

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE  
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte  
Enerģētikas institūts

***Anna MUTULE***  
*Enerģētikas programmas doktorante*  
*(st.apl.nr. 951REB154)*

**ZEMSPRIEGUMA TĪKLA  
OPTIMIZĀCIJAS DINAMISKĀ  
MODEĻA IZSTRĀDE**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs  
Dr.habil.sc.ing., profesors *Z.Krišāns*

Rīga-2005

## DARBA KOPĒJAIS APRAKSTS

### Darba aktualitāte

Šodien arī pie mums, tāpat kā lielākajā daļā pasaules, jebkura saimnieciska projekta liktenī nosaka tā rentabilitāte un - līdz ar to - kvalificēts, operatīvs un atbildīgs tehniski ekonomiskais aprēķins. Pie tam, jo lielāka ir projekta kapitālieguldījumu daļa, jo nozīmīgāka ir precīza projekta tehniski ekonomiskā analīze. Lai mūsdienas elektroenerģētikas sistēmās nodrošinātu kvalificētu un operatīvu tehniski ekonomisko aprēķinu, jāizmanto optimizācijas metodes un datori.

Disertācijas promocijas darbs izstrādāts Latvijas Zinātņu akadēmijas Fizikālās enerģētikas institūta Energosistēmu matemātiskās modelēšanas laboratorijā (EMML), kurā es paralēli mācībām strādāju kopš 2001. gada. Promocijas darbā risinātas zemsprieguma tīkla optimizācijas problēmas.

Energosistēmu matemātiskās modelēšanas laboratorija (EMML) jau kopš 1969. gada nodarbojas ar elektroenerģētisko sistēmu attīstības optimizācijas dinamiskajiem modeļiem, izmantojot lielās elektroniskās skaitļošanas mašīnas, un šai jomā bija vadošā bijušās PSRS Zinātņu Akadēmijas ietvaros un vienīgā, kuras izstrādātie modeļi darbojās un tika izmantoti konkrētu attīstības projektu variantu analīzei. 1992./93. EMML sāka nopietnu darbu pie dinamisko optimizācijas modeļu izstrādes personālajiem datoriem un, kad 1993. gadā *Latvenergo* Attīstības daļai radās nepieciešamība pēc konkrētiem aprēķiniem, bija gatava šos aprēķinus veikt, vienlaicīgi pārbaudot savas izstrādes praksē. 1994. gadā tika izstrādāta vidējā sprieguma ekonomiskās analīzes sistēma *LDM-VS Latvenergo* sadales tīkliem. 1994. gadā sistēma izmantota *Latvenergo* konkrētu uzdevumu risināšanā, piemēram, Liepājas tīkla rekonstrukcijas pamatošanai. Apkopojot izmantošanas pieredzi, 1995. gadā izstrādāta jauna vidējā sprieguma tehniski ekonomiskās analīzes sistēmas versija *LDM-VS -95*, kurai, salīdzinot ar *LDM-VS Latvenergo*, ir plašāka pielietojuma joma un lielāka izmantošanas efektivitāte. 1995./96. gadā vidējā un augstākā sprieguma (6-110 kV) tīkla tehniski ekonomiskās analīzes sistēma pilnveidota atbilstoši *lietotāja* prasībām un nodrošināta arī cita veida *LDM-VS* autopavadība *VAS Latvenergo* filiālēs un pārvaldē.

1995. gadā tika izstrādāta zemsprieguma un vidsprieguma 20 (6-10) kV tīkla attīstības un ekspluatācijas tehniski ekonomiskās analīzes programmu sistēma *LDM-VZS*. Tā bija pirmā zemsprieguma analīzes programma, kuru izstrādāja EMML.

No 1993. gada līdz 1999. gadam izstrādātie datorprogrammu kompleksi, kuri ir nodoti lietošanai *Latvenergo*, tā struktūrvienībās un uzņēmumos, ir adaptēti *Latvenergo* vajadzībām un atbilst tām Austrumeiropai raksturīgajām specifiskajām prasībām, kuras padara grūti izmantojamus Rietumu attīstīto valstu programmnodrošinājumus projektu optimizācijai un analīzei. Tomēr tās nebija *Windows* programmas, un tādēļ arī nebija pietiekami draudzīgas lietotājiem.

2001. gadā EMML izstrādāja jaunu tehniski ekonomiskās analīzes un optimizācijas programmu *LDM-VZ'01*. Programma ir izstrādāta *Delphi* valodā.

izmantojot visas operatīvās sistēmas *Windows* priekšrocības. Datorprogramma *LDM-VZ'01* veic rekonstruējamo un jaunbūvējamo zemsprieguma tīkla objektu, kā arī transformatoru punktu (20/0,4 vai 10/0,4 kV) jaunbūves un rekonstrukcijas investīciju efektivitātes analīzi perspektīvās informācijas neviennozīmības apstākļos, izmantojot tūrās pašreizējās vērtības (NPV) kritēriju un tīkla dinamisko optimizāciju. *LDM-VZ'01* ir piemērota izmantošanai sadales tīklu uzņēmumu līmenī. Ar šo programmu es strādāju kopš 2001. gada pie tas testēšanas un ieviešanas darbiem un uzdevumiem.

### **Darba mērķis**

Promocijas darba mērķi:

1. Zinātniski pamatoti izvēlēties zemsprieguma tīkla attīstības procesa optimizācijas metodi, balstoties uz vispusīgas reāla zemsprieguma tīkla attīstības uzdevumu un to risinājumu pētījumu bāzes.
2. Izstrādāt lietotājiem draudzīgas zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas programmas uzbūves principus.

### **Pētīšanas metodes**

Sistēmas pētīšanas metodes, pirmkārt, analīze un sintēze. Darbā izmantoti sistēmas pieejas pamatprincipi - uzdevumi, mērķu un kritēriju izvēles vienotība, sistēmas būtisko īpašību noteikšana un matemātiskās modelēšanas metodes. Bez tam izmantotas arī matemātiskās statistikas metodes.

### **Darba rezultāti**

1. Izstrādātas prasības zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas metodēm Latvijas apstākļos
2. Izvēlēta un aprobēta zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas metode
3. Izstrādāti lietotājiem draudzīgas zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas programmas uzbūves principi
4. Izstrādāta programma *Darja* zemsprieguma tīkla optimizācijas procesa pētīšanai
5. Izpētīti un rekomendēti optimizācijas kritēriji, kas nodrošina elektroenerģijas kvalitāti klientiem

### **Darba praktiski nozīme**

Darba rezultāti veido modelis *LDM-VZ*, kas paredzēta zemsprieguma tīkla dinamiskās optimizācijas un investīciju efektivitātes analīzei.

### **Darba aprobācija**

Par darba rezultātiem tika ziņots, un tie tika apspriesti:

Konferences:

1. RTU 43. studentu 7. inātniskā un tehniskā konference:

2. RTU 43. starptautiskā zinātniskā konference;
  3. The 2<sup>nd</sup> International Scientific Symposium "Elektroenerģētika", Stara Lesnā, Slovak Republic;
  4. Krievijas Zinātņu akadēmijas Urālu nodaļas zinātniskais seminārs "Energosistēmu operatīva vadība - jaunās tehnoloģijas", Siktivkara, Krievija;
  5. 11<sup>th</sup> International Power Electronics and Motion Control Conference, Rīga, Latvija;
  6. Starptautiska zinātniska konference "Energosistēma: vadība, kvalitāte, konkurence", Ekaterinburga, Krievija;
  7. The XII<sup>th</sup> International Conference on "Present-Day Problems of Power Engineering" (APE '05), Jurata, Poland;
  8. International Scientific Conference 2005 IEEE St.Petersburg PotverTech, St.Petersburg, Russia;
- un citas.

VAS *Latvenergo* filiāļu ( RT, CET, AET, ZAET, ZET) darbinieku kursus par *ZUDUMI-WGD* un *LDM-VZ* (2004. gads), kuros piedalījās 30 klausītāji,

## **Publikācijas**

Referējamos žurnālos:

1. Z.Krišāns, I.Oļeiņikova, A.Kalpiņa, A.Mutule. Lietotājam draudzīgu investīciju efektivitātes analīzes un optimizācijas sistēmu izveidošanas principi // *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2002, No 1, P. 26-37.
2. Z.Krišāns, I.Oļeiņikova, A.Mutule. Elektrisko tīklu optimizācijas datorprogrammas LDM-VZ'01 lietotāju apmācības programma un metodika // *Zinātnisko rakstu krājums "Enerģētika un elektrotehnika"*, Rīga, RTU, 2002, 5. sēj., 14.-23. lpp.
3. Z.Krišāns, I.Oļeiņikova, A.Mutule. Matemātiskais modelis neatkarīgo elektrisko staciju iespaida uz sadales elektrisko rīkļu struktūru pētīšanai // *Latvian journal of physics and technical sciences*, 2002, No 3, P. 13-20.
4. Z.Krišāns, A.Kuļjuns, A.Mutule. 330 kV komutācijas shēmu drošuma novērtēšanas modelis // *Latvian journal of physics and technical sciences*, Rīga, 2002, Nr. 5,16.-26. lpp.
5. Z.Krišāns, A.Mutule. Algoritms zemsprieguma tīkla sekcionēšanai ar drošinātājiem // *Zinātnisko rakstu krājums "Enerģētika un elektrotehnika"*, Rīga, RTU, 2002,6. sēj., 141.-148. lpp.
6. Z.Krišāns, I.Oļeiņikova, A.Kuļjuns, A.Mutule. Latvijas 110-330 kV pārvades tīkla drošuma novērtēšanas metode // *Latvian journal of physics and technical sciences*, Rīga, 2002, Nr. 6,30.-38. lpp.
7. Z.Krišāns, A.Mutule, V.Račinskis. Neatkarīgo elektrostaciju iespaids uz sadales tīkliem // *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2003, No 2, P. 12.

8. Z.Krishans, LOleinikova, A.Mutule. LDM Family (LDM - Latvian Dynamic Model) for Network Development optimization // The 2nd International Scientific Symposium "Elektroenergetika", Stara" Lesni, Slovak Republic, September 16-18,2003. - Proceedings, P. 200-201.
9. Z. Krishans, LOleinikova, A.Mutule. New Technologies for Long-Term Management of Power Systems // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 2003, No 5, P. 10-19.
- 10.Z.Krishans, LOleinikova, A.Mutule. New Technologies for Power System Long-Term Managements // Управление электро-энергетическими системами - новые технологии и рынок. Сыктывкар, Россия, 2004. - с. 133-139.
11. A.Mutule, Z.Krishans. Optimization Methods of Low Voltage Power Networks Development Process // 11th International Power Electronics and Motion Control Conference "EPE-PEMC 2004", Riga, Latvia, September 2-4, 2004. - Proceedings, Vol. 5, P. 143-147.
12. З.Л.Кришан, А.В.Мутуле. Методы оптимизации процесса развития низковольтных сетей в условиях рыночных отношений с учетом качества электроэнергии // Вестник УПУ - УПИ № 12 (42). Энергосистема: Управление, качество, конкуренция. Екатеринбург, Россия, 2004. - с. 64-67.
13. Z. Krishans, I, Oleinikova, A. Mutule. The Mathematical Model of Private Electric Power Plant in Regard to structural Analysis of Distribution Electrical Power Networks. // Proceedings of the XIIth International Scientific Conference on Present-Day Problems of Power Engineering "APE'05". Gdansk University of Technology, Gdansk - Jurata, Poland, 2005, P. 27-33.
14. Z. Krishans, A. Mutule, A. Kutjuns. Integration of distributed generation in the networks of Latvian power system. "2005 IEEE St. Petersburg Power Tech", St. Petersburg, Russia, June 27-30,2005. - Conference Proceedings (on CD 5 pp.).

Vietējos izdevumos:

1. Z.Krišāns, A.Mutule. Zemsprieguma un vidējā sprieguma tīkla tehniski ekonomiskās analīzes un optimizācijas programmu sistēma LDM-VZ'01 // LZA FEI, Rīga, 2001,66 lpp.
2. Z.Krišāns, A. Mutule. Tīklu rajonu zemsprieguma tīkla tehniskās analīzes programma ZUDUMI-WGD'2000, Versija 1.1// LZA FEI, Rīga, 2002,12 lpp.
3. Z.Krišāns, A.Mutule. Augstākā un vidējā sprieguma tīkla tehniski ekonomiskās analīzes un optimizācijas programmu sistēma LDM-AVE'01 // LZA FEI, Rīga, 2002, 73 lpp.
4. Z.Krišāns, I.Oļeiņikova, A.Mutule. Tīklu rajonu zemsprieguma tīkla tehniskās analīzes programma ZUDUMI-WGD'2002-VERSIJA 1.3 // LZA FEI, Rīga, 2002, 58 lpp.

5. A.Mutule, Z.Krišāns (zinātniskais vadītājs). Elektrisko tīklu optimizācijas datorprogrammas LDM-VZ'01 lietotāju apmācības metodika // 43. RTU studentu zinātniskās un tehniskās konferences materiāli, RTU, Rīga, 2002,8. lpp.
6. Z.Krišāns, LOļeiņikova, A.Mutule. Augstākā un vidējā sprieguma tīkla tehniski ekonomiskās analīzes un optimizācijas programmu sistēma LDM-AVE'03 // LZA FEI, Rīga, 2003,75 lpp.
7. Z.Krišāns, LOļeiņikova, A.Mutule. Tīklu rajona zemsprieguma tīkla tehniskās analīzes programma ZUDUMI-WGD'03 // LZA FEI, Rīga, 2003,61 lpp.
8. Z.Krišāns, LOļeiņikova, A.Mutule, A.Kurjuns. Augstākā sprieguma (330,110 kV) tīkla un apakšstaciju sadalietaišu darba un elektroapgādes drošuma kritēriju un tehniski ekonomisko aprēķinu programma LDM-AD'04versija2 // LZA FEI, Rīga, 2004,82 lpp.

## **Darba struktūra**

Promocijas darbs sastāv no ievada, 5 nodaļām, slēdzieniem un pielikuma.

### **1. LATVIJAS ZEMSPRIEGUMA TĪKLA ATTĪSTĪBAS OPTIMIZĀCIJAS UZDEVUMI**

*Pirmajā nodaļā* veikta Latvijas zemsprieguma tīkla struktūras un slodžu dinamikas analīze, uz kuras pamata noteikts optimizācijas apgabals un mainīgo raksturs.

Sadales tīklu nevar raksturot viennozīmīgi. Principā izveidotā shēma ir pareiza, bet ne visās vietās racionāla. Tam ir divi objektīvi iemesli - sakarā ar rūpnieciskas un lauksaimnieciskās lielražošanas izputēšanu pēc 1999. g., ir mainījušies elektrisko slodžu centri un vēsturiski izveidojusies tāda situācija, ka sadales tīklu transformatori lietotājiem nodod elektroenerģiju pa divas reizes garākiem zemsprieguma tīkliem, salīdzinot ar transformatoru barošanai izmantoto vīdsprieguma tīklu garumu.

Sadales tīklu attīstības galvenais uzdevums ir paaugstināt klientu elektroapgādes drošumu un elektroenerģijas kvalitāti. Šajā sakarā ir nepieciešams: paredzamajā perspektīvā saglabāt esošo vīdsprieguma maģistrālā tīkla veidošanas shēmu, t.i., divpusīgi barojamās līnijas no divām apakšstacijām vai vienas apakšstacijas dažādām kopņu sekcijām. Līnijas te darbojas radiālā režīmā ar dalījumu vietu jaudu sateces punktā; maksimāli tuvināt 20/0,4 kV transformatoru punktus slodzes centriem. Atjaunotajos un rekonstruējamās sadales tīklu iecirkņos palielināt 10 un 20 kV līniju garuma attiecību pret 0,4 kV tīkliem no 1/2 līdz 1/1,2; plašāk pielietot vīdsprieguma un zemsprieguma līniju kopējo vadu uzkāri. Tas padarīs līnijas ekonomiskākas, mazāk neērtības būs arī zemes apsaimniekotājiem; plašāk pielietot iearto kabeļlīniju izbūvi lauku apvidū; tuvāko gadu laikā pakāpeniski samazināt kailvadu līniju īpatsvaru ikgadējos atjaunošanas un rekonstrukcijas darbos, kailvadu līnijas aizvietojo ar kabeļu un piekarkabeļu līnijām.

Zemsprieguma līniju statistiskie rādītāji periodā no 1998.gada līdz 2004.gadam  
doti 1.1. tabulā( mērvienība km),

1.1. tabula

### Statistiskie rādītāji

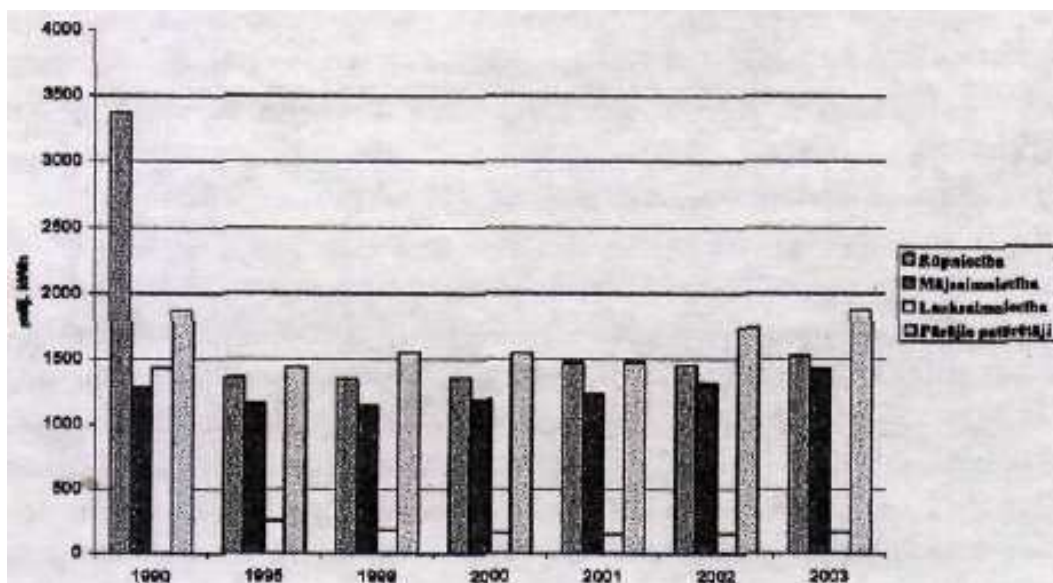
Rādītāja nosaukums	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
0,4 kV līnijas	64720	64577	65546	65687	65796	66 320	66 876
0,4 kV gaisv. līn., tajā skaitā :	58426	58134	58585	58027	57362	57 131	56 896
0,4 kV piekarkab. (AMKA)	186	628	1461	2059	2665	3 467	4 087
0,4 kV kabeļu līnijas	6293	6442	6960	7660	8434	9 189	9 979

Zemsprieguma līniju kopgarums ir divreiz lielāks salīdzinājumā ar vidsprieguma (6-10-20 kV) tīkla kopgarumu un 13 reizes lielāks par pārvades (110-330 kV) tīkla kopgarumu. Tas raksturo zemsprieguma tīkla nozīmīgumu. Kopgarums šajā periodā (1997.-2004. g.g.) tika pieaudzis par 2156 km. Mainījās zemsprieguma tīkla struktūrā, pārejot no gaisvadu līnijām uz jauniem līniju tipiem - piekarkabeļiem (AMKA) un kabeļiem, kas palielina zemsprieguma tīkla patērētāju elektroapgādes drošumu.

20/0,4 kV apakšstaciju skaits no 1998. gada līdz 2003. gadam palielinājies par 1675 (10,3%). Summārā uzstādītā jauda līdz 2000. gadam nepārtraukti palielinājusies, bet no 2001. gada līdz 2003. gadam sistemātiski samazinājusies, 2003. gadā summārā jauda ir par 19 MVA (0,7%) lielāka nekā 1998. gadā.

10-6/0,4 kV apakšstaciju skaits no 1998. gada līdz 2003. gadam palielinājies par 276 (10,7%), bet mazākais apakšstaciju skaits bija 2000. gada. Summārā uzstādītā jauda palielinājusies par 238 MVA (20%). Summāras jaudas samazināšanās liecina par to, ka zemsprieguma apakšstacijās notikusi mērķtiecīga rekonstrukcija - lai samazinātu zudumus, vecie nenoslogotie transformatori nomainīti pret jauniem, ar mazāku jaudu un mazākiem tukšgaitas zudumiem. Pašreiz zemsprieguma tīklus raksturo lieli sprieguma zudumi. Zemsprieguma tīkla pieļaujamie sprieguma zudumi ir 5%, apskatītajā izlases kopā maksimālie sprieguma zudumi ir 11,84%, 50% no TP kopas sprieguma zudumi pārsniedz pieļaujamos. Tas nozīmē, ka: zemsprieguma tīkla optimizācijas metodēm svarīgs kritērijs ir sprieguma zudumi; optimizācijas rezultātā jāiegūst tehniski pieļaujams variants, kurā nav mezglu ar nepieļaujamiem sprieguma zudumiem.

Elektroenerģijas patēriņa dinamika laika periodā no 1990.g. līdz 2003.g. dažādām lietotāju grupām parādīta 1.1. attēlā.



1.1. att. Elektroenerģijas patēriņš no 1990.gada līdz 2003. gadam

Zemsprieguma tīkli parasti apgāda šādas lietotāju grupas; mājsaimniecība, lauksaimniecība, pārējie patērētāji ( veikali, slimnīcas, skolas, biroji utt.). Mājsaimniecības slodzes 1995., 1999., 2000. un 2001. gadā ir nedaudz mazākas nekā 1990. gadā (maksimālais samazinājums ir 1999. gadā -10.6%). 2002. gadā slodze jau ir par 2.4 % lielākā nekā 1990. gadi, bet 2003. gada - par 9,5%, Slodzes pieaugums mājsaimniecībā 2003. gada, salīdzinot ar 2002. gadu, palielinājies par 7,3%. Pārējo patērētāju slodžu dinamika ir līdzīga mājsaimniecību slodžu dinamikai. Slodzes pieaugums pārējo patērētāju grupai 2003. gadā, salīdzinot ar 2002. gadu, palielinājies par 7,3%. Lauksaimniecības lietotāju grupas slodžu dinamika ir līdzīga rūpniecības slodžu dinamikai. Slodzes ir samazinājušas 9,6 reizes. Tomēr arī tām pēdējos gados ir liels pieaugums. Slodzes pieaugums lauksaimniecības lietotāju grupai 2003. gadā, salīdzinot ar 2002. gadu, palielinājies par 4,3%.

Analīze parādīja, ka zemsprieguma slodzes pārskatāmā perspektīvā var stabili pieaugt. Tātad zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas programmai jāveic dinamiska optimizācija, ievērojot slodzes pieaugumu un slodzes pieauguma varbūtējo raksturu. Slodzes ir izmainījušās ne tikai kvantitatīvi, bet arī kvalitatīvi. Sakarā ar jaunu, modernu elektroietaišu ieviešanu principiāli izmainījušies slodžu grafiki. Tie kļuvuši daudz blīvāki.

Tīklu tehniski ekonomiskā analīze un optimizācija jāveic operatīvi un regulāri. Mainoties situācijai, agrāk pieņemtie lēmumi ir jākorģē - ja tas dod ekonomisku efektu. Kā parāda saimnieciski attīstīto valstu pieredze, sākotnēja tehniski ekonomiskā analīze ir ļoti svarīgs posms racionālu lēmumu pieņemšanā - lēmumi, kurus pieņem pasākuma analīzes un plānošanas stadijās, jau par 85% nosaka kopējās izmaksas visā ekonomiskajā dzīves ciklā, bet projektēšanas, būves un ekspluatācijas stadijās kopējās izmaksas var iespaidot tikai par 15%.



Vislielākā nepieciešamība risināt rekonstrukcijas un modernizācijas jautājumus ir zemsprieguma tīklos. Pašreiz slodžu izmaiņas ir ļoti nevienmērīgas, dažos rajonos slodzes samazinās, bet citos tās strauji pieaug. Zemsprieguma tīklos jāreķinās ar slodžu varbūtējo raksturu.

Zemsprieguma tīklu tehniski ekonomiskās analīzes uzdevumi ir:

- esošā stāvokļa regulāra analīze - lai noteiktu vājās vietas un galvenās problēmas,
- optimāla jaunu abonētu pieslēgšana,
- optimāla tīkla rekonstrukcija - vadu maiņa, jauno līniju un apakšstaciju būve;
- modernizācija - pāreja uz piekarkabeļiem (AMKA), transformatoru maiņa.

Šie jautājumi jārisina kā ekspluatācijas, tā arī plānošanas un projektēšanas līmeņos. Jāmeklē kad, kur un kādā veidā jārealizē attīstības pasākumi. Tādēļ optimizācija notiek kā laikā, tā arī plaknē, kurā atrodas optimizējamā tīkla modelis (aprēķina shēma, kas attēlota grafa veidā). Laika ass ir sadalīta soļos, kas aptver ekonomisko dzīvesciklu (25 gadus). Soļu skaits - līdz 15. Optimizācijas plakni var raksturot ar mezglu skaitu.

Tīkla aprēķina modeļa lielums ir atkarīgs no risināmā optimizācijas uzdevuma:

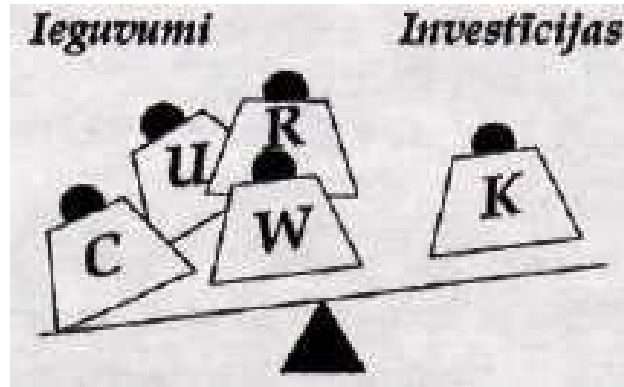
1. Vadu maina, pāreja uz piekarkabeļiem (AMKA) un jaunu līniju būve - aprēķina modelis atbilst zemsprieguma objekta modelim - 50 mezgli.
2. Jaunu barojošo apakšstaciju būve esošā tīklā - aprēķina modelī jāapskata četru objekta modeļu kopa - 200 mezgli. Optimizācijas mainīgie ir:
  - 1) diskrētas tīkla elementu kopas;
  - 2) binārie (ir/nav) mainīgie ar loģiskiem ierobežojumiem.
  - 3)

## 2. ELEKTRISKO TĪKLU ATTĪSTĪBAS OPTIMIZĀCIJAS KRITĒRIJI

*Otrajā nodaļā* ir apskatīti un izvēlēti optimizācijas kritēriji no elektrisko tīklu paplašināšanas rekonstrukcijas un modernizācijas pasākumu optimizācijas principu un problēmu viedokļa. Izvēlēti determinētie un neviennozīmīgie kritēriji, kuri jālieto zemsprieguma tīkla optimizācijas dinamiskajā modeli.

Elektrisko tīklu optimizācijas *mērķis* ir nodrošināt iespēju dažādu līmeņu vadītājiem pieņemt lēmumus, kas balstās uz objektīviem faktiem, nevis tikai uz eksperta viedokļiem vai pieņēmumiem.

No *matemātikas viedokļa* optimizācija ir metodes un algoritmi, ar kuru palīdzību atrod minimumu vai maksimumu *mērķa funkcijai F*, parasti ar daudziem mainīgajiem, ievērojot *papildus nosacījumus*, tajā skaitā *ierobežojumus*, kas izteikti vienādojumu vai nevienlīdzību veidā. Elektrisko tīklu attīstības uzdevumos mainīgie ir *attīstības pasākumi*, bet ierobežojumi - tehniskie kritēriji - sprieguma zudumi, līniju un transformatoru pieļaujamā noslodze utt. Elektrisko tīklu attīstības optimizācijas uzdevumiem parasti ir daudz kritēriju



2.1. att. Attīstības pasākuma novērtēšana

Vienā pusē svaru kausos ir kapitālieguldījumi (nauda), kas nepieciešami pasākuma realizēšanai, otrā - ieguvumi, kas rodas, pateicoties realizētajam pasākumam:

- 1) ekspluatācijas izdevumu (tajā skaita enerģijas zudumu izmaksu samazinājums, C);
- 2) spriegumu zudumu samazinājums (U);
- 3) jauno lietotāju slodžu pievienojums (W);
- 4) energoapgādes drošuma uzlabojums (R) un citi.

Vienai daļai šo ieguvumu ir arī tieša naudas vērtība, bet ir arī tādi ieguvumi, *kurus nauda izvērtēt ir grūti*. Tomēr optimizācijas veikšanai tas ir nepieciešams.

Pasākumi jāizvērtē, izmantojot metodi, ko sauc par *energoobjektu dzīves cikla koncepciju*. Kapitālieguldījumu efektivitāti izvērtē, ievērojot uzturēšanas, ekspluatācijas, tehniskās, ar avārijām saistītās un citas izmaksas. Projektējot būvobjektu, mums nepietiek ar to, ja apskatām izmaksas tikai vienam gadam. Šie izdevumi ir jāapskata visas objekta iekārtās *dzīves cikla garumā*.

Galvenie ekonomiskās efektivitātes rādītāji ir tīrā pašreizējā vērtība - NPV (Net Present Value), iekšējā peļņas norma - IRR (Internai Rate of Return) un atmaksāšanās periods. Tīrās pašreizējās vērtības rādītājs ievēro diskontēšanu vai naudas vērtības samazināšanos laikā (atbilstoši diskonta likmei). NPV vērtība ir izteikta naudas vienībās. Ja  $NPV > 0$ , tad projekts ir ekonomiski efektīvs un, jo lielāks NPV, jo projekts efektīvāks, bet, ja  $NPV < 0$ , tad projekts ir neefektīvs, tas neatmaksājas un rada zaudējumus. Ja  $NPV = 0$ , tad projekts atmaksājas, bet nenes peļņu.

(2.1)

$$NPV = \sum_{t=0}^T C_t \cdot \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^T C_t \cdot d_t$$

- kur  $i$  - ienākumu norma;  
 $C(t,e)$  - ikgadējās izmaksas solī  $t$ ;  
 $d_t$  - diskontēšanas koeficients solī  $t$ .

Tehniskie kritēriji ir atkarīgi no tīkla nominālā sprieguma. Dinamiskajos attīstības optimizācijas modeļos tehnisko parametru ierobežojumus, piemēram, jaudas plūsmu pieļaujamās vērtības u.c. ievēro nevis ar stingrām robežvērtībām, bet ar tā sauktajām izplūdušajām robežām.

Lietojot stingrās robežas, tīkla stāvoklis ir nederīgs (netiek tālāk apskatīts), ja kaut vienā elementā robeža pārsniegta par dažiem procentiem, un tas apgrūtina attīstības procesa analīzi un optimizāciju. Pirmkārt, dati par robežām ir aptuveni. Otrkārt, reālos jaunos uzdevumos ir vislielākās iespējas neiegūt ne tikai optimizācijas rezultātus, bet arī informāciju tālākai darbībai. Lietojot izplūdušās robežas, mērķa funkcijai pievieno papildus kritērijus (soda funkcijas).

Dinamiskos modeļos salīdzināmos variantus iegūst, optimizējot apskatāmo energoobjektu pie vidējiem datiem (bāzes prognozes). Optimizācijas rezultātā iegūst līdz desmit labākos konkurētspējīgos variantus. Tālāk "analītiķis", izmantojot savu pieredzi, var samazināt un papildināt šo kopu. Optimālā varianta izvēlei izmanto izmaksu matricu. Matricas rindiņas (dinamiskos modeļos) atbilst prognozēm, bet stabīņi - variantiem. Matricā ieraksta attiecīgās mērķa funkcijas. Ekonomiskā analīze atbilstoši metodikai jāveic par objekta ekonomiskās dzīves ciklu (elektriskajos tīklos -20-25 gadi).

Informācijas neviennozīmīguma gadījumā dēļ analīzes modelim jābūt apgādātām ar riska analīzi. Riska analīze nodrošina iespēju informācijas nenoteiktības apstākļos izvēlēties optimālo variantu.

Izvēloties variantus nenoteiktības apstākļos, rīkojas šāda secībā:

- izvēlas informācijas komplektu kopu, kurai jāpārstāv informācijas ticamības diapazons; tālāk  $i$ -to komplektu saucim par prognozi  $I$ ;
- izvēlas variantu novērtēšanas kritērijus;
- atlasa salīdzināmos variantus;
- izvēlas optimālo variantu.

Elektroapgādes uzņēmumu attīstības uzdevumiem vispiemērotākie ir šādi kritēriji: mērķa funkcijas matemātiskās sagaidāmības minimālā vērtība un minimālais maksimālais risks.

Minimālais maksimālais risks

$$\min_{j \in \nu} R(j)_{\max} = \min_{j \in \nu} \max_{i \in \mu} (F(i) - F(j, i)), \quad (2.2)$$

kur  $F(i)$  - maksimālā mērķa funkcijas vērtība prognozes  $i$  gadījumā.

Riska analīze nodrošina iespēju analizēt parametru kopas - prognozes ietekmi uz variantu savstarpējo efektivitāti un izvēlēties labāko variantu pēc minimālā riska nenoteiktas informācijas gadījumā. Variantu riska analīze notiek ar adaptāciju. Prognozi raksturo - prognozes svars (ticamība), slodžu pieauguma koeficients pa

soļiem, zudumu cenas pieauguma koeficients pa soļiem, interešu procentu likme, inflācijas procentu likme investīcijām un izdevumiem tīklā, pasākumu izmaksas.

### 3. OPTIMIZĀCIJAS METODES

*Trešā nodaļa* veltīta optimizācijas metodes izvēlei. Izstrādāti optimizācijas metodes izvēles principi. Analizētas modernas optimizācijas metodes. Rekomendēts zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijai izmantot optimālo izejas stāvokļa metodi.

Elektrisko tīklu attīstības optimizācijas metožu izvēlei ir veltīti daudzi darbi, Par daudzām klasiskām metodēm ir izveidojies diezgan nopietns novērtējums. Promocijas darbā sīkāk analizētas tikai jaunākās metodes.

Pirmajā un otrajā nodaļā tika formulētas prasības, kurām jāatbilst optimizācijas attīstības modeļiem:

- Optimizācijai ir jābūt ar diskrētiem mainīgajiem;
- Optimizācijai jābūt daudzsoļu {laika};
- Optimizācijas procesā jāievēro slodzes pieaugums un ekonomisko rādītāju izmaiņas laikā;
- Optimizācijas procesā ir jāapskata viss amortizācijas periods (20-25 gadi);
- Tehniskie ierobežojumi: sprieguma zudumi, nepievienotas slodzes esamība, līniju un transformatoru noslodzes;
- Izvēles kritērijs ir summārie diskontētie izdevumi aprēķina periodam;
- Optimizācijas procesa gaitā ir jāapskata daudzas un dažādas alternatīvas: TP būve, transformatoru maina, vadu maiņa, pāreja uz cita tipa līnijām (piekarkabeļiem un kabeļiem), tīkla konfigurācijas izmaiņa, jauno slodžu pievienošana;
- Visiem variantiem jāveic elektriskie aprēķini;
- Optimizācijas rezultātā jāiegūst vairāki konkurētspējīgi tehniski derīgi varianti;
- Optimālā varianta izvēle jāveic, ņemot vērā perspektīvās informācijas neviennozīmīgo raksturu.

Atbilstība šīm prasībām ir optimizācijas metodes izvēles kritērijs.

Promocijas darbā ir salīdzinātas šādas metodes:

- Mākslīgo neironu tīklu metode;
- Evolūcijas Algoritmu metode;
- Montekarlo metode;
- Optimālo izejas stāvokļu metode.

## Optimizācijas metožu salīdzinājums

Kritērijs	Metodes			
	Mākslīgo neironu tīklu	Evolūcijas algoritmu	Montekarlo	OIS
Diskrētie mainīgie	√	√	√	√
Daudzsoļu (laika)	-	√	-	√
Ievēro slodzes pieaugumu un ekonomisko radītāju izmaiņas laikā	-	√	-	√
Apskata visu amortizācijas periodu (20-25 gadi)	-	-	-	√
Tehniskie ierobežojumi (sprieguma zudumi, nepievienotas slodzes esamība, līniju un transformatoru noslodzes)	Tikai vienam attīstības solim	√	Tikai vienam attīstības solim	√
Apskata daudzas dažādas alternatīvas (TP būve, transformatoru maiņa, vadu maiņa, pāreja uz cita tipa līnijām (piekarkabeļiem un kabeļiem), tīkla konfigurācijas izmaiņa, jauno slodžu pievienošana)	Tikai vienam attīstības solim	√	Tikai vienam attīstības solim	√
Visiem variantiem jāveic elektriskie aprēķini	Tikai vienam attīstības solim	√	Tikai vienam attīstības solim	√
Optimizācijas rezultātā iegūst vairākus konkurētspējīgus tehniski derīgus variantus	-	√	-	√
Optimālā varianta izvēli veic, ņemot vērā perspektīvas informācijas neviennozīmīgo raksturu	-	√	-	√

Mākslīgo neironu tīklu metode zināma tikai pielietojamu elektrisko tīklu režīmu optimizācijai un operatīvai vadībai.

Evolūcijas algoritmu metode - ir atsevišķi pētījumi, izmantojot šo metodi sadales tīklu attīstības optimizācijai. Pētījumi sākti 90-tajos gados, pielietošanas apjoms ierobežots.

Montekarlo metode - tīkla attīstības uzdevumu dinamiskā nostādnē (daudzsoļu) nav izmantota.

Optimālo izejas stāvokļu metodes analīze parāda, ka tās pielietošana ietver: pietiekošu mainīgo skaitu, apskata visu amortizācijas periodu, apskata to, kā dažādi investīciju apjomi ietekme rekonstruētā vai no jauna uzbūvētā elektrotīkla stāvokli (izvērtē, vai investīcijas nav par mazu, vai arī nav pārmērīgas). Tāpat elektrotīkla

rekonstrukcijas uti izbūves plānošanas darbi vienmēr ir saistīti ar nenoteiktām perspektīvām slodzēm, kuru novērtējumu ietver aplūkotā metode.

Lai sasniegtu vētāmo optimizācijas rezultātu, es izvēlos OIS metodi - tāpēc, ka:

1. Tā atbilst izvirzītajam prasībām;
2. Ir liela pieredze nīdu optimizācijas uzdevumu risināšanā;
3. Ir iespēja izmantot kā bāzi esošās *LDM* saimes datorprogrammas.

#### **4. ZEMSPRIEGUMA DINAMISKĀS OPTIMIZĀCIJAS MODEĻA *LDM-VZ* UZBŪVES UN INTERFEISA ANALĪZE**

*Ceturtajā nodaļā* izstrādāti zemsprieguma dinamiskās optimizācijas modeļa uzbūves un interfeisa principi, šie principi izstrādāti, apskatot zemsprieguma optimizācijas modeli kā vienotas zemsprieguma tīkla attīstības analīzes tehnoloģijas sastāvdaļu. *Ceturtajā nodaļā* piedāvāta arī tehnoloģijas lietotāju apmācības programma un metodika.

Radot mūsdienu automatizētas vadības sistēmas, viena no galvenajām problēmām ir speciāla matemātiska nodrošinājuma (vadības datorprogrammu kompleksa) izstrāde. Informāciju apstrādes un vadības algoritmu un datorprogrammu projektēdami lielā mērā nosaka visas vadības sistēmas izmaksas (50-60%) un izstrādes ilgums, bet galvenais - automatizēto vadības sistēmu galveno mērķuzdevumu atrisināšanas efektivitāti. Tehnikas attīstības procesā sarežģītu sistēmu radīšanas un tādu sistēmu vadības problēma ir kļuvusi par vienu no svarīgākajām mūsdienu zinātniski tehniskajām un ekonomiskajām problēmām. Sistēmu radīšanas prakse izvirza jaunus uzdevumus, kurus nevar atrisināt ar tradicionāliem līdzekļiem un metodēm. Automatizētas vadības sistēmas projektēšanas problēmu- var sadalīt vairākās sīkākās problēmās: funkcionālās problēmās, uzbūves problēmās, tehnoloģiskās problēmās.

Minētās projektēšanas problēmas pieņemts saukt arī par matemātiskā nodrošinājuma radīšanu. Plašākā nozīmē šis termins ietver funkcionālus algoritmus, automatizētās programmēšanas līdzekļus un programmu kompleksu testēšanu. Funkcionālo programmu apjoms parasti sastāda 50-70% no programmu kopējā apjoma. Ar kopējo matemātisko nodrošinājumu saprot skaitļošanas procesa organizēšanas un funkcionālās kontroles programmas, kā arī programmēšanas automatizācijas līdzekļus un programmu testēšanu.

Vadības programmu testēšanas galvenais mērķuzdevums ir to darbības un gatavības tehniskā uzdevuma prasībām fakta konstatēšana, kā arī kļūdu atrašana un novēršana un kompleksa pielāgošana pasūtītāja prasībām.

**Zemsprieguma tīkla attīstības analīzes tehnoloģijas uzbūves principi.** Disertācijā attīstības dinamiskās optimizācijas modelis tiek veidots kā kopējās lēmuma pieņemšanas tehnoloģijas (attīstības analīzes stadijā) darba rīks. Tehnoloģija aptver: a) inženieri (grupu) analītiķi, kas izstrādā attīstības variantus un to tehnisko un

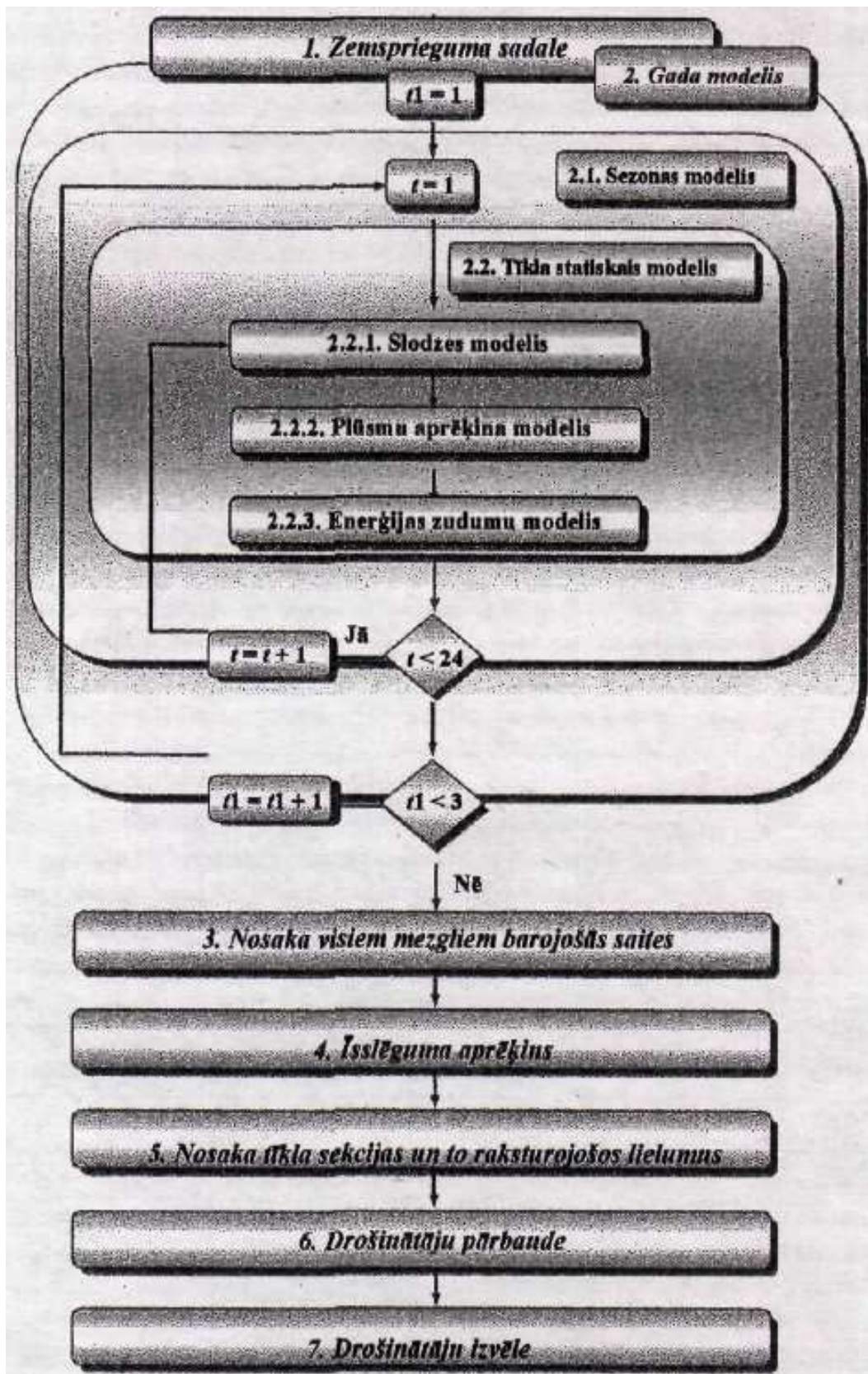
ekonomisko pamatojumu, b) informācijas sistēmu ar optimizācijas un novērtēšanas datorprogrammām (procedūrām), c) vadītājus, kuri pieņem lēmumus par to, ko un kā būvēt. Nepieciešamība izveidot šādu tehnoloģiju ir pamatota 1. un 2. nodaļā, tā izriet no 1) esošās tīklu situācijas un 2) tehniski ekonomiskās analīzes nozīmes tirgus ekonomikas apstākļos. Lēmumu pieņemšanas tehnoloģijas galvenais uzdevums ir sagatavot informāciju dažāda līmeņa vadītājiem lēmuma pieņemšanai - tā, lai tas būtu pamatots ar objektīviem faktiem, bet nevis balstīts tikai uz ekspertu pieņēmumiem. Šādas tehnoloģijas ietvaros, tās darba rīkam (zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas modelim) ir jābūt ērtam no lietotāja viedokļa. Tehnoloģijai jāatbilst šādām prasībām:

1. Informācijas arhitektūrai jābūt vienotai;
2. Analizējamā objekta modeļa ievadam jābūt vienkāršam, ērtam un ātram;
3. Analizējamā objekta modeli jāvar saglabāt, lai, precizējoties informācijai, varētu precizēt pieņemtos, bet vēl realizētos lēmumus;
4. Aprēķina perioda modelim jābūt daudzsoļu, soļu skaits līdz 15;
5. Diskrēto alternatīvo pasākumu skaitam jābūt pietiekami lielam - 30;
6. Attīstības optimizācijas uzdevuma ievadam jābūt operatīvam;
7. Optimizācijas rezultātā jāiegūst ne tikai optimālais variants, bet arī konkurētspējīgie varianti - līdz 10 (ja tādi ir);
8. Konkurētspējīgo variantu tehnisko kritēriju un elektroapgādes drošuma kritēriju analīzei ir jābūt vispusīgai, vienkāršai un ātrdarbīgai;
9. Informācijas koriģēšanu jāvar veikt ērti un ātri analīzes un optimizācijas procesā;
10. Jābūt iespējai informācijas neviennozīmības apstākļos noteikt variantu jūtīgumu un riska matricu dažādām ārējo faktoru prognozēm;
11. Analīzes rezultātus jāvar atlasīt dažādā veidā - atkarībā no tā, kāda līmeņa vadītājiem tie tiks iesniegti.

Modelim jānodrošina iespēju apskatīt 2 nominālā sprieguma pakāpes. Sistēmas ir saistītas ar ārējām datu bāzēm. Galvenie sistēmu bloki:

- **Datu bloks;**
- **Elektroaprēķinu bloks**, kurā aprēķina galvenos elektriskos parametrus;
- **Variantu salīdzināšanas bloks**, kurā veic variantu formēšanu un ekonomisko kritēriju aprēķinu;
- **Optimizācijas bloks**, kurā notiek optimālā un konkurētspējīgo projektvariantu izvēle;
- **Analīzes (lēmuma pieņemšanas) bloks**, kurā apskata dažādas prognozes (slodžu pieaugumam, interešu procentam utt.) un veic jūtīguma un riska analīzi.

Zemsprieguma tīklā elektroaprēķinu metodes struktūra parādīta 4.1. attēlā.



4.1. attēls. Zemsprieguma tīkla elektroaprēķinu metodes struktūra



Blokam *Zemsprieguma sadale*, pirmkārt, var būt patstāvīga loma, ja slodžu izmaiņas vai citu iemeslu dēļ jārisina jautājums par dalījuma vietu maiņu esošā tīklā. Pie tādas datu bāzu bankas struktūras, kurā viens tīkla objekts tiek barots no viena esoša transformatoru punkta, parasti šī uzdevuma veikšanai nepieciešams izveidot jaunu (pagaidu) tīkla objektu ar vairākiem barojošiem transformatoru punktiem.

Tomēr galvenā bloka *Zemsprieguma sadale* nozīme ir dažādu pasākumu variantu efektivitātes analizēšanā. Tādi pasākumi var būt: jaunu transformatoru punktu būve, vadu maiņa, jaunu līniju būve, kā arī dažādas šo pasākumu kombinācijas. Katrā šādā variantā parasti būs atšķirīgas optimālās dalījuma vietas. Tās analīzes procesā jāatrod ātri un katram variantam atsevišķi.

Zemsprieguma tīklu var analizēt (aprēķināt plūsmas, sprieguma un enerģijas zudumus, kā arī īsslēgumus) tādā gadījumā, ja tas ir radiāls. Līdz ar to blokam *Zemsprieguma sadale* ir būtiska nozīme analīzes tehnoloģijā. Paralēli datorprogrammu ieviešanai jāveic arī strādājošo sadales tīklu uzņēmumu speciālistu apmācība valsts a/s *Latvenergo* Mācību centrā. Kursi paredzēti tīklu uzņēmumu, pārvaldes dienestu un projektorganizāciju inženiertehniskajiem darbiniekiem. Kursanti apgūst iemaņas darbam ar programmu *LDM-VZ'01*, ekonomisku pieeju tehnisku jautājumu risināšanai un spēju patstāvīgi izmantot programmu *LDM-VZ'01* savā darbā. Kursu mērķi ir šādi: iepazīstināt kursantus ar programmas *LDM-VZ'01* iespējām un izmantotajām tehnisko un ekonomisko aprēķinu metodēm; apmācīt kursantus praktiskam darbam ar programmu *LDM-VZ'01*; sniegt metodisku palīdzību tīklu uzņēmumu ekonomiskās efektivitātes analīzes uzdevumu risināšanā.

Lietotāju apmācības programma izstrādāta atbilstoši programmas *LDM-VZ* struktūrai un analīzes tehnoloģijai. Kursu mērķu izpildes nodrošināšanai nepieciešamas 3 dienas, dators un programmas *LDM-VZ'01* apraksts (lietotāja instrukcija) katram kursantam. Valsts a/s *Latvenergo* darbinieku apmācību kursu "Zemsprieguma un vīdsprieguma tīkla tehniski ekonomiskās analīzes un optimizācijas programma *LDM-VZ'01*" programma 3 dienām:

Nodarbības tēma	Nodarbības veids	Stundu skaits	Diena
Programmas <i>LDM-VZ'01</i> vispārējs raksturojums.	Lekcija	1	1
Programmas <i>LDM-VZ'01</i> instalēšana.	Praktiskie darbi	1	1
Elektriskā tīkla datu bāze: a) objekti; b) mezgli, līnijas, transformatori, komutācijas aparāti; c) datu bāžu <i>INDY</i> un <i>IRSIS</i> piesaistīšana.	Praktiskie darbi	1	1
Ar programmu <i>ZUDUMI-WGD'2000</i> formēta tīkla objekta ievads <i>LDM-VZ'01</i>	Praktiskie darbi	2	1

Nodarbības tēma	Nodarbības veids	Stundu skaits	Diena
datu bāzē.			
Elektriskā tīkla attīstības modelis: a) aprēķina periods; b) lēmuma pieņemšanas periods; c) aprēķina nosacījumi.	Lekcija Praktiskie darbi	1 1	1
Shēmas plāna un pasākumu formēšana.	Praktiskie darbi	3	2
Variantu formēšana.	Praktiskie darbi	1	2
Variantu elektroaprēķini: a) plūsmas un sprieguma zudumi; b) īsslēguma strāvas; c) drošinātāju pārbaude un izvēle.	Praktiskie darbi	3	2
Ekonomiskie kritēriji: a) ikgadējās izmaksas; b) diskontēšanas izmaksas; c) atmaksāšanas periods; d) NPV kritērijs; e) IRR metode.	Lekcija Praktiskie darbi	1 2	3
Variantu analīze nenoteiktības apstākļos: a) jūtīguma analīze; b) riska analīze.	Lekcija Praktiskie darbi	1 1	3
Optimizācija.	Praktiskie darbi	1	3
Ieskaite	Individuāla ieskaite	1	3

*Apmācību metodika.* Apmācības notiek, nepārtraukti saistot lekcijas par teorētiskiem tehnisko un ekonomisko aprēķinu jautājumiem ar praktiskām nodarbībām. Pasniedzējiem pilnībā jāpārzina programma *LDM-VZ'01* un jāspēj atbildēt uz visiem klausītāju jautājumiem. Līdz ar to nodarbības notiek semināru veidā.

## 5. ZEMSPRIEGUMA TĪKLA ATTĪSTĪBAS TEHNISKI EKONOMISKO RAKSTURLĪKŅU PĒTĪJUMI

*Piektajā nodaļā* izstrādāta zemsprieguma tīkla attīstības tehniski ekonomisko raksturlīkņu pētījumu metodika un pētīšanas instruments - datorprogramma *DARJA*, kā arī eksperimentālo pētījumu rezultāti. Dotas konkrētas rekomendācijas optimālo izejas stāvokļu metodes izmantošanai zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijai.

Galvenā prasība disertācijā izstrādātajām zemsprieguma tīkla optimizācijas metodēm ir šāda: optimizācijas rezultātā atrastajiem variantiem jānodrošina elektroenerģijas kvalitāte visiem klientiem,

Pētījumu *mērķi* un *uzdevumus* formulēju uz optimizācijas kritēriju analīzes bāzes. Kritērijus analizēsim no dinamiskā optimizācijas procesa viedokļa.

Kritēriji iedalās divās galvenajās grupās - ekonomiskie un tehniskie.

Galvenie ekonomiskās efektivitātes rādītāji ir tīrā pašreizējā vērtība - NPV (Net Present Value)(skat.(2.1)), iekšējās peļņas norma - IRR (Internai Rate of Return) un atmaksāšanās periods.

Promocijas darbā rekomendēts zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijai, ievērojot elektroenerģijas kvalitāti, izmantot optimālo izejas stāvokļu metodi (OIS). OIS metode atrod optimālo attīstības procesu, izmantojot šādu rekurento vienādojumu:

$$f(t, e) = g(t, e) \cdot d_t + \min_{\{e(t-1) \subseteq e\}} f(t-1, e(t-1)),$$

kur  $g(t, e)$  - mērķa funkcija attīstības solī  $t$ , stāvoklī  $e$ ;  
 $d_t$  - diskontēšanas koeficients solī  $t$ .

Optimizējot zem sprieguma tīklu, ievērojot elektroapgādes kvalitāti, katrā attīstības solī aprēķina  $g(t, e)$  un tās komponentes:

$$g(t, e) = \sum C + \sum H = C_k + C_{O\&M} + C_{\Delta W} + H(1, t, e) + H(2, t, e), \quad (5.2)$$

kur  $C_k$  – ikgadējie izdevumi par kapitālieguldījumiem

$$C_k = \sum_j^m K_j (a_{aM} + Int) / 100;$$

- $K_j$  - kapitālieguldījumi attīstības pasākuma  $j$  realizācijai;
- $a_{aM}$  - amortizācijas koeficients, %;
- $Int$  - interešu likme, % (interest rate,%);
- $C_{O\&M}$  - operatīvie un apkalpošanas izdevumi;
- $C_{\Delta W}$  - izdevumi par elektroenerģijas zudumiem;
- $H(1, t, e)$  - soda funkcija, kas ievēro nepieļaujamus sprieguma zudumus;
- $H(2, t, e)$  - soda funkcija, kas ievēro līniju un transformatoru pārslodzes.

OIS metodi var pielietot dažādā veidā - izmantojot dažādus algoritmus, Viens no tādiem veidiem ir energoobjekta īpašību izmantošana - OIS metodes un heuristisko metožu hibrīdu.

Analītiskie un eksperimentālie pētījumi vīdsprieguma un augstākā sprieguma tīklos parādīja, ka energoobjektu tehniski ekonomiskās raksturlīknes (kā statiskās, tā arī dinamiskās) ir pakļautas noteiktām likumsakarībām.  $g(t,e) = f(m)$ , kur  $m$  ir realizēto pasākumu skaits sakumā funkcija  $f(m)$ , samazinājās, sasniedz minimālo (optimālo) vērtību, bet pēc tam tā tikai palielinās. Pamatojoties uz šādu likumsakarību, ir pierādīts, ka optimālie izejas stāvokli (OIS) atrodas tikai pirms funkcijas  $g(t,e)$  minimālas vērtības. Tas ir, OIS kopu var atrast ar ātrākā nobrauciena metodi (gradienta metodi):

$$\text{grad } f(t, e(t, m)) = \max_{e(t, m-1) < e(t, m)} [f(t, e(t, m)) - f(t, e(t, m-1))]. \quad (5.4)$$

Pētījumu mērķis ir eksperimentāli pierādīt to, ka arī zem sprieguma tīkla attīstības tehniski ekonomisko raksturlīkņu likumsakarības var attēlot ar šādu teorētisko modeli:

$$g(t, e) = A(e) + \frac{\chi(t)^k}{B(e)}, \quad (5.5)$$

kur  $A(e)$  - kvalitātes kritērija sastāvdaļa, kas nav atkarīga no slodzes;

$\chi(t)$  - vispārējs raksturlielums, kas atspoguļo sistēmas slodzi;

$B(e)$  - vispārējs sistēmas raksturlielums, kas atkarīgs no sistēmas struktūras un atsevišķu elementu raksturlielumiem (stāvokļa efektivitāte);

$k$  - pastāvīgs koeficients.

Atšķirīgos dinamiskās programmēšanas uzdevumos raksturlielumiem  $A(e)$  un  $B(e)$  ir dažāda nozīme • atkarībā no ekonomisko un tehnisko rādītāju, kas nodrošina sistēmas funkcionēšanu, sastāva un apraksta.  $A(e)$  pārsvarā ir atkarīgs no kapitālieguldījumiem un parasti ir patstāvīgs lielums.  $B(e)$  pārsvarā raksturo sistēmas reakciju (zudumu samazinājumi, drošuma līmeņa un citu raksturlielumu, kas pārsvarā atkarīgi no slodzēm un to izvietojuma sistēmā, izmaiņas) uz tajā veiktajiem pasākumiem. Vienkāršākajā gadījumā  $B(e)$  raksturo zaudējumus, kas rodas, kompensējot elektroenerģijas zudumus. Šajā gadījumā  $k = 2$ .

Galvenie uzdevumi uzstādītā mērķa sasniegšanai ir:

1. Ātrdarbīga pētniecības instrumenta (datorprogrammas), ar kuru var izanalizēt pietiekami lielu reālu zemsprieguma objektu skaitu, izstrāde.

2. No reālajiem 20767 Latvijas zemsprieguma objektiem raksturīgo objektu izlases kopas izvēle.

Pētījumu metodikas pamatā ir ikgadējo izdevumu par kapitālieguldījumiem, operatīvo un apkalpošanas izdevumu, izdevumu par elektroenerģijas zudumiem,

soda funkcijas par nepieļaujamiem sprieguma zudumiem un soda funkcijas par līniju un transformatoru pārslodzēm aprēķins.

Sprieguma zudumu kritēriju (soda funkciju) aprēķina šādā veidā:

$$H(1, t, e) = \sum_{r \in R_n} \sum_{n \in M(r)} Au \cdot (\Delta U(n, r) - \Delta U_{kr})^k, \quad (5.6)$$

- kur  $R_n$  - normālo režīmu kopa (72 režīmi);  
 $M(r)$  - mezglu ar nepieļaujamiem sprieguma zudumiem kopa režīmā  $r$ ;  
 $Au, k$  - rādītāji, ar kuru palīdzību var regulēt optimizācijas procesu; konstanšu vērtības iegūst eksperimentāli;  
 $\Delta U(n, r)$  - sprieguma zudumi mezglā  $n$  režīmā  $r$ ;  
 $\Delta U_{kr}$  - pieļaujamie sprieguma zudumi zemsprieguma tīklā.

Saites pārslodzes kritēriju (soda funkciju) aprēķina šādi:

$$H(2, t, e) = \sum_{r \in R_n} \sum_{i \in M(r)} A \cdot (Pl(i, r) - Pl_{kr}(i)), \quad (5.7)$$

- kur  $R_n$  - normālo režīmu kopa (72 režīmi);  
 $M(r)$  - pārslogoto saišu kopa režīmā  $r$ ;  
 $A$  - rādītājs, ar kura palīdzību var regulēt optimizācijas procesu; konstanšu vērtību iegūst eksperimentāli;  
 $Pl(i, r)$  - sprieguma zudumi mezglā  $n$  režīmā  $r$ ;  
 $Pl_{kr}(i)$  - pieļaujamā plūsma saitei  $i$ .

Pētīšanas instrumentam jāatbilst šādiem pamatprincipiem:

1. Ērti un ātri analizēt daudzus zemsprieguma tīklu objektus;
2. Katram aprēķinam parametriem  $Au, k$  un  $A$  uzdot savas vērtības;
3. Izmainīt  $\Delta U_{kr}$  vērtību, zudumu izmaksas, amortizācijas un interešu normu;
4. Aprēķinā noteikt max  $\Delta U\%$  un enerģijas zudumus gadā  $\Delta W$  kWh/gada;
5. Aprēķina rezultāta jāiegūst informācija zemsprieguma tīkla tehniski ekonomisko raksturlīkņu konstruēšanai.

Šo prasību apmierināšana kopumā atļaus ērti veikt daudzpusīgus optimizācijas metožu pētījumus un izvēlēties labākās.

Promocijas darba ietvaros 2004. gadā es izstrādāju datorprogrammu *Darja*. Datorprogramma izstrādāta uz zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas programmas *LDM-VZ'01* bāzes. Programma *LDM-VZ'01* nodrošina 1., 3. un 4. pamatprincipa izpildi. Pirmā pamatprincipa izpildi nodrošina *LDM-VZ'01* daru bāze

struktūra - datu bāze sastāv no daudziem zemsprieguma tīkla aprēķina objektiem, kuri ir ērti un viegli pieejami. Bez tam programmu *LDM-VZ'01* var izmantot kopā ar zemsprieguma tīkla tehniskās analīzes programmas *ZUDUMI-WGD* datu bāzi *Z/S TĪKLS*. Programmu *ZUDUMI-WGD* izmanto visu VAS *Latvenego* sadales tīklu filiāļu zudumu aprēķiniem. Zemsprieguma tīkli ir datorizēti lielai daļai transformatoru punktu. Manā rīcībā promocijas darba izstrādes laikā Fizikālās enerģētikas institūtā bija vairāk nekā 300 tīkla objektu.

Trešā pamatprincipa (izmainīt  $\Delta U_{kr}$  vērtību, zudumu izmaksas, amortizācijas un interešu normu) izpildei jāizmanto datu ievada logi *Tīkla parametri*, *Nosacījumi* un *Pamatrādītāji*,

Ceturrtā pamatprincipa izpildei jāizmanto programmas bloks *Elektrooprēķini*. Minētas operācijas var veikt analīzes gaitā no galvenā *Izvēļu loga*. Lai nodrošinātu otrā pamatprincipa izpildi, tika papildināts galvenais *Izvēļu logs*. Soda funkcijas koeficientu  $A_u$  un  $k$ , ka arī Noslodzes koeficients ievads atrodas programmas izvēļu logā.

Programmas *DARJA* rezultātu izvada logs atšķiras no programmas *LDM-VZ'01* rezultātu izvada loga ar to, ka ir izvadīta mērķa funkcija un soda funkcija.

Eksperimentālos pētījumos pieņemu, ka pieļaujamie sprieguma zudumi ir 6% un 5%. Tiek apskatītas 3 dažādas koeficienta  $A_u$  vērtības:

1. 0 - neievērojot soda funkciju;
2. 0,5 - ievērojot vidēju soda funkciju;
3. 2 - ievērojot lielu soda funkciju.

Pētītie objekti atrodas sadales tīklu uzņēmumos *DET*, *CET* un *ALT*, kā arī lauku rajonos un pilsētās. Objektu parametri mainās plašās robežās (skat. 5.1. tab.).

5.1. tabula

#### Pētītu objektu parametru robežas

Summārā slodze, kW	3,48 - 111,99
0,4 kV līniju kopgarums, m	1720 - 10768
Mezglu skaits	22 - 176
Saišu skaits	21 - 200
Mezglu skaits, kur $\Delta U > \Delta U_{kr}^*$	7 - 45

\*- pieļaujamam sprieguma zudumu līmenim  $\Delta U_{kr}$ , apskatītas divas vērtības: 6 un 5%.

Pētījumā apskatīti dažāda veida energoapgādes kvalitātes uzlabošanas pasākumi:

1. Vadu maiņa, nemainot vada tipu;
2. Gaisvadu nomaiņa ar piekarkabeļiem (AMKA)
3. Transformatora maiņa;
4. Jauna TP būve.

Pamatojoties uz pētāmo objektu dažādību, varam uzskatīt, ka pētāmo objektu kopa ir arī raksturīgo objektu izlases kopa.

Kopas pētījumu rezultātu kopsavilkums dots 5.2. tabulā.

5.2. tabula

**Pētījumu rezultātu kopsavilkums**

Objekts	Kritērijs	Realizēto pasākumu skaits				Soda funkcija		
		0	1	2	3	Au	k	A
1. 1113	Max $\Delta U$ , %	9,9	9,78	6,25	5,99	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	3413	3592	3109	3092	-	-	-
	g (t,e)	0,15	0,71	1,28	1,52	0	2	0
		460,35	302,11	1,35	1,52	0,5	2	0
2. 1090	Max $\Delta U$ , %	13,08	13,08	12,33	5,78	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	5050	5012	4868	3807	-	-	-
	g (t,e)	6,35	6,46	6,88	7,27	0	2	0
		327,29	327,30	203,24	7,27	0,5	2	0
3. 1121	Max $\Delta U$ , %	7,09	1,42	1,42	-	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	5911	6028	2324	-	-	-	-
	g (t,e)	5,34	6,22	6,56	-	0	2	0
		9,8	6,22	6,56	-	0,5	2	0
4. 1044	Max $\Delta U$ , %	12,16	11,84	11,76	6	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	8601	8541	8538	8246	-	-	-
	g (t,e)	7,51	7,57	7,63	8,19	0	2	0
		401,61	327,87	314,49	8,19	0,5	2	0
5. 1308	Max $\Delta U$ , %	8,54	6,36	5,38	-	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	14259	12280	11859	-	-	-	-
	g (t,e)	1,94	1,96	2,02	-	0	2	0
		55,14	2,19	2,02	-	0,5	2	0
6. 1193	Max $\Delta U$ , %	7,98	6,72	5,46	-	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	9272	8242	8088	-	-	-	-
	g (t,e)	3,44	3,47	3,56	-	0	2	0
		12,29	4,79	3,56	-	0,5	2	0
7. 1311	Max $\Delta U$ , %	10,57	7,21	4,65	-	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	22582	18440	17036	-	-	-	-
	g (t,e)	1,79	1,7	1,61	-	0	2	0
		279,64	6,8	1,61	-	0,5	2	0
8. 1029	Max $\Delta U$ , %	12,65	5,65	2,37	-	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	24867	16507	14531	-	-	-	-
	g (t,e)	1,65	2,44	2,5	-	0	2	0
		2370,72	3,02	2,5	-	0,5	2	0
9. 4262	Max $\Delta U$ , %	9,17	6,14	4,64	-	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	2883	2826	2806	-	-	-	-
	g (t,e)	4,69	4,89	5,19	-	0	2	0

Objekts	Kritērijs	Realizēto pasākumu skaits				Soda funkcija		
		0	1	2	3	Au	k	A
		78,73	6,87	5,19	-	0,5	2	0
10. 2214	Max $\Delta U$ , %	10,56	5,23	4,36	-	-	-	-
	$\Delta W$ , kWh	22,018	17928	17506	-	-	-	-
	g (t.e)	3,54	8,00	8,17	-	0	2	0
		1220,8	8,02	8,17	-	0,5	2	0

No kopsavilkuma tabulas varam izdarīt šādus secinājumus:

1. Zemsprieguma tīkla mērķa funkcijas g (t,e) raksturlīknei, ja neievēro soda funkciju, ir U- veida raksturs.
2. Zemsprieguma tīkla mērķa funkcijas g (te) raksturlīknei, ja ievēro soda funkciju, arī ir U-veida raksturs.
3. Zemsprieguma tīklā, ja neievēro soda funkciju, neiegūstām tehniski derīgus variantus.
4. Visiem objektiem, ja  $A_u=0,5$  un  $k=2$ , ar OIS metodi iegūstam tehniski derīgus variantus ar minimāliem izdevumiem.

## SLĒDZIENI

1. Zemsprieguma tīkla analīze parādīja, ka zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas programmai jāaptver tādi uzdevumi, kā:

- esošā stāvokļa regulāra analīze - lai noteiktu vājās vietas un galvenās problēmas,
- optimāla jaunu abonētu pieslēgšana,
- optimāla tīkla rekonstrukcija - vadu maiņa, jauno līniju un ap/st. būve;
- modernizācija - pāreja uz piekarkabeļiem (AMKA), transformatoru maina;
- nodrošināt pieļaujamus sprieguma zudumus un pieļaujamās līniju un transformatoru noslodzes.

Pašreiz zemsprieguma tīklus raksturo lieli sprieguma zudumi. Zemsprieguma tīklā 50% transformatoru punktu sprieguma zudumi pārsniedz pieļaujamos. Zemsprieguma tīklu rekonstrukcijas un modernizācijas pasākumu optimizācijas galvenais uzdevums ir nodrošināt tādu pasākumu, kas samazina elektroenerģijas sadales pašizmaksu un/vai nodrošina elektroenerģijas kvalitāti, veikšanu.

2. Analīze parādīja, ka pārskatāmā perspektīvā zemsprieguma slodzes var stabili pieaugt. Tātad zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas programmai jāveic dinamiska optimizācija, ievērojot slodzes pieaugumu un slodzes pieauguma varbūtējo raksturu. Slodzes izmainījušās ne tikai kvantitatīvi, bet arī kvalitatīvi. Sakarā ar jaunu, modernu elektroietaišu ieviešanu principiāli izmainījušies slodžu grafiki, tie kļuvuši daudz blīvāki.



3. Apmēram 60-70% elektroenerģijas pašizmaksas veido izdevumi elektriskajos tīklos - elektroenerģijas pārvadei un sadalei, bet tikai 30-40% - izdevumi elektroenerģijas ražošanai un importam. Varētu likties - ja mūsu elektriskie tīkli ir izbūvēti pusotras reizes lielākām jaudām un enerģijas patēriņam, tad pašlaik tie ir nenoslogoti, un līdz ar to nav nekādu problēmu. Diemžēl tas tā nebūt nav. Teorija pierāda, ka tīklā ar 70% slodzi pašizmaksa ir par 15% lielāka nekā optimālā tīklā. Esošo stāvokli pasliktina tas apstāklis, ka tīkli izbūvēti pavisam citai patēriņa struktūrai un izvietojumam nekā pašreizējā struktūra un izvietojums, un tas rada vēl lielāku izdevumu pārtēriņu - 25-30%. Bez tam daudz esošo transformatoru ir ar lieliem zudumiem, un arī citas iekārtas tīklos neatbilst mūsdienu prasībām. Tātad visnotaļ aktuāla ir tīklu rekonstrukcija un modernizācija. Tomēr tas nedrīkst kļūt par pašmērķi. Galvenais uzdevums ir veikt tādus pasākumus, kas samazina elektroenerģijas pārvades un sadales pašizmaksas.

4. Tīklu tehniskā un ekonomiskā analīze un optimizācija jāveic operatīvi un regulāri. Mainoties situācijai, agrāk pieņemtie lēmumi ir jākorrigē - ja tas dod ekonomisku efektu. Kā parāda saimnieciski attīstīto valstu pieredze, sākotnēja tehniski ekonomiskā analīze ir ļoti svarīgs posms racionālu lēmumu pieņemšanā - lēmumi, kurus pieņem pasākuma analīzes un plānošanas stadijās, jau par 85% nosaka kopējās izmaksas visā ekonomiskajā dzīves ciklā, bet projektēšanas, būves un ekspluatācijas stadijās kopējās izmaksas var iespaidot tikai par 15%.

Vislielākā nepieciešamība risināt rekonstrukcijas un modernizācijas jautājumus ir zemsprieguma tīklos. Pašreiz slodžu izmaiņas ir ļoti nevienmērīgas, dažos rajonos slodzes samazinās, bet citos tās strauji pieaug. Zemsprieguma tīklos jāreģinās ar slodžu varbūtējo raksturu.

5. Katra projekta lietderība tiek izvērtēta, ņemot vērā vairākus kritērijus, no kuriem galvenie ir tehniskā nepieciešamība un ekonomiskā efektivitāte. Tehniskā nepieciešamība ir projekta atbilstība energokompānijas tehniskās politikas pamatprincipiem un prasībām.

Vienai daļai šo ieguvumu ir arī tieša naudas vērtība, bet ir arī tādi ieguvumi, *kurus naudā izvērtēt ir grūti*. Tomēr tas ir nepieciešams, lai veiktu optimizāciju.

Pasākumi jāizvērtē, izmantojot metodi, ko sauc par *energoobjektu dzīves cikla koncepciju*. Kapitālieguldījumu efektivitāti izvērtē, ievērojot uzturēšanas, ekspluatācijas, tehniskās, ar avārijām saistītās un citas izmaksas Projektējot būvobjektu, mums nepietiek ar to, ja apskatām izmaksas tikai vienam gadam. Šie izdevumi ir jāapskata objekta visās iekārtās *dzīves cikla garumā*.

Galvenie ekonomiskās efektivitātes rādītāji ir tīrā pašreizējā vērtība - NPV (Net Present Value), iekšējā peļņas norma - IRR (Internal Rate of Return) un atmaksāšanās periods.

Tīrās pašreizējās vērtības rādītājs ievēro diskontēšanu vai naudas vērtības samazināšanos laikā (atbilstoši diskonta likmei). NPV vērtība ir izteikta naudas vienībās.

Dinamiskos modeļos salīdzināmos variantus iegūst, optimizējot apskatāmo energoobjektu pie vidējiem datiem (bāzes prognozes). Optimizācijas rezultātā iegūst līdz desmit labākos konkurētspējīgos variantus. Tālāk "analītiķis", izmantojot savu pieredzi, var samazināt un papildināt šo kopu. Optimālā varianta izvēlei izmanto izmaksu matricu. Matricas rindiņas (dinamiskos modeļos) atbilst prognozēm, bet stabiņi - variantiem. Matricā ieraksta attiecīgās mērķa funkcijas, Ekonomiskā analīze atbilstoši metodikai jāveic par visu objekta ekonomiskās dzīves ciklu (elektriskajos tīklos - 20-25 gadi).

Attīstības projektēšanas procesam jānotiek pakāpeniski:

1. Ievērojot ārējās informācijas precizēšanu;
2. Izmantojot iepriekšējos etapos pat atsevišķiem objektiem pieņemtos izejas informācijas lēmumus (horizontālā informācijas plūsma);
3. Izmantojot precizēto informāciju par iepriekšējo sistēmas attīstību (vertikālā informācijas plūsma).

6. Prasības, kurām jāatbilst optimizācijas attīstības modeļiem:

- Optimizācijai ir jābūt ar diskrētiem mainīgiem;
- Optimizācijai jābūt daudzsoļu (laika);
- Optimizācijas procesā jāievēro slodzes pieaugums un ekonomisko radītāju izmaiņas laikā;
- Optimizācijas procesā ir jāapskata viss amortizācijas periods (20-25 gadi);
- Tehniskie ierobežojumi:
  - 1) sprieguma zudumi,
  - 2) nepievienotās slodzes esamība,
  - 3) līniju un transformatoru noslodzes;
- Izvēles kritērijs ir summārie diskontētie izdevumi aprēķina periodam;
- Optimizācijas procesa gaitā ir jāapskata daudzas un dažādas alternatīvas: TP būve, transformatoru maiņa, vadu maiņa, pāreja uz cita tipa līnijām (piekarkabeļiem un kabeļiem), tīkla konfigurācijas izmaiņa, jauno slodžu pievienošana;
- Visiem variantiem jāveic elektriskie aprēķini;
- Optimizācijas rezultātā jāiegūst vairāki konkurētspējīgi tehniski derīgi varianti;
- Optimālā varianta izvēle jāveic, ņemot vērā perspektīvās informācijas neviennozīmīgo raksturu.

7. Atbilstība šīm prasībām ir optimizācijas metodes izvēles kritērijs.

Promocijas darbā ir salīdzinātas šādas metodes:

- Mākslīgo neironu tīklu metode;

- Evolūcijas Algoritmu metode (EA);
- Montekarlo metode;
- Optimālo izejas stāvokļu metode,

Lai sasniegtu vēlamu optimizācijas rezultātu, es izvēlējos OIS metodi - tāpēc; ka:

1. Tā atbilst izvirzītam prasībām;
2. Ir liela pieredze tīklu optimizācijas uzdevumu risināšanā;
3. Ir iespēja kā bāzi izmantot esošas *LDM* saimes datorprogrammas.

8. Disertācijā attīstības dinamiskās optimizācijas modelis tiek veidots kā kopējās lēmuma pieņemšanas tehnoloģijas (attīstības analīzes stadijā) darba rīks. Tehnoloģija aptver: a) inženieri (grupu) analītiķi, kas izstrādā attīstības variantus un to tehnisko un ekonomisko pamatojumu, b) informācijas sistēmu ar optimizācijas un novērtēšanas datorprogrammām (procedūrām), c) vadītājus, kuri pieņem lēmumus, ko un kā būvēt. Nepieciešamība izveidot lādu tehnoloģiju izriet no 1) esošās tīklu situācijas un 2) tehniski ekonomiskās analīzes nozīmes tirgus ekonomiskās apstākļos. Lēmumu pieņemšanas tehnoloģijas galvenais uzdevums ir sagatavot dažāda līmeņa vadītājiem informāciju lēmuma pieņemšanai - tā, lai tā būtu pamatota ar objektīviem faktiem, bet nevis balstītos tikai uz ekspertu pieņēmumiem.

9. Šādas tehnoloģijas ietvaros tās darba rīkam (zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas modelim) ir jābūt ērtam no lietotāja viedokļa. Tam jāatbilst šādām prasībām:

1. Informācijas arhitektūrai jābūt vienotai;
2. Analizējamā objekta modeļa ievadam jābūt vienkāršam, ērtam un ātram;
3. Analizējamā objekta modeli jāvar saglabāt, lai, precizējoties informācijai, varētu precizēt pieņemtos, bet vēl realizētos lēmumus;
4. Aprēķina perioda modelim jābūt daudzsoļu, soļu skaits līdz 15;
5. Diskrēto alternatīvo pasākumu skaitam jābūt pietiekami lielam - 30;
6. Attīstības optimizācijas uzdevuma ievadam jābūt operatīvam;
7. Optimizācijas rezultātā jāiegūst ne tikai optimālais variants, bet arī konkurētspējīgie varianti - līdz 10 (ja tādi ir);
8. Konkurētspējīgo variantu tehnisko kritēriju un elektroapgādes drošuma kritēriju analīzei ir jābūt vispusīgai, vienkāršai un ātrdarbīgai;
9. Informācijas koriģēšanu jāvar veikt ērti un ātri analīzes un optimizācijas procesā;
10. Jābūt iespējai informācijas neviennozīmības apstākļos noteikt variantu jūtīgumu un riska matricu dažādām ārējo faktoru prognozēm;
11. Analīzes rezultātus jāvar atlasīt dažādā veidā - atkarībā no tā, kāda līmeņa vadītājiem tie tiks iesniegti.

10. OIS metodi var pielietot dažāda veidā - izmantojot dažādus algoritmus.

Viens no tādiem veidiem ir energoobjekta īpašību izmantošana - OIS metodes un heuristisko metožu hibrīdu.

Analītiskie un eksperimentālie pētījumi vīdsprieguma un augstākā sprieguma tīklos parādīja, ka energoobjektu tehniski ekonomiskās raksturlīknes (kā statiskās, tā arī dinamiskās) ir pakļautas noteiktām likumsakarībām.  $g(t,e) = f(m)$ , kur  $m$  ir realizēto pasākumu skaits sakumā funkcija  $f(m)$ , samazinājās, sasniedz minimālo (optimālo) vērtību, bet pēc tam tā tikai palielinās. Pamatojoties uz šādu likumsakarību, ir pierādīts, ka optimālie izejas stāvokli (OIS) atrodas tikai pirms funkcijas  $g(t,e)$  minimālas vērtības. Tas ir, OIS kopu var atrast ar ātrākā nobrauciena metodi (gradienta metodi).

*Pētījumu mērķis* ir eksperimentāli pierādīt to, ka arī zemsprieguma tīkla attīstības tehniski ekonomisko raksturlīkņu likumsakarības var attēlot ar šādu teorētisko modeli.

Galvenie uzdevumi uzstādītā mērķa sasniegšanai ir:

1. Ātrdarbīga pētniecības instrumenta (datorprogrammas), ar kuru var izanalizēt pietiekami lielu reālu zemsprieguma objektu skaitu, izstrāde.

2. No reālajiem 20767 Latvijas zemsprieguma objektiem raksturīgo objektu izlases kopas izvēle.

11. Promocijas darba ietvaros 2004. gadā tika izstrādāta datorprogramma "Darja". Datorprogramma izstrādāta uz zemsprieguma tīkla attīstības optimizācijas programmas LDM-VZ'01 bāzes.

Eksperimentālos pētījumos pieņemam, ka pieļaujāmie sprieguma zudumi ir 6% un 5%. Tiek apskatītas 3 dažādas koeficienta  $A_u$  vērtības:

1.0- neievērojot soda funkciju;

2.0,5 - ievērojot vidēju soda funkciju;

3.2 - ievērojot lietu soda funkciju.

Pētītie objekti atrodas sadales tīklu uzņēmumos *DET*, *CET* un *AET*, kā arī lauku rajonos un pilsētās. Objektu parametri mainās plašās robežās: summārā slodze (kW): 3,48-111,990; 4 kV līniju kopgarums (m): 1720-10768; mezglu skaits: 22-176; saišu skaits: 21-200; mezglu skaits, kur:  $\Delta U > \Delta U_{kr}$ : 7-45. Pētījumā apskatīti dažāda veida energoapgādes kvalitātes uzlabošanas pasākumi;

1. Vadu maiņa, nemainot vada tipu;

2. Gaisvadu nomaiņa ar piekarkabeļiem (AMKA);

3. Transformatora maiņa;

4. Jauna TP būve.

Pamatojoties uz pētāmo objektu dažādību, varam uzskatīt, ka pētāmo objektu kopa ir arī raksturīgo objektu izlases kopa.

12. No pētījumu rezultātiem varam izdarīt šādus secinājumus:

1. Zemsprieguma tīkla mērķa funkcijas  $g(t, e)$  raksturlīknei, ja neievēro soda funkciju, ir U-veida raksturs.
2. Zemsprieguma tīkla mērķa funkcijas  $g(t, e)$  raksturlīknei, ja ievēro soda funkciju, arī ir U-veida raksturs.
3. Zemsprieguma tīklā, ja neievēro soda funkciju, neiegūstām tehniski derīgus variantus.
4. Visiem objektiem, ja  $A_u=0,5$  un  $k=2$ , ar OIS metodi iegūstam tehniski derīgus variantus ar minimāliem izdevumiem.

13. Promocijas darba ietvaros ir izstrādāta apmācību metodika.

Apmācības mērķi ir šādi:

- Iepazīstināt kursantus ar programmas *LDM-VZ* iespējām un izmantotajām tehnisko un ekonomisko aprēķinu metodēm;
- Apmācīt kursantus praktiskam darbam ar programmu *LDM-VZ*;
- Sniegt metodisku palīdzību tīklu uzņēmumiem ekonomiskās efektivitātes analīzes uzdevumu risināšanā.