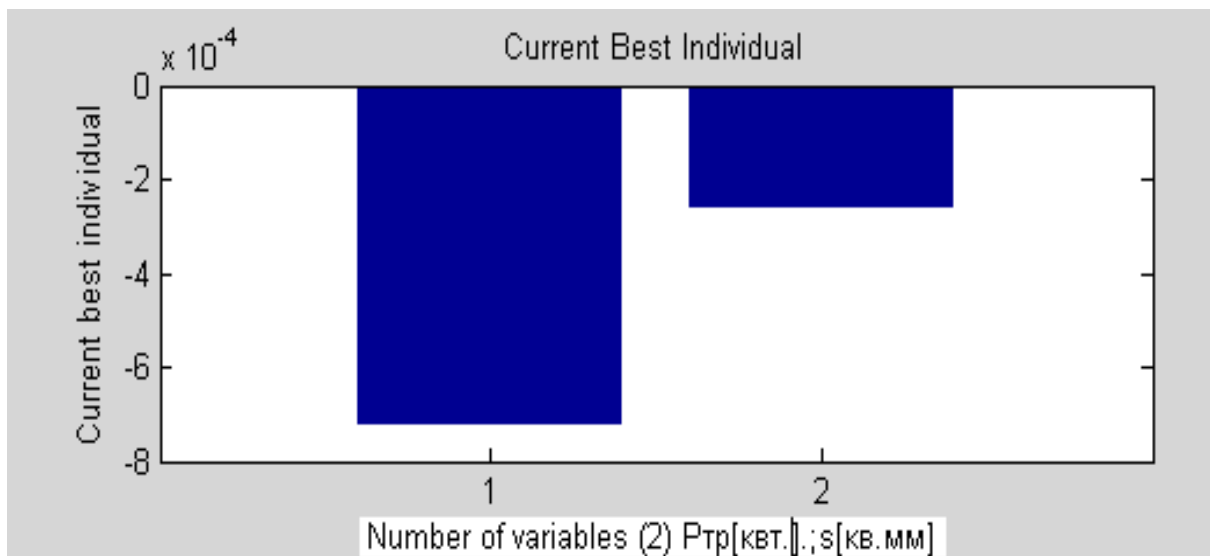
На фиг. 3.12 са показани най-добрите текущи резултати за 100 генерации, съответно за мощността на трансформатора и сечението на проводниците.

Най-добрите, най-лошите и средни резултати за 100 генерации се виждат на фиг. 3.13.

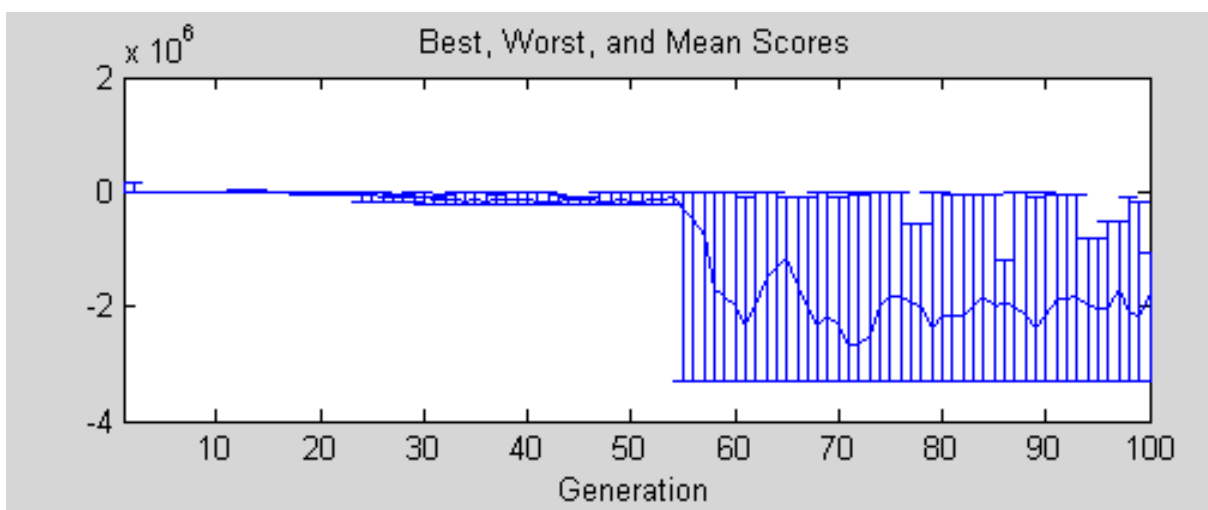
Очаквани резултати от скалата на пригодността са дадени на фиг. 3.14, а на фиг. 3.15 е показана хистограмата.



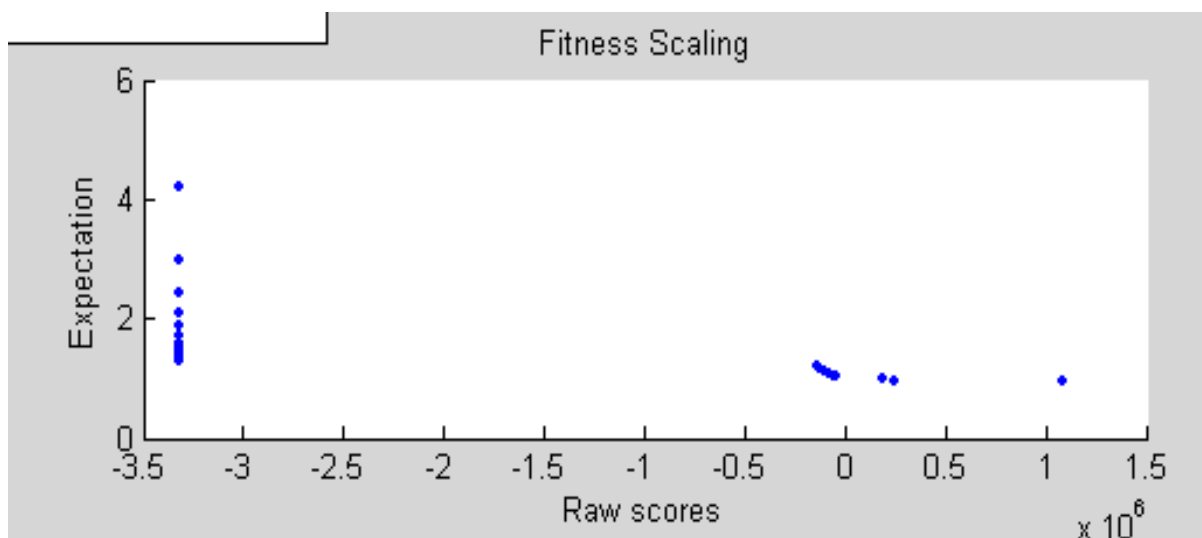
Фиг. 3.11. Сходимость на функцията на пригодност с най-добрите и средни резултати за 100 генерации



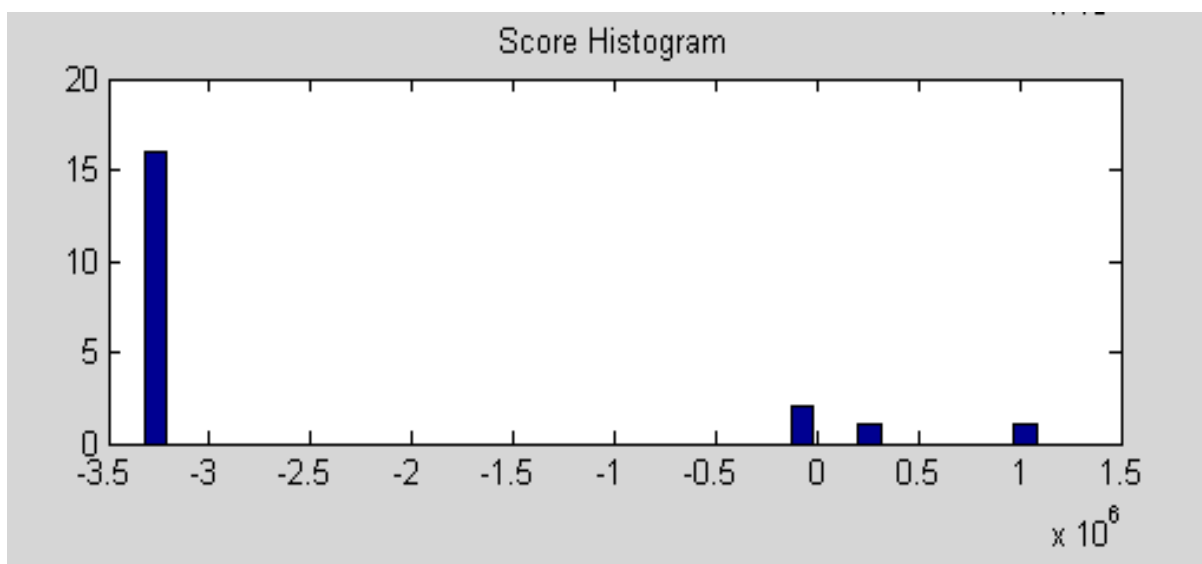
Фиг. 3.12 Най-добри текущи резултати за 100 генерации



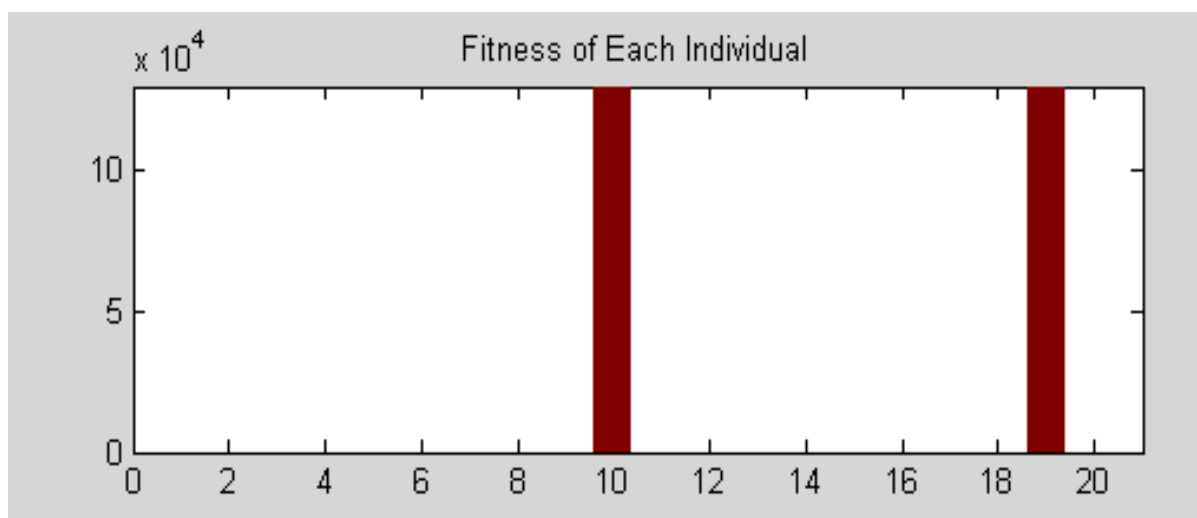
Фиг. 3.13. Най-добрите, най-лошите и средни резултати за 100 генерации



Фиг. 3.14. Очаквани резултати от скалата на пригодността



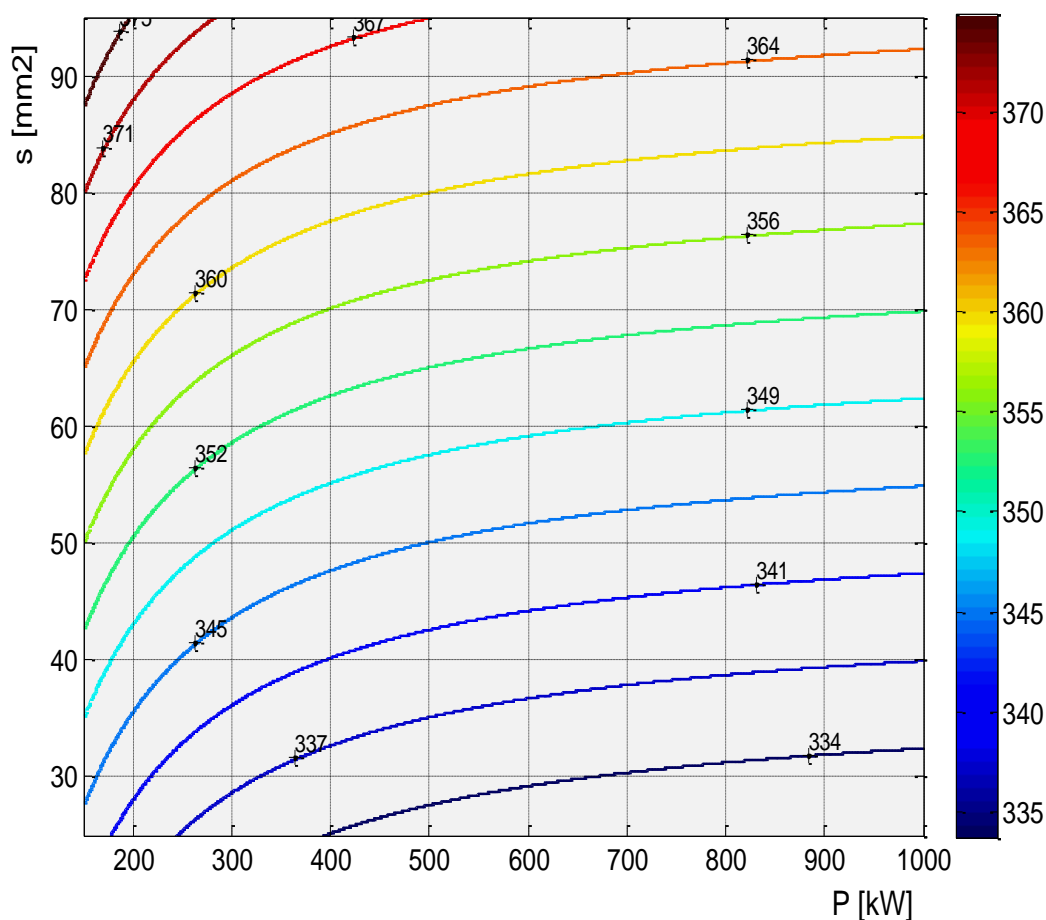
Фиг. 3.15. Хистограма



Фиг. 3.16. Пригодност на всеки индивид

От фигурите се вижда, че за 100 генерации се получават текущи най-добри индивиди при мащабен коефициент за мощност на трансформатора $P_{тр}=630\text{ kVA}$ и за сечение на проводниците $s=240\text{ mm}^2$. Тогава веднага се определя необходимия брой на трансформаторите. В случая броят на трансформаторните постове трябва да бъде 24 ($2 \times 630\text{ kVA}$).

Друг начин за представяне на резултатите е чрез изчертаване на същата функция на двете променливи в среда МАТЛАБ. За целта чрез получените графики се определя сечението на проводниците и мощността на трансформаторите в трансформаторните постове.



Фиг. 3.17. Изометрични криви, показващи зависимостта на сечението на проводника и мощността на трансформатора

Във вторият случай получаваме за мощност на трансформатора $P_{тр}=400\text{ kVA}$ и за сечение на проводниците $s=95\text{ mm}^2$. В случая броят на трансформаторните постове трябва да бъде 38 ($2 \times 400\text{ kVA}$).

Разработени са алгоритъм и компютърна програма в среда Matlab за бързо, лесно и точно определяне на оптималния брой понижавачи трансформатори с генетичните алгоритми. Създадената програма спестява много труд и време при различни икономически ситуации за избора на най-

оптималния вариант. Това е особено важно за строителните фирми, когато трябва за кратко време да представят на търг подходяща оферта (с отчитане на нормирана печалба) за изпълнението на определен строителен обект в областта на електроизграждането.

ГЛАВА 4. ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАТОВАРВАНЕТО НА ТРАНСФОРМАТОРИ И ЕЛЕКТРОПРОВОДНИ ЛИНИИ

4.1. Електрически загуби в електроразпределителните мрежи

Пренасянето и разпределението на електрическата енергия е свързано със загуби на активна и реактивна мощност. Големината на тези загуби зависи от температурата, от товарите, както и от взаимното разположение на електрическите централи и на основните консуматори. Тъй като съвременните електроенергийни системи (ЕЕС) са с няколко номинални напрежения, към загубите на мощност в електропроводите се прибавят и загубите в трансформаторите.

За по-лесно изследване на загубите те се разделят на **технически и нетехнически**.

За практически изчисления се използват следните методи [11, 12, 13, 16, 17, 31, 32]:

- апроксимация на действителния товаров график със стъпаловиден;
- метод на фиктивното времетраене на максималните загуби;
- модифицирани методи на фиктивното времетраене;
- метод на средноквадратичния ток (мощност).

4.4.1. Изследване на загубите в силови трансформатори

Електрическата енергия се използва, както в промишлеността, така и в бита. Независимо какви потребители се захранват, въпросът за намаляване на загубите в електрическите мрежи винаги е бил актуален. Една част от тези загуби, са загуби в силовите трансформатори, монтирани в трафопостовите и подстанциите. Поради това, в тази част се разглеждат икономически целесъобразни режими на работа на трансформаторите и мерки за тяхното подобряване.

При това решаващо значение има натоварването на трансформаторите. За целта, коефициентът на натоварване се определя с израза:

$$\beta = \frac{S}{S_H}, \quad (4.22)$$

където: S_H е номиналната мощност на трансформатора;

S - пълната мощност на трансформатора.

При работа на два трансформатора в подстанцията, активните загуби са:

$$\Delta P_{2m} = 2\Delta P_{cm} + \frac{1}{2}\Delta P_{mn} \left(\frac{S}{S_H} \right)^2. \quad (4.23)$$

където: ΔP_{cm} е загуби на мощност в стоманата на трансформатора;

ΔP_{mn} - загуби на мощност в медта на трансформатора;

При изключване на единия трансформатор в подстанцията, активните загуби в подстанцията ще бъдат:

$$\Delta P_{1m} = \Delta P_{cm} + \Delta P_{mn} \left(\frac{S}{S_H} \right)^2. \quad (4.24)$$

От горните изрази се вижда, че загубите в стоманата се намаляват два пъти, а загубите на късо съединение се увеличават два пъти. Оттук следва, че ако сравним загубите в едно- и двутрансформаторен режим на работа, и приемем, че $\Delta P_{1m} < \Delta P_{2m}$, след приравняване на двете равенства се получава:

$$\frac{1}{2}\Delta P_{mn} \beta^2 < \Delta P_{cm}. \quad (4.25)$$

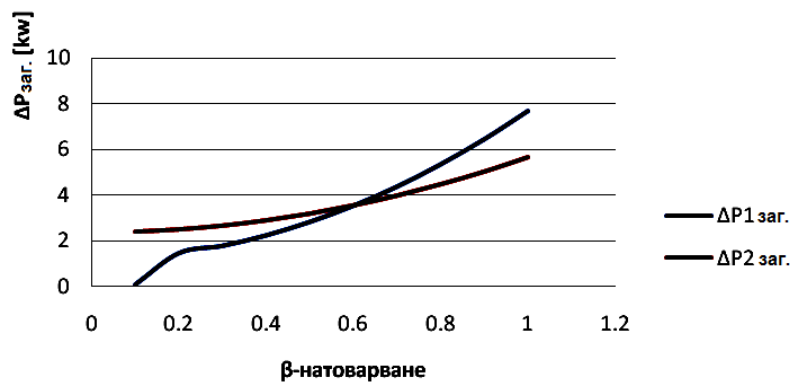
Ако половината загуби в медта при номинално напрежение са по-малки от тези на празен ход (неравенство (4.25)), работата при еднотрансформаторен режим на работа е икономически целесъобразна. И обратно, ако (4.25) не е изпълнено, е целесъобразно да работят двата трансформатора.

При оценка на най-изгодния режим на работа на подстанцията трябва да се отчете фактът, че загубите при празен ход са постоянни, а загубите в медта са променливи и зависят от товара. Активните загуби в трансформаторите ще бъдат минимални при равенство на загубите от празен ход и късо съединение [34]. Това е изпълнено при следното равенство:

$$\frac{1}{2}\Delta P_{mn} \beta^2 = \Delta P_{cm}. \quad (4.26)$$

От (4.26) следва:

$$\beta = \sqrt{\frac{2\Delta P_{cm}}{\Delta P_{mn}}}. \quad (4.27)$$



Фиг. 4.13. Активни загуби на мощност в kW, в трафоност с два трансформатора с $S_H=630$ kVA

Активни загуби на мощност в трансформаторен пост с два трансформатора с $S_H=630$ kVA

β	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\Delta P_{1\text{ заг.}}$, kW	0,078	0,46	0,78	0,24	0,83	0,54	0,38	0,36	0,46	0,70
$\Delta P_{2\text{ заг.}}$, kW	0,21	0,53	0,69	0,92	0,21	0,57	0,99	0,48	0,53	0,65

Ако вместо два трансформатора се вземе един с по-голяма мощност, той ще трябва да бъде в състояние да работи при максимален товар през най-натоварения сезон от годината. Това обаче, поражда сериозно неудобство, тъй като при авария битовите консуматори могат да останат дълго време без електрозахранване [50].

Ако трансформаторите трайно не се натоварват както през зимния, така и през летния период, е необходимо те да се подменят с трансформатори с по-малка мощност от инсталираните в момента.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

В така предложените дисертационен труд приносите могат да бъдат класифицирани като:

➤ Научно-приложни

1. Направен е обзор на методите за оптимизация на електроразпределителни мрежи средно напрежение, в резултат на който са направени изводи за използването на всеки един от тях за специфични нужди, като са посочени най-подходящите методи за целта на дисертацията: класическият метод и генетичните методи.

2. Предложено е използването на метода на теорията на графите за оптимизиране на структурата на новопроектирани електрически мрежи, а така също и за структурни реконструкции на съществуващи такива.

3. Предложено е използването на генетичните алгоритми за оптимизация на електроразпределителни мрежи средно и ниско напрежение, като са разработени съответните алгоритми и модели. Тестовите примери с тези алгоритми показват работоспособността, достоверността и ефективността им.

4. Разработени са математически модели, алгоритми и изчислителни компютърни програми за изследване работата на електрическите мрежи средно и ниско напрежение. Дефинирана е целева функция за определяне на оптималния брой на трансформаторните постове и сечението на захранващите проводници на линиите.

➤ **Приложни**

1. Предложено е разработването на нови нормативни документи за проучване и провеждане на оптимизация в електрически мрежи средно напрежение, като са посочени основните изисквания към тези документи.

2. Предложено е оптимизацията на мрежите да предшества проектирането на бъдещи схеми за развитие на електро-разпределителните мрежи: схеми за развитие на електрическите мрежи 110 kV и оптимизиране на схемата за развитие на електроенергийния комплекс; схеми за развитие на мрежите 20 kV и по-ниско за електрическата мрежа средно напрежение.

3. Предложено е предварително да се одобряват инвестиционните програми само при наличие на перспективни схеми за развитие на мрежите средно напрежение.

4. Проведени са изследвания и тестови примери при проектиране на Районни разпределителни мрежи средно напрежение за две области в България в три варианта с една с две и с три подстанции. Получените практически резултати показват ефективността на предложените и използваните методи за оптимизация.

Независимо кой от познатите класическите методи прилагаме за избор и изчисление на електрическите мрежи, предложеният критерий по минимални годишни приведени разходи е универсален критерий при вариантно изчисляване на електрическите мрежи.

Направените изводи дават основание да се счита, че в резултат на извършените изчисления, практически измервания и математически модели, поставените задачи са решени и е постигната целта на настоящата работа.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Кирчев В., **В. Драмбалов**, Оптимизация на проектирането на районна разпределителна мрежа средно напрежение, списание „Енергетика“, бр.2, с.15-19, 2013, ISSN 0324-1521.
2. **Драмбалов В.**, Изследване на товарването на трансформатори градски тип в топлофициран и не топлофициран район на Пловдив, Научни трудове на СУБ- Пловдив, 30-31.10.2013, Vol.XI, pp.75-78, ISSN 1311-9419.
3. **Драмбалов В.**, С. Лекова, В. Спасов, Икономичен режим на работа на трансформаторите, Научни трудове на СУБ- Пловдив, 30-31.10.2013, Vol.XI, pp.70-74, ISSN 1311-9419.
4. **Драмбалов В.**, В. Кирчев, В. Спасов, Г. Велков, Определяне на несиметрията в отделните фази на трансформатор СН / НН, захранващ комунално-битов товар.- Научни трудове на СУБ- Пловдив, 16.05.2015, pp.84-90, ISSN 1314-9547.
5. Kolev V., **V.Drambalov**, V.Spasov, Determination of the optimal location of regional substation in medium voltage networks by the graph theory, International Conference Technics, Technologies and Education ICTTE 2016, Yambol, pp.233-238, ISSN 1314-9474.
6. Колев В., **В. Драмбалов**, С. Цветкова, С. Лекова, Симулиране работата на еднофазен трансформатор, Научни трудове на СУБ – Пловдив 27.05.2017 pp 138-143, ISSN 1314-9547.

Abstract
Vasil Stoilov Drambalov, MS in Electrical Engineering
OPTIMIZATION OF ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORK
SCHEMES

Abstract of the PhD Dissertation

The dissertation deals with optimization of the medium and low voltage electrical networks and the optimal location of the power sources. The number and power of the transforming posts and the optimal cross-sectional area of the supply wires are determined, at a given area and density of the load.

The technical and economic principles for the construction of the grid are justified by the optimization of the existing indicators through the respective target program, including the investments for the construction of the electricity grid, the losses due to energy dissipation, and the monetary equivalent of the damage to the consumers from decommissioned electricity. Optimization should precede the design and construction of the electricity network.

MAIN SCIENTIFIC CONTRIBUTIONS OF THE DISSERTATION

It is proposed that the optimization of the electricity distribution networks is carried out at minimum annual costs. This is a universal criterion that most fully takes into account all the financial resources expended.

Genetic algorithms are proposed to be used for optimization of medium and low voltage power distribution networks. A target function has been proposed to determine the optimal number of downward transformers M.V./L.V. and the cross-section of the supply wires. Mathematical models, algorithms, and computer programs have been developed. The test examples demonstrate their workability, credibility and effectiveness.

Optional design of a medium voltage grid has been carried out for two real areas of the territory of the Republic of Bulgaria, having different specific load and different length of the medium voltage network. Research has shown that it is necessary to take into account the magnitude of the specific electrical load when designing medium voltage distribution networks. In case it is less than 10 kW/km^2 , then it is necessary to test the variant with two lowering substations 110/20 kV.