

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

Қахрамонжон Фахридинович Мамасодиқов

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ СИСТЕМАЛАРИНИНГ
БАРҚАРОР РЕЖИМЛАРНИ ҲИСОБЛАШДА
ЧЕГАРАВИЙ ШАРТЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ
ХУСУСИЯТЛАРИ.**

**Мутахассислик: 5А520205
«Электр таъминоти» (тармоқлар бўйича)
Магистр даражасини олиш учун**

ДИССЕРТАЦИЯ

**Иш «Электр энергетикаси» кафедрасида муҳокама қилиниб,
ҳимоя қилишга руҳсат этилган**

Рахбар

доц. Нажмутдинов М.

Фарғона 2012

М У Н Д А Р И Ж А

Кириш	4
1–боб. Ишда вазифаларни қўйилиши ва муаммо ҳолатининг таҳлили..	12
1.1. ЭҲМлардан фойдаланган ҳолда мураккаб электр тизимларининг барқарорлашган режимларини ҳисоблаш бўйича адабиётлар таҳлили.....	12
1.2. Барқарор режимларни аниқлаш ҳисоблашнинг зарурияти.....	16
1.3. Тадқиқот услубининг тавсифи.....	17
1.4. Диссертация ишининг қисқача таркибий тузилиши.....	18
1.5. Хулосалар.....	20
2–боб. Қувватнинг катта ҳажмда мувозанатдан четланишида электр тизимларининг ўзи барқарорлашувчи режимларини ҳисоблаш услубиёти.....	21
2.1. Барқарорлашган режимларни ҳисоблаш хусусиятлари.....	21
2.2. Таклиф этилаётган ҳисоблаш усулининг назарий асослари.....	23
2.2.1. Чизикли номуносабат тизимларнинг мувофиқлик шартлари.....	24
2.2.2. Кўп ўзгарувчиларнинг вазифаларини шартсиз равишда минималлаштириш.....	26
2.2.3. Туташ градиентлар усули.....	28
2.2.4. Ньютоннинг итерацион жараёни билан иккинчи тартиб усули.....	29
2.2.5. Ўзгарувчилар вазифаларининг шартли равишда минималлаштириш усули.....	29
2.3. Нормал ва авариядан кейинги режимларни ҳисоблаш дастурларида частоталарнинг ҳисоби.....	31
2.4. Энерготизимларда ўзи барқарорлашувчи режимларни чегаравий шартларини ҳисоблаш алгоритми ва масаланинг математик ифодаси.....	33
2.5. Хулосалар.....	35
3–боб. Барқарорлашган режимларни ҳисоблашда дастлабки маълумотлар таркибини таҳлил қилиш ва электр тизимни ҳисоблаш схемасининг топологик боғлиқлигини аниқлаш усуллари.....	36
3.1. Ўзи барқарорлашувчи режимлар чегаравий шартлар (ЎРЧШ)ни	

ҳисоблашда масала ечимини топиш шартлари.....	36
3.2. Гармоқ тузилмасини таҳлил қилишнинг график усуллари.....	39
3.3. Гармоқ тузилмасини матрицавий таҳлил қилиш усуллари ва тизимнинг қисмларга бўлиниш аломатини аниқлаш алгоритмлари.....	45
3.4. Хулосалар.....	48
4–боб. Ўзи барқарорлашувчи режимларни ва чегарави шартлари ҳисоблаш усулларини ЭҲМда амалга ошириш масалалари.....	49
4.1. ЎБАКР ЭҲМда ҳисоблаш дастурига қўйиладиган талаблар.....	49
4.2. ЎБАКР ни итерацион ҳисоблашда ечимга келишнинг частотаси ва тезланиши бўйича дастлабки яқинлашувларини танлаш.....	52
4.3. Ҳисоб–китоб усулининг интерациясида алгебраик чизиқли тенгламалар тизимларини ечишнинг аҳамияти.	55
4.4 Ҳисоблаш натижаларини умумлаштириш.....	58
4.5. Хулосалар.....	58
Ҳимояга тақдим этилган тезислар.....	61
Адабиётлар рўйхати.....	62
1–илова.....	66
ЎБАКР ларни Гаусс усули ёрдамида ҳисоблаш.	

КИРИШ

Тадқиқот мавзусини долзарблиги. Электр тизимларини йирик электр энергетика тизларига бирлашиб бориш салмоқли иқтисоди самара бериш билан бирга тармоқлар схемалари ва режимларни мураккаблашувига олиб келди ва натижада уларни бошқаришда ҳисоблаш техникасини қўллаш заруриятини туғдирди. Йирик энергетика тизимларини пайдо булишининг салбий томонларидан яна бири бу режимда аварияли турткиларга кўпроқ дуч келиши, ҳар бир кичик электр тизимларига ҳам озми кўпми тасир қилади. Бу ҳол аварияни “каскад” кўринишида ривожланиш хафини ортттриради. Шу муносабат билан энергетика тизимини “яшовчанлиги” деб номланувчи соволни муҳмлиги кучаяди. Яшовчанлик деганда кўзда тутилган авария ҳолтларда (электр узатиш линия, энерги блоги ёки трансформаторни аврияли ўчишлари ва х.о) электр тизими томонидан истемолчиларни электр энергияси билан узуликсиз таъминлаш давом эттириш тушинилади.

Оғир авариядан кегинги (ўз – ўзидан барқарорлашув) барқарор режимини аниқлаш масалалари ҳозирги кунда чуқурроқ ўрганилмоқда. Бундай режимларни ҳисоблашда частота ўзгаришни эътиборга олиш зарур охирги эса тизимда бирламчи двигателарнинг тезлигини созлаш қурмасининг статизим қиймати ва юкламалари частота характеристикаларини мослиги орқали ўрнатилади.

Ўз– ўзидан барқарорлашувчи режимларни ва уларнинг статик турғунлигини аниқлаш

Ҳам режимларни опертив ва узоқ муддатли режалаштриш амалётида ҳам энергетика тизимининг “яшовчанлик” ва ишончлилик электр таъминотини баҳолаш амалётида амалга оширилади.

Диссертация мавзуси ва вазифалари. Ишни мақсади ва вазифалари ЭҲМда оғир авариядан кегин ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни, статик турғунликни текширган ҳолда ҳамда тизимдаги қувватлар муозанатини тиклашга таъсир қилувчи мавжуд автоматика воситаларининг ҳисобга олган ҳолда ҳисоблаш имкониятини берадиган усуликани яратишдан

иборт. Ушбу усулика оғир авариядан кегинги режимларни электр тизимига боҳланмаган ва носнхрон ишловчи тизимларга бўлиниб кетиши эхтимолини ҳисобга олиб ҳисобловчи махсулаштирилган ЭХМ да ҳисоблаш дастурларини яратишда асос бўлиб хизматқилади. Яна шуни шуни мълум қилинганки ЭХМ да тажриба саноат дастурини яратиш реал энергетика тизимида ҳисоблашлар ўтказиш ва олинган натижаларни таҳлил қилишдан иборат.

Биринчи бобда ишда кўтарилган мавзунинг долзарблиги асослаб берилган ва энерготизим барқарорлашган режимларини ЭХМда ҳисоблаш муаммолари бўйича адабиётлар таҳлилий нуқтаи назардан кўриб чиқилган. Адабиётлар таҳлиliga кўра, ЭХМларда тизимнинг ихтиёрий равишда издан чиқишидан (уларга, нохуш ҳодиса рўй берган шохлар билан тугунларни генерацияловчи тармоқ(линия)нинг, трансформаторларнинг, энергоблокларнинг, юкланиш тугунларининг ва б.қ. ўчиши кабилар мисол бўлади) сўнг Ўз–ўзини барқарор режимини чегаравий шартларни ҳисоблаш масаласи ҳозирда ўз ечимини топганича йўқ. Частота ўзгаришларни ҳисобга олган ҳолда барқарорлашган режимларни ҳисобловчи мавжуд дастурлар авриявий узилишлар натижасида тармоқ тузилмасини таҳлилин ва автоматика ҳаракатини ҳисобга олишни таъминламайди. Шу муносабат билан, ишда ЭХМда оғир авриядан кейин барқарорлашган режимларни ҳисоблаш услубиётини ишлаб чиқиш масаласи ва мувофиқ дастурларни яратиш вазифаси қўйилган.

1. Шу билан бирга ишда кўриб чиқиладиган муаммоларни ўрганиш усуллари ҳам тавсифланган. Энерготизимлардаги оғир авриядан кейинги ўзи барқарорлашадиган режимларни ҳисоблаш масаласи лойиҳалаштиришда ҳам, ЭЭТдан фойдаланишда ҳам долзарбдир.

2. Ўз–ўзини барқарор режимини авриядан кегинги ҳисоблаш масаласи – барқарор режимнинг ўрнатилиши боғлиқ бўлган кўп сонли омилларни ҳисобга олиш зарурияти билан мураккаблашади. Хусусан, тизимда частота ўзгаришини ҳисобга олиш, кучланиш ва частота бўйича генератор ва

юкламаларнинг статистик характеристикаларини ҳисобга олиш, АРВ, АРС, АРЧ, АЧР, АВР – тизим автоматикаси ҳаракатларини ҳисоби, тизимнинг бир–бирига боғлиқликсиз фаолият кўрсатувчи қисмларга бўлиниш имконияти кабиларни ҳисобга олиш ниҳоятда зарур.

3. Ҳозирги вақтда, ва хориж электро энергетикларининг меҳнатлари эвазига, ҳисоблаш услубиётини ишлаб чиқиш учун зарур асослар яратилди.

4. Шу билан бирга, бундай ҳисоблаш услубиёти, ЭҲМда оғир авариядан кейинги режимларни ҳисоблаш саноат дастурлари яратилмаган.

Барқарор режимини чегаравий шартларини ҳисоблаш услубини яратишда энерготизим элементлари ва режимларини математик моделлаштириш усулларига асосланган ЭЭТ барқарор режимларини ҳисоблаш назариясидан келиб чиқиш лозим. Ўз–ўзини барқарор режимини чегаравий шартларини ЭҲМсиз аниқ ҳисоблаш мумкин эмас, бу эса кейинчалик сонли таҳлил усулларини ишлаб чиқиш ва уларни ҳисоблаш имконияти даражаси чекланган ЭҲМларда амалга оширишни талаб қилади.

2–боб АКҚТ режимнинг математик модели ва ҳисоблаш усулини асослашга бағишланган. Ўз–ўзини барқарор режимини чегаравий шартларини умумий ҳолатда чизиқсиз икки томонлама катта тенгсизликлар тизими орқали тасвирланиши мумкунлиги кўрсатилган. Тенгсизликлар кўп ҳолларда мувофиқ бўлмайди, бу эса Ўз–ўзини барқарор режимини авариядан кегинги ҳисоблаш йўқлигидан, яъни режимнинг оғир бузилиши оқибатида тизимнинг издан чиқишидан дарак беради. Буларнинг бари ЎБРЧШ учун ҳисоблаш усулини ишлаб чиқишни мураккаблаштиради.

Ифодаланган чизиқсиз тенгсизликлар тизимини кетма–кет шартсиз минималлаштириш усуллари асосида ечиш таклиф қилинмоқда. Бироқ мақсадли функциянинг ўзи ҳамда уни минималлаштириш алгоритми жуда мураккаб тус олади, бу, ўз навбатида, бундай усулни амалий қўллашга йўл бермайди.

Шу муносабат билан, инженер усул деб аталувчи тугунлардаги қувват нобалансликлари квадратлари функцияси минимумини итератив қидириш

жараёнида АРВ, АРС, АРЧ, АЧР, АВР қурилмалар ҳаракатини моделлаштиришга асосланувчи усул таклиф қилинган. Бундай функция минимумининг зарур шarti Ньютон усули билан ечилувчи чизиксиз алгебраик тенгламалар тизимига олиб келади. Чизиксиз алгебраик тенгламалар тизимини ҳисоблаш жараёнидаги режим ва техник чекловлар чегаравий қийматларда мувофиқ ўзгарувчиларни АЧР ҳаракатларини моделлаштириш орқали ўзгартиришни ҳисобга олиб ёки мақсадли функция минимумини топилгандан сўнг текширилади.

Бу усул асосида энерготизимлардаги ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш алгоритми таклиф қилинган. Ўз навбатида, чизиксиз тенгсизликларнинг катта тизимларини ечиш масаласини чизиксиз математик дастурлаш масаласини ечишга олиб келиш ғояси пайдо бўлди (электр энергетикасида бундай усул нормал режимларни ҳисоблашда қўлланилиб кўрилган). Бироқ ЎБАКРни ҳисоблаш ҳолатида тенгсизликлар тизимига эквивалент бўлган математик дастурлаш масаласи анчайин мураккаб тус олади.

Таклиф этилаётган ЎБАКРни ҳисоблаш услубиёти математик дастурлаш масаласига эквивалент тенгсизликлар тизимини ҳисоб–китобларни анча енгиллаштирувчи инженерлик нуқтаи назарини ҳисобга олган ҳолда ечишдан иборат. Ишда кетма–кет интервалларнинг такомиллаштирилган усули ёрдамида барқарорлашган режимни ҳисоблаш натижасида барқарорликнинг амалий мезонларини аниқлаш имкониятлари тавсифланган.

Режимларни ҳисоблаш вақтида электр тизимларини бошқариш масалаларида керакли барқарорлик захиралари, кучланиш даражаси, генераторларнинг актив ва реактив қувват билан юкланиши ва хоказолар билан таъминланиш билан боғлиқ бир қатор чекловларни ҳисобга олиш муҳим рол ўйнайди. Бунда турғун барқарорлик захиралари кўпинча P_k линиялар бўйича қувват оқимлари чекловлари кўринишида ҳисобга олинади.

$$P_{k\text{мин}} \leq P_k \leq P_{k\text{макс}} \quad (1.1)$$

бу ерда P_k – k -чи линиянинг қувват оқими; *мин* , *макс* – тизим фаолият

кўрсатиши мумкин бўлган чегаравий қийматлар.

Олдиндан барча шохлар учун қийматларини белгилаб ёки чекловларни амалга оширганда (1.1) режим йўл қўйиладиган турғун барқарорлик захирасига эга бўлади деб таъкидлаб бўлмайди. Қувват оқими ва барқарорлик ўртасидаги боғлиқлик катта ҳисобда тизим схемаси билан бир қаторда унинг ҳамда тадқиқ қилинаётган режимнинг алоҳида элементлари билан ҳам аниқланади.

Диссертациянинг амалий аҳамияти. Диссертация ишида баён қилинган усулик ишланмаларни авариядан кегинги ўз-ўзини барқарорлашуви режимларини ЭХМ да ҳисоблагш имконини беради. Бундай режимларни маълум дастурлар орқали амлда ҳисоблашнинг деарли имконияти йўқ. Бу энекргетика тизими режимларни опертив ва узоқ муддатли бошқаришда ҳамда энергетика тизимини “яшовчанлиги” ва электр таъминоти ишончлигини уларни лойихалаш жараёни учун баҳолашда амалий аҳамиятга эга

Частотани фиксацияси қилинган параметр сифатида ҳисоблаш алгоритми қуйидагидан иборат.

Агар системанинг барча параметрларини бирор аниқ частотада берилса, у умумий холдан номиналдан фарқ қилсин, ва бирорта тугун балансловчи сифатида олинса, у холда ҳисоблаш натижасида шу частотадаги режим олинади. Берилган частотани ўзгартириб (мос холда тизим параметрларини ҳам) ҳар хил режим олинади.

Режим ҳисобини фиксация қилинган частоталарда олиб борилганда балансловчи тугун қуввати ўзгартирилади, уни тизим частотасининг функцияси сифатида қараш мумкин. Бу тугуннинг актив қуввати w частотада

$$P_{\Sigma}(w) = P_{ГБ}(w) - P_{НБ}(w), \quad (2.8)$$

бу ерда $P_{ГБ}(w)$, $P_{НБ}(w)$ – w частотадаги балансловчи тугундаги юклама ва генераторнинг актив қувватлари. Демак, частота фиксация қилинган ўолдаги ҳисоблашлар натижасида частота билан барқарор режимни аниқлаш мумкин.

Изланаётган режим ҳисобланган режим асосида олинган балансловчи тугун қуввати P_B ни ушбу тугун қувватини ҳақиқий қиймати P_Σ билан тенглиги шартидан олинади. Айирмани

$$\Delta P(w) = P_B(w) - P_\Sigma(w) \quad (2.9)$$

частота функцияси сифатида кўриб, ва ушбу функция нолини, масалан, Ньютон усули билан излаш керак. Номинал частотада номланган режим биринчи яқинлашув сифатида танланади. Ҳар бир итерацияда частота қиймати қуйидаги ифода бўйича аниқланади:

$$w_{k+1} = w_k + \frac{\Delta P_k}{\left. \frac{d\Delta P}{dw} \right|_{w=w_k}} \quad (2.10)$$

бу ерда K – итерация рақами.

$\frac{d\Delta P}{dw}$ ҳосиланинг ҳисоблаш аниқлигини итерацияли жараённинг яқинлашув тезлигига таъсири кам. Шунинг учун ҳам ушбу ҳосилани ҳисоблашда генератор ва юклама қувватларининг частота бўйича фақат аниқ боғланишлари эътиборга олинади.

3-бобда элементларидаги узилишларни моделлаштиришда керак бўлган, энерготизимнинг ҳисоблаш схемасини топологик таҳлил қилиш усуллари кўриб чиқилган. Бир қатор узилишлар (масалан, тугунларни зарар кўрган шохлар билан генерацияловчи тизимлараро алоқаларнинг) ЭЭТни топологик бир-бирига боғлиқ бўлмаган қисмларга бўлинишига, яъни ҳисоб туманларнинг пайдо бўлишига олиб келади. Биринчидан, ЎБАКР ни ҳисоблаш жараёнида ЭЭТ ҳисоб схемасининг бир-бирига боғланганлигини таҳлил қилиш, иккинчидан, шундай ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш лозимки, бир нечта ҳисоблаш туманлари ажратиб олинганда ҳам ЎБАКР ни ҳисоблаш имконини берсин. Бобда топологик таҳлилнинг бир нечта усуллари таққосланган ва назорат замерларни қайта ишлаш учун МЭИ нинг электр тизимлари кафедрасида ишлаб чиқилган усулнинг устун томонлари кўрсатилган. ЎБАКР ни ҳисоблашда қўллаган ҳолда бу усулнинг кейинги ривожланиши келтирилган. Ўз-ўзини авариядан кегинги барқарор режимни

таклиф этилган алгоритм бўйича ҳисоблашда итерацияларнинг умумий сони 5–7 дан ошмади. Ечим нуқтасига руҳсат этилган соҳанинг ичкарасидан интилилганда яхши яқинлашувга эришилди, бу эса Якоби матричасининг мутаносиблигини яхшилади. Кўрилган усул қувватнинг катта дефицити билан боғлиқ оғир ўз–ўзини авариядан кегинги барқарор режимда ҳам етарлича тез ечим олиш имконини беради, бунда ЭЭТ даги мавжуд қувватлар мувозанатини тикловчи автоматика харакати ҳисобга олинади.

Кўриб чиқилган усул ўз–ўзини авариядан кегинги барқарор режимни ЭХМ да ҳисоблаш имконини берувчи саноат дастури СПР–Ф да тадбиқ қилинган.

Янги ва аён бўлган электр тизимининг топологиясининг аниқлаш натижалари кўрсатилган саволларга жовоб олиш авариядан кегинги урнатилиб қолинган холт электр тизимидаги структурасини аниқлаш критилган.

Топология авариядан кегинги урнатилиб қолинган режим ҳисоботи Электр тизимидаги топологи анализидаги ажиралмас қисмидир. Шуниси муҳимки топология усули асосий авариядан кегинги ўрнатилиб қолинган режим ҳисоботини асосий алгаритимига боғлиқ бўлиши керак ва ЭХМ да қўшимча сарифлар, ҳисоблар ҳам ахамият бўлади.

Ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш дастурида қўшимча маълумотларнинг қуйидаги таркиби ишлатилиши мумкин:

тугунлар бўйича – генерацияланувчи актив ва реактив қувватлар чегараси, генератор ва юкламаларнинг статик характеристикалари ва момент–тезлик коэффициентлари, АЧР томонидан ўчирилмайдиган юклама улуши;

тармоқлар бўйича–бўш боғланишлардаги қувват оқимларининг чегаравий қийматлари, тармоқ шохчаларининг қўшимча пассив параметрлари(масалан, шунтловчи ўтказувчанликлар), комплект трансформация коэффициентлари–дир.

Диссертациянинг илмий – услубий томонлари. Электр тизимдаги қувват муозанатини тиклашга тасир қилувчи, юклама ва генераторнинг кучланиш ва частота бўйича созлаш эффектларни ҳисобга олувчи мурраккаб

элётр тизимларининг авариядан кегинги ўз-ўзидан барқарорлашувчи режимларни усуликасини яратиш. Менинг диссертациямда аниққланган техник схемаси ҳисоблашда граф усули кўзда тутилганди. Ушбу алгоритм граф тўғрисидаги маълумот у ёки бу структурали матрица кўринишида берилса жуда қулай бўлади. Маълумотни ушбу усулда берилиши ўлчами катта бўлмаган графлар учун иқтисодли бўлади, чунки матрица элементини ёзиш учун бор йўғи бир бит маълумот талаб қилинади, лекин зарур бўлган умумий хотира ҳажми тақрибан граф чўққилари сонининг квадратига пропорционал бўлади. Граф тўғрисидаги маълумотларни рўйхат кўринишида реализация қилиб графнинг боғлиқлигини аниқловчи бошқа алгоритмни кўрамиз. Агар (X, Γ) графда, бу ерда графнинг X –чўққилари мажмуаси, Γ –ёйлари мажмуаси, $R \subset X$ ва $T \subset X$, $T \cap R = \emptyset$ кириш ва чиқиш чўққиларининг мос кўпхадлари берилган бўлсин, уларнинг биринчисини манба сифатида, иккинчисини эса тўпланишлар мажмуаси сифатида интерпретация қабул қилиш мумкин.

Тадқиқот предмети. Диссертацияда тадқиқот предмети асосий дастурлашга оиддир. Оралик ЎБАКР параметрларини олгандан кейинги ҳисоблашнинг иккинчи босқичида тармоқдаги актив қувватларнинг ҳақиқий исрофлари $\Delta P_{\text{факт}}$ ҳисобланади, бу қиймат исрофнинг берилган қиймати $\Delta P_{\text{зад}}$ (блок 7) билан солиштирилади. Агар $\Delta P_{\text{факт}} \neq \Delta P_{\text{зад}}$ бўлса 8 блок томонидан $\Delta P_{\text{зад}}$ қийматга $\Delta P_{\text{факт}}$ нинг қиймати ўтказилади, яъни $\Delta P_{\text{зад}} = \Delta P_{\text{факт}}$. Кейин янги бошланғич яқинлашувни $f^{(0)}$ ҳисоблаш бошланади, генератор ва юкламаларнинг қувватлари коррекция қилинади, ЎБАКР ни итерацияли ҳисоблаш такрорланади.

Одатда, шундай иккита босқичдан $\Delta P_{\text{зад}} = \Delta P_{\text{факт}}$ кейин ҳисоблаш ЎБАКР параметрларини печатлаш билан тугалланади (блок 9). Эслатиб ўтамиз, шунга ўхшаш усулда АРЧ харакатини, актив қувват захираси мавжудлигида, моделлаштириш амалга оширилади.

Тизимнинг ҳар бир ҳисобланувчи тугуни чегараланган тармоқлар сони билан боғланганлиги учун A матрицасининг (якоби матрицаси) ҳар бир

қатори оз миқтордаги нолдан фарқли элементларга. Бошқача қилиб айтганда А матрицаси сийрак тўлдирилган.

А матрицасини ЭХМ хотирасидан сақлаш учун икки ўлчамли массивдан фойдаланиш рационалэмас, бунинг учун матрицанинг нолдан фарқли элементларини бир ўлчамли массиврўйхати шаклида сақлаш етарли. Бу рўйхатни қуйидагича ташкиллашмумкин: матрица қаторининг барча нолданфарқли элементларини битта (АА) рўйхатга жойлаштирилади, бунда қаторлар ўзларининг тартиб рақамларига мос тартибда жойлаштирилади. Қаторларнинг биринчи нолдан фарқли элементларининг тартиб рақамлари қўшимча бутун сонлар массиви (МВ) га ёзилади. Бошқа қўшимча массив (NA) га матрицанинг нолдан фарқли элементларининг устуни рақамлари киритилади. Матрицаларни сақлашнинг кўрилган усули Якоби матрицасини шакиллантириш, (2.30а) тенгламалар тизими коэффицентлари матрица ва Гаусснинг номаълумларни йўқотиш усуллари дастурчаларида қўлланилган.

(2.30а) тенгламалар тизимининг симметриялиги ва номаълумларнинг коэффицентлари матрицасининг сийрак тўлдирилганлиги унинг хусусиятидир. Тенгламар тизимини ечишда Гаусс усулининг модификациясини кўрамиз.

$$B \cdot X = F \quad (4.1)$$

У бажариладиган амаллар сонини камаййтириш имконини беради. (4.1) тенгламада B – симметрик квадрат матрица F – вектор–устун.

Тадқиқот объекти. ЭЭТ №2 ҳисоблаш схемасининг(бу ерда $Q_{сл}$ нинг умумий балансдаги улуши 80% ни ташкил қилади) битта тугунида бир қисм юкламалар ўчирилганда ушбу тугундаги кучланишни ўзгариши кўрсатилган.

Кўрилган ходисани чуқурроқ ўрганиш мустақил қизиқишбўлиши мумкин. Шу нарсани қайд қилиш зарурки, яъни юклама қисми ўчирилганда кучланиш сатхининг пасайиши турғунлик нуқтаи назаридан потенциал хафли бўлиши мумкин.

Актив қувват бўйича қандайдир захира бўлгандаги ЎБАКР ларни ҳисоблашда ЭЭТ даги частотани сошлаш схемаси сезиларли таъсир қилади.

Таклиф қилинаётган ҳисоблаш усулига АЧР харакати генерацияловчи тугунларга улушлар коэффициентларини, λ_i , $i=1, \dots, N_p$ (бу ерда N_p – частотани созловчи тугунлар сони), тайинлаш орқали ҳисобга олинади, яъни улар пайдо бўлган қувват нобалансларни ўрнатилган қувват бўйича олинган захира эвазига қоплайди (ЭЭТ бўйича умуман $\sum_{i=1}^{N_p} \lambda_i = I$).

Республика электр энергетика тизимининг қувватини катта нобаланисларини кегинги режими ўрнатиш тадқиқот объектини режимини ўрнати тадқиқотдир.

Мазкур иш таъкидлаб ўтилган итерацион усулларни қўллаш асосларини тадқиқ қилишга, яъни барқарорлашган режим тенгламалари ечимининг мавжудлиги, ягоналиги ва унга эришиш ҳамда бу масалаларнинг нодаврий барқарорлик билан боғлиқлигини таҳлил қилиш, электр тизимлар барқарорлашган режимларини ҳисоблашда итерацион усуллар ва математик моделлаштиришнинг аниқлигини тадқиқ қилишга бағишланган.

Мураккаб электр тизимда барқарорлашган режимни ҳисоблаш чизиқсиз алгебраик тенгламалар тизимини ечишга келтирилади. Бундай ҳисоб–китоблар ЭХМда итерацион усуллар ёрдамида амалга оширилади. Кўп ҳолларда ҳисоблашларда фойдаланилаётган итерацион жараён ёрдамида барқарорлашган режим тенгламаларининг изланилаётган ечимини топишга имкон бўлмайди. У ҳолда, қидирилаётган ечим мавжуд эмас ёки умуман бошқа усуллар ёрдамида ҳам топиб бўлмайди, ёки яна бўлмасам ечим мавжуд бўлиши эҳтимолдир. Охирги ҳолатда ечимга келиш жараёнини тезлаштириш ва бошланғич яқинлашувлар ёки итерацион жараённи ўзини ўзгартириш йўли орқали ечимга эришиш мумкин.

Тенгламалар ечимининг мавжудлиги, ягоналиги ва ечимга эгалигини тадқиқ қилиш ЭХМда режимларни ҳисоблашда зарур бўлади. Хусусан, итерацион жараённинг мақсаддан узоқлашувини ва режимнинг мавжуд эмаслигини фарқлаш учун керакдир.

Барқарорлашган режим тенгламалари, одатда, бир нечта ечимга эга

бўлади. Барқарор, йўл қўйилган ёки оптимал режимни ҳисоблаш анча содда кўринишга эга. Агар берилган соҳада (масалан, нодаврий барқарор режимлар) фақатгина битта ечим мавжудлигини кўрсатиб бериш мумкин бўлганда эди, у ҳолда оптимал ва авариядан кейинги режимларни ҳисоблашда барча ечимларни қидирмасдан, фақат биттасини, масалан, барқарор режимлар соҳасида бўлган ечимни аниқлаш кифоя бўлар эди.

Одатда, тизим режимининг нодаврий турғун барқарорлиги икки босқичдан иборат бўлади: тадқиқ қиланаётган барқарорлашган режимни ҳисоблаш ва биринчи босқич натижалари бўйича тавсифий тенгламанинг озод ҳадини ҳисоблаш. Охириги пайтларда ҳисоб–китобларни соддалаштириш ва тезлаштириш мақсадида, бу икки босқичларни тўла ёки қисман бирлаштиришни таклиф қилинаётган ишлар пайдо бўлмоқда.

Ишда кетма–кет интервалларнинг такомиллаштирилган усули ёрдамида барқарорлашган режимни ҳисоблаш натижасида барқарорликнинг амалий мезонларини аниқлаш имкониятлари тавсифланган.

Режимларни ҳисоблаш вақтида электр тизимларини бошқариш масалаларида керакли барқарорлик захиралари, кучланиш даражаси, генераторларнинг актив ва реактив қувват билан юкланиши ва хоказолар билан таъминланиш билан боғлиқ бир қатор чекловларни ҳисобга олиш муҳим рол ўйнайди. Бунда турғун барқарорлик захиралари кўпинча P_k линиялар бўйича қувват оқимлари чекловлари кўринишида ҳисобга олинади.

$$P_{кми} \leq P_k \leq P_{кмак} \quad (1.1)$$

бу ерда P_k – k -чи линиянинг қувват оқими; *мин*, *макс* – тизим фаолият кўрсатиши мумкин бўлган чегаравий қийматлар.

Олдиндан барча шохлар учун қийматларини белгилаб ёки чекловларни амалга оширганда (1.1) режим йўл қўйиладиган турғун барқарорлик захирасига эга бўлади деб таъкидлаб бўлмайди. Қувват оқими ва барқарорлик ўртасидаги боғлиқлик катта ҳисобда тизим схемаси билан бир қаторда унинг ҳамда тадқиқ қилинаётган режимнинг алоҳида элементлари билан ҳам аниқланади. Шунинг учун (1.1) кўринишидаги чекловларни

ҳисобга олиш умумий ҳолда турғун барқарорлик талабларини акс эттирмаслиги мумкин. Мураккаб электр тизимлар режимларини ҳисоблашда турғун барқарорлик бўйича чекловларни янада аниқроқ ҳисобга олиш учун нодаврий турғун барқарорликни таҳлил қилиш масаласини кўп ўлчамли қилиб ифодаламоқ лозим.

1–БОБ.

Ишда вазифаларни қўйилиши ва муаммо ҳолатининг таҳлили.

1.1. ЭҲМлардан фойдаланган ҳолда мураккаб электр тизимларининг барқарорлашган режимларини ҳисоблаш бўйича адабиётлар таҳлили

МБАТ (масофадан бошқаришнинг автоматлаштирилган тизимлари) нинг энерготизимлар билан математик таъминот тизимининг асосий вазифаларидан бири катта доирадаги масалаларни ечишга қодир махсус дастурлар мажмуасини яратишдан иборат. Бундай дастурларга барқарорлашган режимларни ҳисоблаш, турғун ва динамик барқарор режимлар, қисқа туташув тоқларнинг оптимал ҳисоб–китоблари ва бошқа дастурлар кабилар мисол бўлиши мумкин.

Барқарорлашган режимларни ҳисоблаш дастурларини қўллаш соҳаси етрали даражада кенг ҳисобланади. Бундай дастурлар энерготизимлар фаолиятини лойихалаштириш ва истиқболини режалаштиришда, уларни оператив бошқаришда ҳамда тор доирадаги масалаларни ҳал қилишга мўлжалланган бошқа дастурларни яратишда асос бўлиб хизмат қилади. Қуйида ЭҲМларда барқарорлашган режимлар тенгламаларини турли хил математик усуллар ёрдамида ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурларини ривожлантириш ва такомиллаштириш босқичлари кўриб чиқилган. Илгари режимларни ЭҲМларда ҳисоблашда асосан ҳисоблаш математикасидан яхши таниш бўлган, алгоритмик жихатдан унча мураккаб бўлмаган усуллардан, оддий итерация усули ва Гаусс–Зейдел усулларидан фойдаланиб келишган. ЭҲМнинг оператив хотирасига бўлган талабнинг кичиклиги, ҳисоблаш схемасининг соддалиги ҳозирги вақтда ҳам бу усулларнинг кенг қўлланилишини таъминламоқда.

Кўрсатиб ўтилган ҳисоблаш усуллари тугунлардаги кучланиш тенгламалари билан бирга контур тоқлар учун тенгламалардан фойдаланган ҳолда қўлланилади. Бироқ контур тоқлар тенгламаларидан фойдаланиш тузилишида унификациянинг йўқлиги ҳамда ишончли ҳисоблаш

алгоритмлари мавжуд эмаслиги ҳисобига ўзининг кенг қўлланилишига эришилмади. ЭҲМлардан фойдаланилганда схема тугунларидаги куучланишини ток баланси шаклида ёки тугунлардаги қувват алгоритмик жихатдан анча қулай бўлиб чиқди.

Тугунлардаги кучланишларнинг бевосита U – шакл тенгламалари билан бир қаторда билвосита деб аталувчи тенгламалар ҳам қўлланила бошлади. Бунга асос бўлиб режимларни ҳисоблашга ёрдам берувчи бир қатор дастурларнинг яратилишига имкон берган ишлар хизмат қилди. Гаусс–Зейдел усулини қўллаб, Z – шаклдаги тенгламаларни ечиш U – шаклдаги тенгламаларни ҳисоблашга қараганда 10 мартагача итерациялар сонини қисартиришга имкон берди. Бироқ Z – шаклдан фойдаланишдаги асосий қийинчилик бу – ЭҲМ хотирасида тугунлардаги қаршиликлар матричасини тўлиқ тўлдирилган шаклда сақлаш зарурияти бўлиб келган. Шунинг учун Z – шаклдан фойдаланишни ривожлантириш мавжуд тенгламалар тизимин диакоптик усул орқали тизим ости тизимларга ажратиш йқлларини ишлаб чиқиш йқналиши бўйлаб кечди. Бу ўз навбатида, ЭҲМ хотирасида алоҳида тизим ости тизимлар матрицаларини сақлаш билан чекланишга имкон берди. Шунга қарамасдан алгоритмининг мураккаблиги ва ЭҲМниг ташқи қурилмаларидан фойдаланиш зарурияти сабабли бу усулнинг самарадорлиги пасайиб борарди. Кейинчалик билвосита шаклдаги тугунлардаги кучланиш усулини берилган тоқлар векторини ва Z матрицани кўпайтириш операциясини хосиласи $Y = Z^{-1}$ алмаштириш ҳисобига самарасини оширишга олиб келинди. Бунда ЭҲМ хотирасида Z матрицани тўлиқ сақлаш зарурияти йўқолади. Моҳиятан, бундай алмаштириш тенгламалар билвосита шакли билан тугунлардаги ўтказувчанлик U матрицанинг учбурчакли факторизациясини бирга қўллашнинг ўзидир. Бу усул биринчи бўлиб динамик барқарорликни ҳисоблаш дастурларидаги интеграллаш қадамида режимлар тенгламаларини ҳисоблашда қўлланилди. Кейинчалик барқарорлашган режимларни ҳисоблаш дастурларида фойдаланила бошлади.

Юртимиз ҳамда ҳориж амалиётида дифференциал усуллар деб

аталувчи гуруҳдан кенг фойдаланиб келинмоқда. Барқарорлашган режим тенгламаларини ечими бу ерда қайсидир барқарор динамик тизимдаги ўтиш жараёнининг чегараси сифатида кўрилмақда. Бунинг устига бошланғич шартлар вектори сифатида ечимга бошланғич яқинлашувлар векторидан фойдаланилди. Интеграллаш учун Эйлер усули ва унинг модификацияларини қўллаш оддий итерация ва Гаусс–Зейдел усуллари каби турли схемаларга олиб келади. Дифференциал усулларнинг услубий қиймати шундаки, хусусан, электр тизимидаги ўтказилаётган қувватнинг чегараси (бошқача айтганда режимнинг тенграмаси учун ечимнинг мавжудлик чегараси) ва унинг турғун барқарорлик шартлари ҳамда режимни ҳисоблашдаги турли итерацион усулларнинг мослиги ва барқарорлиги ўртасидаги боғлиқликни аниқлашга ёрдам бери.

Санаб ўтилган усуллар ечимга келишда чизиқли тезликка эгадир. Уларнинг асосий камчилиги барча ечимга ҳам олиб келавермайди. Баъзи ечимларни хаттоки, энг мақбул бошланғич яқинлашувлар берилганда ҳам олиб бўлмайди. Улардан фарқли ўлароқ Ньютон усули ва унинг модификациялари тенгламаларнинг барчасига ечим топишга имкон беради, бунда ечимга эришиш квадратик тезликда амалга оширилади.

Ньютон усули энергетика соҳасида анчадан бери маълум, лекин 1–авлод ЭХМлардан фойдаланиш вақтида бу усул кам қўлланилди. Бу ҳолат ҳар бир итерацияда катта тартибдаги чизиқли тенгламалар тизимини ҳисоблаш зарурияти билан тушунтирилади, бу эса стандарт алгоритмлардан фойдаланилганда ЭХМ хотирасида катта жой ва узоқ вақт ҳисоб–китобларни талаб қилади (хотира электр тармоғидаги тугунлар сонига квадратик, ҳисоблаш вақтига эса кубик равишда пропорционал). Шу сабаблари, катта ҳажмдаги тармоқлар учун Ньютон усули, итерациялар сонининг ҳажмига қарамаздан, оддий итерация усулига нисбатан ёмонроқ тавсифга эга бўлган. Ньютон усулининг камчилиги итерацион жараён мослигини бошланғич яқинлашувларни танлашга боғлиқлиги бўлиб ҳисобланади. Кейинчалик усуллар самарадорлиги қайта баҳоланиб, Ньютон усули ва унинг

модификациялари ҳисобига ҳал бўлди. Бунга қуйидаги вазиятлар туртки бўлди:

1. Бошланғич яқинлашувларни ижобий қийматини таъминловчи, корректловчи коэффициентлари ва турли алгоритмларни қўллаш ҳисобига ҳар қандай исталган бошланғич яқинлашувларда ҳам Ньютон усули орқали турғун ечимга эга бўлишга эришилди.

2. Ньютон усулини қўллаш қадамидаги чизикли тенгламаларни ечишда Якоби матрицасининг нол қийматли элементлари устидан амаллар инкор этувчи алгоритмларни қўллаш ЭХМнинг керакли хотирасини ва ечимга кетадиган вақтни 10 мартабагача қисқартиришга ёрдам берди.

3. ЭХМлардан фойдаланиш тажрибасини ошириши билан бирга энерготизимларни математик тавсифининг аниқлиги ва мураккаблашуви рўй бера бошлади. Бўйлама компенсациялаш қурилмалари ҳисоби, аниқ трансформатор алоқалар кўринишидаги топшириқлар, шу жумладан, трансформациянинг комплекс коэффициентлари билан ҳамда ҳал қилиниши керак бўлган масалалар ҳажмининг ортиши ва шунга боғлиқ равишда ЭХМ хотирасида маълумотни компакт ҳолда сақлаш тизимларидан фойдаланиш – буларнинг барчаси ҳисоб–китоб фойдаларининг мураккаблашувига ва ҳар бир итерацияда уларга сарфланадиган машина вақтининг ортишига олиб келади. Бу ҳаражатлар агар ҳисоблаш давомида мувозанатловчи тугунни борлиги тахминини йўқ деб, электр тизими барча элементларининг частотавий тавсифларини ҳисобини киритилса янада ошишига олиб келади. Натижада Ньютон усулининг ҳар қадамида чизикли тенгламалар тизимини ечишга сарфланадиган машина вақти бир томондан, иккинчи томондан боғлиқсизликлар функцияларини аниқлашга сарфланадиган машина вақти ўлчовдош бўлади: биринчи операцияга вақтни рационал алгоритм бўйича сарфлаш, иккинчи операцияга сарфланадиган вақт 5–10 мартадан ортиқ бўлмаган миқдорда кўпроқ бўлиши мумкин. Одатда кўптугунли схемалар учун Ньютон усулини қўллаганда итерациялар сони 10 тадан ошмайди, Гаусс–Зейдел усулига кўра эса бу кўрсаткич бир неча юзга етади.

Шундай қилиб, юқорида кўрастиб ўтилган барча сабабларга кўра Ньютон усулининг ҳисоблашдаги устунликлари яққол кўринмоқда.

Ньютон усули қадамидаги матрица коэффицентларининг тўлиқ тўлдирилмаган шароитда чизикли тенгламалар тизимини ечиш масалаларига бир қатор ишлар бағишланган. Бу ерда учта йўналишни ажратиб кўрсатиш мумкин. Улардан биринчиси, кенг тадбиқини топган, юқорида айтиб ўтилган ҳисоблаш жараёнида матрицанинг нол қийматлари устидаги амалларни инкор этувчи, тенглама ва ўзгарувчиларни қайта тартиблаш махсус алгоритмларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ. Иккинчи йўналиш бу бутун электр тизимини сунъий равишда тизим ости тизимларга бўлиб чиқиш билан боғлиқ бўлиб, ҳисоблаш алгоритмининг мураккаблиги туфайли қўлланишда чегараланиб қолди.

Учинчи йўналиш чизикли тенгламалар тизимини итерацион усуллар ёрдамида ҳисоблаш билан боғлиқ. Ҳисоблаш математикасида чизикли тенгламаларни итерацион усулларни қўллаб ечишнинг турли тенгламалари мавжуд. Масалан, уларга Ньютон–Якоби, Ньютон–Писман–Рекфор ва бошқа усуллар таалуқлидир. Бироқ чизикли тенгламалар тизимини ечишнинг итерацион усулларининг барчасини ҳам Ньютон усули билан муваффақиятли қўллаб бўлмайди. Ньютон усули таъминланган ечимга яқинлашуви(интилиши) билан итерацион усуллар ундан узоқлашади. Бу ҳолатдан чиқиш учун ечимга эга бўлиш кафолатланган итерацион усуллардан фойдаланиш зарур. Бундай усуллар мавжуд бўлишига қарамасдан, усуллар кўп ҳолларда ечимга олиб келишда қониқарсиз тезликка эга бўладилар. Бу ҳолат барқарорлашган режим тенгламларини чизиклашувидан олинган тенгламалар тизимининг катта қисми жуда ёмон ўзаро боғлиқликка эгаллиги билан изоҳланади. Чизикли тенгламалар тизимини тегишли равишда ўзаро боғлиқлигини таъминланган шароитда тўғри усулларга нисбатан итерацион усулларни қўллаш ЭҲМ хотирасидаги жой ҳажмидан ютишга имкон беради.

Охирги пайтларда барқарорлашган режимни жорий параметрлари

кўрсаткичларини аниқлашга қаратилган(мўлжалланган) ЭЭТлар ҳолатини баҳолаш назарияси масалаларига катта эътибор берилмоқда. Режимнинг параметрлари қийматлари ЭЭТ режимлари ва уларнинг элементларини оператив бошқариш масалаларини ҳал қилишда зарур ахборот материали бўлиб хизмат қилади.

Баҳолаган ҳолда масаланинг ечимига ёндошувни иккита йўналишга ажратиш мумкин: мантиқий ва статистик. Мантиқий ёндошув минимал зарур ўлчамлар сони бўйича барқарорлашган режимни бевосита (итератив бўлмаган) ҳисоблаш йўли орқали режимнинг етишмаётган параметрларини аниқлашдан иборат (тармоқ схемасида дарахт–схема ажратилиб ва фақат дарахт шоҳлаган жойларида, яъни иккитадан ортиқ тармоқланган тугунларда датчиклар ўрнатиш таклиф қилинмоқда). Бундай ёндошувнинг камчилиги шундан иборатки, аниқ бир схема учун дарахтлар вариантлари сони жуда катта бўлиши мумкин ва ҳар бир дарахт умумий ҳолатда ортиқча бўлиши мумкин бўлган ўзининг керакли ўлчамлари сонига эга бўлади. Мантиқий ёндошувнинг устун жихатлари булар – ҳисоблаш учун сарфланадиган вақтнинг камлиги ва дастурий амалга ошишининг соддалигидир. Заиф жойи ўлчовлардаги хатоликларни етарли даражада ҳисобга олинмаганлигидир.

Статистик ёндошув баҳолаш назарияси ва кузатув натижаларини қайта ишлаш аппаратини қўллашга асосланади. Энг кўп қўлланиладиган усул бу муаллақ энг кичик квадратлар усулидир. ЭЭТ режимининг статистик жихатдан аҳамиятли баҳоларини олиш учун керагидан ортиқ бўлган ахборотдан фойдаланиш зарур, яъни ўлчовлар сони $2p-1$ дан катта бўлиши керак, p – бу ерда тармоқдаги тугунлар сони.

Статистик усулларнинг асосий устун жихатлари: мантиқий усулларга солиштирилганда, замонавий математик усулларни қўллаганда, дастлабки маълумотлардаги камчиликлар мавжудлигига қарамасдан қониқарли натижаларни қўлга киритиш мумкин. Уларнинг камчиликларидан бири хатоларнинг баҳоланаётган параметрларининг вектор ясовчиларига таъсир этишидир. Катта хатоларга эга маълумотларни аниқлаш, уларни таъсирини

йўқотиш анча мушкул назарий жихатдан бундай масалалар ҳал қилинганлигига қарамасдан. Статистик ёндошувнинг яна бир камчиликларидан бири бу керагидан ортиқча ўлчовларни амалга ошириш ва ҳисоблаш учун сарфланадиган вақтнинг мантиқий ёндошувга нисбатан кўп сарфланишидир.

Барқарорлашган режимларни ҳисоблаш бўйича катта миқдордаги назарий ишланмаларнинг ва уларни амалга оширувчи дастурларнинг мавжудлигига қарамасдан, уларнинг бари ЭТТ авариядан кейинги ўзи барқарорлашувчи режимларнинг дастлабки алгоритмларини ўзгартиришсиз ҳисоблашга имкон бермайди. Бу ҳолат, биринчи навбатда, меъёрида барқарорлашган ва авариядан кейин ўзи барқарорлашган режимларнинг математик моделларидаги фарқлар билан тушунтирилади.

Шу муносабат билан махсус ҳисоблаш услубиёти ва унга мувофиқ тарзда ҳисоблаш дастурларини ишлаб чиқиш зарур бўлмоқда.

1.2. Барқарор режимларни аниқлаш ҳисоблашнинг зарурияти.

Бир текис фаолият кўрсатмаётган электр тизимида маълум ўтиш жараёнидан сўнг режим ўрнатилади. Бутунлай ички омиллар билан аниқланувчи: тугунларнинг юкланиш статистик тавсифлари, генераторларни ишга тушурувчи автоматик регуляторлар ҳаракати, турбинлар тезлиги, автоматик частотали юкланишдан бўшатишлар ва б.қ. Бундай режимларни ўзи барқарорлашувчи режимлар деб атаймиз.

Мураккаб ЭЭТларнинг барқарор режимлари, тизимнинг қайсидир элементининг тўхташи билан шартланган ва актив қувватнинг катта ҳажмда мувозанатдан чиқиши билан кечувчи тармоқ схемасини тузилмавий ўзгаришига олиб келади.

Барқарорлашган режимларни ҳисоблаш алгоритмлар ва дастурларидан фойдаланиш қониқарсиз натижаларга олиб келади ёки аксарият ҳолларда бирор натижага эришишнинг ўзи мушкул. Бу ҳол юқорида таъкидлаб

Ўтилганидек, барқарорлашган режимлар ҳисоблашда аҳамиятга олинмайдиган, ЎБАКРлар ҳисоб–китобларида ўзига хос омилларни ҳисобга олишни шарт қилувчи, барқарорлашган ва ЎБАКР математик моделларининг бир–бирига мос эмаслиги билан тушунтирилади. Бундай ЎБАКР ҳисоб–китобларида ҳисобга олиниши керак бўлган омилларга: тизимни ишлаш частотасини ўзгариши; генераторларнинг пайт–тезлик тавсифлари ва кучланиш ҳамда частота бўйича юкларнинг статистик характеристикалар; режим параметрлари бўйича чекловлар; тизимдаги қувватнинг мувозанатни тиклашга таъсир кўрсатувчи автоматик қурilmалар ҳаракати; ЭЭТ топологиясидаги ўзгаришлар ва б.к.

Шундай қилиб, қувватнинг катта ҳажмда мувозанатдан чиқиш ҳолатлари ва ЭЭТнинг бир–бирига боғлиқ бўлмаган қисмларга бўлиниши билан кечадиган ЎБАКРни тадқиқ қилишга ёрдам берувчи махсус ҳисоблаш услубиёти ва мувофиқ тарзда ихтисослашган компьютер дастурларини яратиш зарурияти туғилади. Мазкур масала ушбу диссертация ишининг умумий мақсади ҳисобланади.

1.3. Тадқиқот услубининг тавсифи.

ЭЭТнинг берилган элементлари билан тадқиқ қилганда, шу жумладан, унинг иш режимларини аниқлашда ЭЭТни математик модел орқали тавсифлаш зарурияти туғилади. ЭЭТ тавсифлаш учун фойдаланиладиган катта масштаб, катта ҳажмдаги маълумот – эксплуатациявий ва лойихавий ҳисоб–китобларда ЭҲМ ёрдамида амалга оширилувчи математик моделлаштириш усуллари кенг қўлланилишини мақсадлилиги ва зарурлигини белгилаб беради. ЭҲМлардан фойдаланиш бир вақтнинг ўзида натижаларнинг аниқлигини ЭЭТлардаги жараёнларни математик тавсифлашга бўлган талабни оширган ҳолда ҳисоб–китобларни амалга оширишни анча енгиллаштиради.

Охирги пайтларда ЭЭТ турғун режимларини ҳисоблаш соҳасида амалиётда ўзининг яхши намойиш қилган ва ҳисоблаш дастурлари алгоритмларида асос бўлиб хизмат қилувчи бир қатор математик моделлар

ишлаб чиқилди. Булар биринчи навбатда, барқарорлашган режимларни ҳисоблаш учун керак бўлган чизиксиз алгебраик тенгламалар кўринишидаги электр тармоғи моделлари, чизиксиз математик моделлаштириш дастурлаш масаласи кўринишида ва б.қ. электр тармоғининг моделидир. Бундай моделлар, дастурларда амалга ошувчи, ўзини амалиётда яхши томондан намоён этган ва реал эксплуатацион шароитларда синалган эталон деб ҳисоблаш мумкин. Эталон моделлар ёрдамида қайта таклиф этилаётган, асосига МБАТ математик таъминотининг янги дастурлари қуриладиган моделларни текшириш лозим.

Диссертация ишининг бажариш давомида назарий тадқиқотлар бир неча усулларга асосланиб олиб борилади. Биринчи навбатда бу тармоқнинг барқарорлашган режимлар катта чизиксиз алгебраик тенгламалар тизимини ҳисоблаш усулларига асосланган энерготизимлар нормал турғун режимларини ЭХМларда ҳисоблаш назариясидир. ЭЭТ режимини чекловлар билан тавсифловчи чизиксиз тенгламалар тизимини ечимини топиш учун математик дастурлаш усулларида фойдаланилган (шартсиз кетма–кет минималлаштириш, ўзгарувчиларни ўзгартиришлар усуллари).

Итерация қадамида режимнинг чизиксиз тенгламалар тизимини чизикли йўлга келтиришдан олинган чизикли алгебраик тенгламалар тизимини ечиш учун Гаусснинг модификацияланган номаълумларни инкор этиш усулидан фойдаланилган. Барқарор режимларда қувват мувазатиغا эришиш учун автоматика қурилмалари (АИС, АЧР, генераторларни ишга тушириш ва тўхтатиш) ҳаракатини моделлаштириш орқали амалга оширилди. ЭЭТнинг авриявий ҳолатлар натижасида кўпинча катта ўзгаришларни (хатто тармоқнинг бир нечта бир–бирига боғлиқ бўлган қисмларга бўлиниб кетишигача бўлган ҳолатларни) бошдан кечирувчи топологиясини таҳлил қилиш учун график ва матрицавий усуллар қўлланилди. ЭХМ ресурсларини (оператив хотира ва процессор вақти) тежаш мақсадида махсус математик усуллардан фойдаланилди. Бу усуллар чизикли алгебраик тенгламалар тизимини ечишда тўлиқ тўлдирилмаган тармоқ

матрицаларида фойдаланишга асосланади.

Амалий тадқиқотларни амалга ошириш диссертацияда қўйилган масалаларни ечиш алгоритмларини ишлаб чиқиш, ЭХМда ҳисоб–китобларни амалга ошириш дастурларни яратиш, реал ЭЭТ бир қатор схемалари учун ЭХМда ҳисоб–китобларни амалга ошириш ва олинган натижаларни баҳолашдан иборат эди. Муаллиф томонидан чизиксиз тенгсизликларнинг катта тизимларини ҳисоблашнинг амалий усулини бажарувчи ЎБАКРни ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган. Бу амалий усул автоматик қурилмалар ҳаракатини моделлаштириш йўли орқали чизиксиз тенгламалар тизимига келтиришни назарда тутди ва бу, ўз навбатида, режим чекловларини қониқарли қийматини таъминлайди. Ушбу алгоритм асосида Delphi алгоритм тилида ЭХМлар учун ЭТ сериядаги дастурлар яратилди. Бу дастурлар ёрдамида реал тармоқлар учун 35–750 кВ турли мураккабликдаги (200 тагача бўлган генератор тугунлар) бир неча серия режимлар ҳисоблаб чиқилган ва ҳисоб–китоблар натижалари режимларни ҳисоблашда қўлланиладиган бошқа дастурлар билан таққосланиб баҳоланиб чиқилди. Бунда генерация қилувчи станциялар эстатизмалари, юкламаларнинг турғун тавсифий кўрсаткичлари, тизим параметрлари (шоҳларнинг актив ва реактив ўтказувчанлиги) ўзгариб турди ва ҳисобда ечимга эришишга ўзгарувчан параметрларнинг таъсири баҳоланди.

ЎБАКРлар ҳисоб–китоблари, одатда, частотанинг ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда ўтказилади. Хусусий ҳолдагина ишлаб чиқилган дастур тизимнинг нормал режимини частотани назарда тутмаган ҳолда ҳисоблашга имкон беради.

1.4. Диссертация ишининг қисқача таркибий тузилиши.

Биринчи бобда ишда кўтарилган мавзунинг долзарблиги асослаб берилган ва энерготизим барқарорлашган режимларини ЭХМда ҳисоблаш муаммолари бўйича адабиётлар таҳлилий нуқтаи назардан кўриб чиқилган. Адабиётлар таҳлиliga кўра, ЭХМларда тизимнинг ихтиёрий равишда издан чиқишидан (уларга, нохуш ҳодиса рўй берган шоҳлар билан тугунларни

генерацияловчи тармоқ(линия)нинг, трансформаторларнинг, энергоблокларнинг, юкланиш тугунларининг ва б.қ. ўчиши кабилар мисол бўлади) сўнг ЎБАКРларни ҳисоблаш масаласи ҳозирда ўз ечимини топганича йўқ. Частота ўзгаришларни ҳисобга олган ҳолда барқарорлашган режимларни ҳисобловчи мавжуд дастурлар авриятий узилишлар натижасида тармоқ тузилмасини таҳлилини ва автоматика ҳаракатини ҳисобга олишни таъминламайди. Шу муносабат билан, ишда ЭХМда оғир авриядан кейин барқарорлашган режимларни ҳисоблаш услубиётини ишлаб чиқиш масаласи ва мувофиқ дастурларни яратиш вазифаси қўйилган.

Шу билан бирга 1–бобда ишда кўриб чиқилаётган муаммоларни ўрганиш усуллари ҳам тавсифланган.

2–боб АКҚТ режимнинг математик модели ва ҳисоблаш усулини асослашга бағишланган. ЎБАКРни умумий ҳолатда чизиқсиз икки томонлама катта тенгсизликлар тизими орқали тасвирланиши мумкунлиги кўрсатилган. Тенгсизликлар кўп ҳолларда мувофиқ бўлмайди, бу эса ЎБАКРнинг тўқлигидан, яъни режимнинг оғир бузилиши оқибатида тизимнинг издан чиқишидан дарак беради. Буларнинг бари ЎБАКР учун ҳисоблаш усулини ишлаб чиқишни мураккаблаштиради.

Ифодаланган чизиқсиз тенгсизликлар тизимини кетма–кет шартсиз минималлаштириш усуллари асосида ечиш таклиф қилинмоқда. Бироқ мақсадли функциянинг ўзи ҳамда уни минималлаштириш алгоритми жуда мураккаб тус олади, бу, ўз навбатида, бундай усулни амалий қўллашга йўл бермайди. Шу муносабат билан, инженер усул деб аталувчи тугунлардаги қувват нобалансликлари квадратлари функцияси минимумини итератив қидириш жараёнида АРВ, АРС, АРЧ, АЧР, АВР қурилмалар ҳаракатини моделлаштиришга асосланувчи усул таклиф қилинган. Бундай функция минимумининг зарур шarti Ньютон усули билан ечилувчи чизиқсиз алгебраик тенгламалар тизимига олиб келади. Чизиқсиз алгебраик тенгламалар тизимини ҳисоблаш жараёнидаги режим ва техник чекловлар чегаравий қийматларда мувофиқ ўзгарувчиларни АЧР ҳаракатларини

моделлаштириш орқали ўзгартиришни ҳисобга олиб ёки мақсадли функция минимумини топилгандан сўнг текширилади.

Бу усул асосида энерготизимлардаги ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш алгоритми таклиф қилинган.

3–бобда элементларидаги узилишларни моделлаштиришда керак бўлган, энерготизимнинг ҳисоблаш схемасини топологик таҳлил қилиш усуллари кўриб чиқилган. Бир қатор узилишлар (масалан, тугунларни зарар кўрган шоҳлар билан генерацияловчи тизимлараро алоқаларнинг) ЭЭТни топологик бир–бирига боғлиқ бўлмаган қисмларга бўлинишига, яъни ҳисоб туманларнинг пайдо бўлишига олиб келади. Биринчидан, ЎБАКР ни ҳисоблаш жараёнида ЭЭТ ҳисоб схемасининг бир–бирига боғланганлигини таҳлил қилиш, иккинчидан, шундай ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш лозимки, бир нечта ҳисоблаш туманлари ажратиб олинганда ҳам ЎБАКР ни ҳисоблаш имконини берсин.

Бобда топологик таҳлилнинг бир нечта усуллари таққосланган ва назорат замерларни қайта ишлаш учун МЭИнинг электр тизимлари кафедрасида ишлаб чиқилган усулнинг устун томонлари кўрсатилган. ЎБАКР ни ҳисоблашда қўллаган ҳолда бу усулнинг кейинги ривожланиши келтирилган.

4–бобда таклиф қилинган ҳисоблаш усулини амалий қўллаш билан боғлиқ бир қанча масалалар кўриб чиқилган. Оғир авариядан кейинги режимларни ЎБАКР –ПЗ ҳисоблаш дастурининг саноат вариантини ишлаб чиқишда ва реал энерготизимлар учун ҳисоб–китобларни амалга оширишда масаланинг ўзига хос хусусиятлари билан шартлашган бир қатор қийинчиликлар бартараф этилди. Хусусан, аниқ натижаларни қўлга киритиш учун итерацион ҳисоб–китобнинг частота бўйича дастлабки яқинлашувларини тўғри танлаш муҳим аҳамиятга эга. АЧР томонидан узиб қўйиладиган юклама қувватини, ЭЭТнинг ҳар бир тармоғи бўйича кафолатланган узиб қўйилмайдиган юкламалар минимумини ҳисобга олган ҳолда, аниқлаш учун етарлича содда алгоритмни ишлаб чиқиш зарур эди.

Ниҳоят, тизимда захираларнинг йўқлиги ва дастлабки катта хажмдаги мувозанатдан четланишлар шароитида ҳисоб–китобнинг ечимга эришишини тезлаштириш бўйича махсус усуллар кўриб чиқилди. Бу усуллар режим ўзи барқарорлашуви жарёнларининг физикасини ҳисобга олади.

Бундан ташқари, мазкур бобда бажарилган ҳисоб–китоблар натижалари умумлаштирилади ва дастлабки маълумотларнинг зарурий аниқлигини танлаш бўйича тавсиялар берилган.

1,2 иловаларда ЎБАКР – ПЗни саноат ҳисоблаш дастурлари қўллаш бўйича мувофиқ тарзда қисқа, техник тавсифлар ва йўриқномалар келтирилган. Шу қаторда диссертация ишининг апробацияси бўйича материаллар берилган.

1.5. Хулоса

1. Энерготизимлардаги оғир авриядан кейинги ўзи барқарорлашадиган режимларни ҳисоблаш масаласи лойиҳалаштиришда ҳам, ЭЭТдан фойдаланишда ҳам долзарбдир.

2. ЎБАКРни ҳисоблаш масаласи – барқарор режимнинг ўрнатилиши боғлиқ бўлган кўп сонли омилларни ҳисобга олиш зарурияти билан мураккаблашади. Хусусан, тизимда частота ўзгаришини ҳисобга олиш, кучланиш ва частота бўйича генератор ва юкларнинг статистик характеристикаларини ҳисобга олиш, АРВ, АРС, АРЧ, АЧР, АВР – тизим автоматикаси ҳаракатларини ҳисоби, тизимнинг бир–бирига боғлиқликсиз фаолият кўрсатувчи қисмларга бўлиниш имконияти кабиларни ҳисобга олиш ниҳоятда зарур.

Ҳозирги вақтда, совет ва хориж электроэнергетикаларининг меҳнатлари эвазига, ЧШКБРни ҳисоблаш услубиётини ишлаб чиқиш учун зарур асослар яратилди.

Шу билан бирга, бундай ҳисоблаш услубиёти, ЭХМда оғир авариядан кейинги режимларни ҳисоблаш саноат дастурлари яратилмаган.

3. ЎБАКРларни ҳисоблаш услубини яратишда энерготизим элементлари ва режимларини математик моделлаштириш усуллари асосланган ЭЭТ

барқарор режимларини ҳисоблаш назариясидан келиб чиқиш лозим. ЎБАҚРларни ЭҲМсиз аниқ ҳисоблаш мумкин эмас, бу эса кейинчалик сонли таҳлил усулларини ишлаб чиқиш ва уларни ҳисоблаш имконияти даражаси чекланган ЭҲМларда амалга оширишни талаб қилади.

4. ЎБАҚРни ҳисоблаш услубини текшириш олинган ҳисоблаш натижаларини эталон математик моделларни амалга оширувчи, маълум барқарорлашган режимларни ҳисоблаш дастурлари ёрдамида олинган натижалар билан таққослаш йўли орқали амалга оширилиши лозим.

5. ЎБАҚРларни ҳисоблашнинг саноат дастури энерготизимдаги мумкин бўлган узилишлар ҳисобини, тизимнинг синхрон бўлмаган қисмларга бўлиниши имкониятини ҳамда авариядан кейинги режимни барқарорлашувини аниқловчи асосий омиллар ҳисобини таъминлаши зарур.

II–БОБ.

Қувватнинг катта ҳажмда мувозанатдан четланишида электр тизимларининг ўзи барқарорлашувчи режимларини ҳисоблаш услуги

Математик нуқтаи назардан келиб чиқсак, ўзи барқарорлашадиган режимларни чегаравий шартларини ҳисоблаш масаласи, юқори ўлчамли чизиқсиз тенгсизликлар тизимини ечишга олиб келади. Ҳолбуки, бундай тизим мувофиқ кўринишда бўлмайди ва уни ЎБАҚРнинг йўл қўйилган соҳасини кенгайтириш ҳисобига компромис инженер ечимни топишга тўғри келади.

ЎБАҚР ларни ҳисоблаш усулларни ишлаб чиқишда, аввал, бу каби масалаларни ҳал қилишда қўлланилувчи мавжуд математик аппаратдан фойдаланиш имкониятлари таҳлил қилинди. Чизиқли тенгсизликлар назарияси аппарати, қўлланилиш соҳасининг чегараганлиги ва алгоритмик жихатдан мураккаблиги туфайли ЎБАҚРни ҳисоблашда маъқул келмайди. Шу билан бирга чизиқсиз математик дастурлаш аппарати етарли даражада ишлаб чиқилган.

Ўз навбатида, чизиқсиз тенгсизликларнинг катта тизимларини ечиш масаласини чизиқсиз математик дастурлаш масаласини ечишга олиб келиш ғояси пайдо бўлди (электр энергетикасида бундай усул нормал режимларни ҳисоблашда қўлланилиб кўрилган). Бироқ ЎБАҚРни ҳисоблаш ҳолатида тенгсизликлар тизимига эквивалент бўлган математик дастурлаш масаласи анчайин мураккаб тус олади.

Таклиф этилаётган ЎБАҚРни ҳисоблаш услуги математики дастурлаш масаласига эквивалент тенгсизликлар тизимини ҳисоб–китобларни анча енгиллаштирувчи инженерлик нуқтаи назарини ҳисобга олган ҳолда ечишдан иборат.

Қуйида таклиф этилаётган усулнинг назарий асослари кўриб чиқилади ва энерготизимларда авариядан кейин ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш усулининг ўзи ҳам тавсифланади.

2.1. Ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш хусусиятлари.

ЎБАҚРни ҳисоблаш ЭЭТнинг барқарорлашган режимлари ҳисоб–китобларидан кескин фарқ қилади. Улардаги фарқлар қуйидаги ҳолатлар билан изоҳланади. Барқарор режимларни ҳисоблашда, одатда, актив қувватнинг мувозанатдан четланиши частота бўйича чексиз тартибга солиш имкониятига эга битта мувозанатловчи станция билан қопланади деб тахмин қилинади. Бундай фикрлар авариядан кейин барқарорлашган режимларни ҳисоблашда ҳар доим ҳам ўзини оқламайди.

Чегараланган қувватга эга реал электр тизимида рўй берувчи мувозанатдан четланишлар частотанинг ўзгариши ва бу ўзгаришдан ҳосил бўлган, пайт–тезлик ва статистик характеристикаларига мувофиқ тарзда генераторларнинг актив қувватлари ва юкламалар ҳисобига компенсация–ланади (тўлдирилади). Катта қувватдаги бирлашмаларда барча станцияларнинг тартибга солиш ҳаракатлари ҳамда ҳар бирининг максимал қувватини чекланишининг ҳисобини олиб бориш зарур бўлмоқда. Айланаётган захирадан тўлиқ фойдаланган ҳолдагина катта қувватли бирлашмаларда частотани анча пасайтириш эҳтимоллиги бор. Шундай қилиб, частотадаги ўзгаришларни ҳисобга олиш нафақат генераторларнинг узилиб қолиши билан боғлиқ бўлган авариядан кейинги режимларни таҳлил қилишда, балки кўпгина тизимлардаги нормал режимларни ҳисоблашда ҳам зарурдир. Бу ҳолатда, яъни ҳисобланаётган тизимда чексиз қувват шиналарининг мавжуд бўлмаган ҳолатида ҳисоб–китоблар натижасида генераторлар ва юкламалар қуввати частотасини, схема тугунларидаги кучланиш ва тақсимланиш оқимларини аниқлаш керак бўлади. Тизимдаги актив қувватнинг катта ҳажмда мувозанатдан четлашиши билан кечадиган авариядан кейинги режимлар, айниқса, оғир авариядан кейинги режимлар тизимнинг силовий элементлари (катта юкланиш остидаги электрўтказиш линиялар, қувватли генераторлар, юкламалар ёки схема тугунлари)нинг авариявий узилишлари оқибатидир. Кўрсатиб ўтилган авариявий узилишлар оқибатида, умумий ҳолда тизим схемаси топологиясидаги боғланишларнинг

бузилишига, хаттоки, бир–бирига боғлиқ бўлмаган қисмларга бўлиниб кетишига олиб келади. ЭЭТда генератор ёки юкламаларнинг якуний қувват билан узилишитизимда частотанинг ўзгаришига олиб келади. Узилишдан сўнг, биринчи босқичда турбинлар автоматик тезлик регуляторлари (АТР) ишга тушади. Тизимда вақтинчалик авариядан кейин квазибарқарорлашган режим амал қила бошлайди, бунда частота номинал частотадан бир қанча фарқланади. Кейинчалик частотани иккиламчи инерцион тартибга солиниши кузатилади. Тартиб солиш турғун бўлганлиги сабабли, бир қанча вақтдан сўнг тизимда номинал частотали авариядан кейинги режим ўрнатилади. Бироқ тизимда қувват тақчиллиги бўлса, станциядаги частотани тартибга солиш диапазони етарли бўлмайди. Бу ҳолда, частотанинг анча пасайиши кузатилади ва аварияга қарши автоматика ишга тушади: АЧР энг кам маъсулиятли истеъмолчиларни тармоқдан узиб қўяди, гидрогенераторларни частотали ишга тушириш амалга оширилади.

Барқарор режимларни ҳисоблашда турбинлар АТРлар ҳаракатини, генераторларнинг актив ва реактив қуввати бўйича чекловлар, юкламалар ва аварияга қарши автоматика ҳаракатининг статистик характеристикаларини тўғри ҳисобга олиш долзарб тус олади. Тизим элементларининг узилиши оқибатида келиб чиққан аварияларнинг оғирлик даражасини баҳолашда биринчи навбатда қуйидаги омилларни аниқлаш зарур:

- ҳосил бўлаётган қувват тақчиллиги;
- авариявий ҳолатлар натижасида тизимнинг алоҳида туманларга бўлиниши;
- тизимнинг авариядан кейин барқарорлашган режимининг электр параметрларини, унинг яхлид ва туманларга бўлиниш ҳолатларида аниқлаш;
- авария ҳолатида йўқотилган нагрузка ҳажмини авариядан кейинги режим учун йўл қўйиладиган унинг параметрлари (кучланиш ва частота) ёмонлашувини ҳисобга олган ҳолда аниқлаш.

Оғир ЎБАКРларни ҳисоблаш натижаларига мувофиқ тарзда, авариянинг оғирлигини баҳолашда ва чегаравий шартлари тизимнинг АКБ

режими параметрлари ва бир қатор авариянинг оғирлигини аниқлашга имкон берувчи қўшимча катталиклар керак бўлади.

ЎБАҚР, одатда, тизимдаги қувватнинг катта номувозанатликлари оқибатидир. Бу эса, ўз навбатида, режим параметрларида дастлабки режимдаги қийматларига нисбатан катта оғишлар бўлишига олиб келади ҳамда ЎБАҚРларни ҳисоблашда режимнинг кўпгина параметрлари бўйича чекловларни ҳисобга олишни тақозо этади.

Бунда, тизимда қувват мувозанатини тиклашга таъсир этувчи автоматик қурилмалар ҳаракатини моделлаштириш зарурияти келиб чиқади.

ЎБАҚРнинг яна бир тавсифий қирраларидан бири – тизим элементларининг авариявий узилишлари натижаси сифатида, тизимнинг бир–бирига боғлиқ бўлмаган тарзда фаолият кўрсатувчи қисмларга бўлиниш имкониятидир. Ўз навбатида, ЎБАҚРни ҳисоблашда тармоқ схемасини топологик жихатдан боғланганлигини таҳлил қилиш зарур бўлади.

2.2. Таклиф этилаётган ҳисоблаш усулининг назарий асослари

Барқарорлашган режимларни чегарави шарт тадқиқ қилиш вазифаси режимнинг параметрларига бўлган чизиқсиз чекловларни ҳисобга олган ҳолда, режимнинг чизиқсиз тенгламалар тизимини ечишнинг хусусиятлари тадқиқ қилишга олиб келинмоқда. Бошқача айтганда, бу чизиқсиз тенгсизликлар тизимини ечиш масаласидир (тенглик – тенгсизликнинг хусусий ҳолидир).

Ҳозирги вақтда эркин кўринишдаги чизиқсиз катта тенгсизликларни ечиш доимий усули мавжуд эмас. Бироқ, чизиқсиз чекловлар билан боғлиқ бўлган, кўпгина оптимизацияланган масалаларни ечиш учун математик (чизиқсиз) дастурлаш усуллари кенг қўлланилмоқда.

Математик дастурлаш деганда, евклид фазоси E_n да берилган тўплам M да $\Psi(X)$ функциянинг максимал ва минимал қийматини топиш масалаларини ҳал этиш усуллари йиғиндиси ҳамда $X \in M$ нинг мувофиқ тарзда экстремал қийматларга эришишда қабул қилувчи қийматлари тушунилади.

Чизиқсиз дастурлаш усуллари: градиент усуллари, кетма–кет

шартсиз минималлаштиришдаги мавжуд йўналишлар, жаримавий функцияларнинг спуск(тушириш) усуллари ва бошқалар киради.

Кўрсатиб ўтилган усуллар чизиқли алгебраик тенгламалар ва тенгсизликлар назарияси ғоялари, чексиз минималлаштириш усуллари асосида ривожланди ва такомиллашиб борди. Қуйида чизиқсиз дастурлаш масалаларини ечишда асос вазифасини ўтаган ушбу усулар қисқача кўриб чиқилади.

2.2.1. Чизиқли номутаносиб тизимларнинг мувофиқлилик шартлари

Чизиқли тенгсизликлар тизими деб одатда

$$f_{\alpha}(x) - a_{\alpha} = a_{\alpha 1}x_1 + \dots + a_{\alpha n}x_n - a_{\alpha} \leq 0 \quad (\alpha \in M), \quad (2.1)$$

кўринишдаги чекли ёки чексиз тизимга айтилади бу ерда $a_{\alpha n}$ ва a_{α} берилган ҳақиқий сонлар, x_n – номаълумлар ва α – M мажмуани айланиб чиқувчи индекс.

(2.1) тизим биргаликлик дейилади, агар у камида битта ечимга эга бўлса, акс ҳолда биргаликлик эмас. $f_{\alpha}(x)$ ($\alpha = 1, 2, \dots, m$) функция таркибидаги чизиқли боғланмаганликлар сони (2.1) ”ранги” дейилади.

$r > 0$ рангли чизиқли тенгсизликлар тизими (2.1)нинг биргаличилигини зарур ва етарли шарти унинг коэффицентлар матричасида r тартибли нолдан фарқли минорнинг мавжудлигидир.

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{\alpha 1i_1} \dots a_{\alpha 1i_r} \\ \dots \dots \dots \\ a_{\alpha r i_1} \dots a_{\alpha r i_r} \end{vmatrix}$$

унинг учун

$$\frac{1}{\Delta} = \begin{vmatrix} a_{\alpha 1i_1} \dots a_{\alpha 1i_r} a_{\alpha 1} \\ \dots \dots \dots \\ a_{\alpha r i_1} \dots a_{\alpha r i_r} a_{\alpha r} \\ a_{\alpha i_1} \dots a_{\alpha i_r} a_{\alpha} \end{vmatrix} \geq 0$$

(2.2) шарт бажарилади [122].

Тизимнинг мувофиқлик шарти тўғрисидаги саволни кўриб чиқамиз:

$$\left. \begin{aligned} S_j(x_1, \dots, x_n) - a_j = a_{j1}x_1 + \dots + a_{jn}x_n - a_j \leq 0 \\ R_j(x_1, \dots, x_n) - b_j = b_{j1}x_1 + \dots + b_{jn}x_n - b_j \leq 0 \end{aligned} \right\} (2.3) \quad (j=1, \dots, m), (j=1, \dots, p)$$

У, умсумий холда, чизикли тенгсизликлар билан чизикли тенгламалар тизимлари йиғиндисидан иборат бўлади. (2.3) тизимнинг ранги ва ундаги чизикли тенглоамалар тизимини мос холда r ва r' билан белгилаймиз; бунда $r' > 0$ деб фараз қилинади. (2.3) тизимдаги ҳар бир тенгламанинг тенг кучли жуфт тенгсизлик билан алмаштириб уни қуйидаги чизикли тенгсизликлар тизими кўринишида ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} S_j(x_1, \dots, x_n) - a_j \leq 0 \quad (j=1, \dots, m), \\ R_j(x_1, \dots, x_n) - b_j \leq 0 \quad (j=1, \dots, p), \\ -R_j(x_1, \dots, x_n) + b_j \leq 0 \quad (j=1, \dots, p) \end{aligned} \right\} (2.4)$$

Тугун тизимчаси (тугун тизимчада, масалан, 2.1. тизимникида унинг ранги билан мос рангли тизимча тушинилади) $R_{jk}(x_1, \dots, x_n)$ чизикли боғлиқ бўлмаган r' тенгсизликка эга бўлади [122].

$$R_{jk}(x_1, \dots, x_n) - b_{jr} \leq 0 \quad (k=1, \dots, r')$$

Шунинг учун ҳам (2.4) тизимнинг шундай тугуни (минори) Δ мавжуд бўлиши керакки, унинг таркибида чизикли шакллар $R_{jk}(x_1, \dots, x_n)$ коэффициентларидан тузилган қаторлар бўлоиши керак. (2.4.) тизимнинг $R_j(x_1, \dots, x_n) - b_j \leq 0$, тенгсизликка эркин холда ва коэффициентларои орқали аниқланувчи кенгайтирилган матрицада қаторлар тескари ишоралар билан қайталанганлиги учун, бу қаторларга мос аниқловчилар Δ ҳам тескари ишоралар билан қайталанadi. Шунинг учун ҳам (2.4.) тизимнинг учун ёзилган (2.2) нисбатларда ушбу аниқловчиларнинг Δ аниқловчиларга нисбати нолга тенг бўлади. Шу билан бирга (122)да қуйидаги теорема исботланган.

Теорема. $r > 0$ (2.3) тизимнинг ва $r' > 0$ эса унинг таркибидаги тенгламаларнинг ранглари бўлсин. У холда (2.3) тизимниг мувофиқ бўлиши учун унинг матричасида r тартибли r' қаторли нолдан фарқли минор Δ мавжуд бўлиши керак, бу қаторлар (2.3) тизимнинг коэффициентларидан тузилган бўлиб, тизимнинг тенгламаларига тўғри келган барча кузатувчи аниқловчилар нолга тенг бўлиши ва тизимнинг тенгсизликларига тўғри

келувчи барча кузатувчи аниқловчилар манфий бўлмаслиги керак.

Агар (2.3.) тизим таркибида тенгсизлик бўлмаса, бу теорема чизиқли тенгламалар тизимини мувофиқлик шартига

$$R_j(x_1, \dots, x_n) - b_j = b_{j1}x_1 + \dots + b_{jn}x_n - b_j = 0 \quad (j=1, \dots, p)$$

қайсики, маълум Кронекера – Капелла теоремасига (рангли нолдан фарқ қилувчи тизимлар учун) айланию қолади. Бу теорема ихтиёрий тенгламалар тизими фақат ва фақат мувофиқ бўлади, қачонки ранги ўзининг кенгайтирилган матрицаси ранги билан устма–уст тушушини таъкидлайди.

Чизиқли тенгсизликлар тизимни мувофиқлигини текширишни кўрилган усуллари ЎБАКРни ифодаловчи чизиқли тенгсизликлар тизимини мувофиқлигини текширишда асос бўлиши мумкин. Ҳақиқатан, ечишнинг итерацион жараёнининг ҳар бир қадамида ЎБАКР тенгсизликлар тизимини миниарезация қилиш ва чизиқли тенгсизликлар назарияси аппаратини қайта қўллаш мумкин.

Шу билан бирга бундай аппаратни амалаий масалаларни ечишда қўллашга бир қатор қарши фикрлар мавжуд. Аввало, чизиқли тенгсизликлар назарияси аппарати фақат мувофиқлик ёки мувофиқ эмаслик фактини аниқлаш имконини беради. Мухандислик мулохазалари шу ҳақда гапирадики, яъни оғир авариядан кейинги режимлар ҳолатига мос келган режимли ва техникавий чегаралар кўп ҳоларда мувофиқ бўлмайди, чунки ЎБАКР аксарият параметрларининг ёмонлашган қийматларида (яъни нормал режимлар соҳасидан ташқари ҳолатларда) амалга оширилади. Демак, ЎБАКРни мувофиқ бўлмаган мавжудлик шартларида қоникарли мухандислик ечимини олиш зарур бўлади. Айнан шундай ечимни, чизиқли тенгсизликлар назарияси аппарати аниқ математик усуллари, олиш имконини бермайди.

Иккинчидан, (2.2. ва 2.4.)лардан келиб чиқандек мувофиқликни текшириш алгоритмик мураккаб ва уларни ЎБАКР ҳисоблаш масаларига тадбиқан амалга ошириш мураккаб бўлади. Чунки уларда етарлича мураккаб ЭЭТ учун минглаб тенгсизликлар учрайди.

Айнан келтирилган вазиятлар (2.4.) бўлимда таклиф қилинган ҳисоблаш усулини яратиш заруриятини туғдирди.

2.2.2. Кўп ўзгарувчиларнинг вазифаларини шартсиз равишда минималлаштириш

Чегаравий минимизация усуллари кўриб чиқишдан олдин чегарасиз минимизация усуллари билан танишиш мақсадга мувофиқ. Бу, бир томондан, чегарали минимизациянинг анча мураккаб алгоритмлари чегарасиз минимизация алгоритмларига асосланиши билан таъкидланса, бошқа томондан кўп ҳолатларда чегарали минимизация масаласи уни чегарасиз минимизация масаласига келтириш орқали ечилади.

$\Psi(X)$ функциянинг тўла E_n фазада экстремумини излаш (демак, чегарасиз) экстремал нуқталар мажмуасини излашга олиб келинади, бу ерда берилган функциянинг ҳар бир ўзгарувчиси x_1, x_2, \dots, x_n $-\infty$ ва ∞ оралиғида ихтиёрий қийматни олиши мумкин.

Экстремумни излаш мунтазам векторлар кетма–кетлигини, яъни E_n даги X^0, X^1, \dots, X^k нуқталарни топиш процедурасига айланади, улар

$$\Psi(X^0) > \Psi(X^1) > \dots > \Psi(X^k) > \dots, \text{ ни қаноатлантириши керак.} \quad (2.5)$$

Шундай нуқталар кетма–кетлигининг чегараси бор масалаларда олиш учун аввало барча чегаравий шартларни қаноатлантирувчи бошланғич X^0 нуқтани танлаб олиш керак. Чегарасиз масалаларда X^0 сифатида E_n даги ихтиёрий нуқта олиниши мумкин. Бунда табиий X^0 минимум нуқтадан узоқда бўлмаслиги учун $\Psi(X)$ функция табиати тўғрисида ҳар қандай маълумотдан фойдаланилади.

(2.5) шартни қаноатлантирувчи кейинги нуқтани топишдан олдин иккита ечим қабул қилинади: биринчиси – кейинги нуқтани жойлаштириш учун йўналишни танлаш зарур, икинчиси – танланган йўналишда қандай қадам қўйишни ечиш зарур.

Тушиш усулларида $\{X^k\}$ кетма–кетлик

$$X_{k+1} = X_k + tkdk, \quad k=0,1,\dots,$$

шартга бўйсунди.

Бу ерда d^k йўналиши, t^k – қадам қиймати.

d^k ва t^k ларни танлаш жараёнини ўзгартириб ҳар хил тушиш усулларини олиш мумкин.

Чегарасиз масалалар учун барча йўналишлар мавжуд, лекин уларнинг барчаси мақбул эмас. Масалан, d йўналишдан, агар унинг учун

$$\Psi(X+td) < \Psi(X)$$

шарт бажарилмаса, фойдаланиш тўғри эмас (етарлича кичик t да).

Етарлича кичик t лар учун Тейлор қаторига ёйишни ёзиб

$$\Psi(X+td) \cong \Psi(X) + t \langle \nabla \Psi(X), d \rangle,$$

Таъкидалаш мумкин, d йўналиш X нуқтада мақбул бўлади, агар

$$\langle \nabla \Psi(X), d \rangle < 0. \quad (2.6)$$

Бу ерда

$$\nabla \Psi(X) = \left[\frac{\partial \Psi}{\partial x_1}, \frac{\partial \Psi}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial \Psi}{\partial x_n} \right] - \text{вектор} - \text{градиент}.$$

Чегараси бор масалалар учун мақбул йўналишлар (2.6) шартни қаноатлантириши керак, бундан $X+td$ нуқтага рухсат этилган E_n соҳада ётиши керак.

Мунтазам йўналиш олиш имконини берувчи тушиш усуллари борйўналишли усуллар номини олишган [123]. Ушбу усуллар категориясига градиентли усуллар қўшма градиентли ва йўналишли усуллар, Ньютона – Рафсона усули ва бошқалар киради.

Нуқталар кетма–кетлигини таъминлаш механизми ва минимум нуқтасини аниқлашдаги унинг самараси минимизацияланувчи функцияга, ҳамда кейинги нуқтани аниқлашда фойдаланиш мумкин бўлган маълумотларга кучли боғлиқ.

Бу усулларни уч гуруҳга ажратиш мумкин:

1. Нолинчи тартибли усуллар (тўғри ёки излаш усуллари) – улар фақат функция қийматидан фойдаланилади.
2. Биринчи тартибли усуллар – бу усуллар улардан ташқари биринчи ҳосилалардан ҳам фойдаланилади.

3. Иккинчи тартибли усуллар – бу усуллар қўшимча иккинчи тартибли ҳосилаларни ҳам билишни талаб қилади.

Учинчи гуруҳ усуллари, умуман олганда, энг кичик қадамлар сонидан минимум нуқтага ёки етарлича унга яқин олиб келади. Бу, лекин, уларни машина вақти сарфига нисбатан энг самарали усуллар эканлигини билдирмайди. Баъзан $\Psi(X)$ ўта мураккаб функция бўлиб унинг биринчи ёки иккинчи ҳосилаларини аналитик шаклда олиб бўлмайди, уларни сонли яқинлашуви катта хатолик бўлиши мумкин. Бундан ташқари, ушбу ҳосилаларни ҳисоби функция қийматини минимумини излашда ҳисобланадиган нуқталар сонини ҳисоблашга нисбатан кўпроқ машина вақтини талаб қилиши мумкин.

Шундай қилиб, ҳар қандай ҳолатларда қўллаш мумкин бўлган бирорта усулни ажратиш мумкин эмас. Ҳар бир муайян минимизация ҳолати учун керакли усулни танлашда бошланғич изланишлар ва тажрибага таянган оқилона ёндошиш зарур.

У ёки бу чегарасиз минимизация усулининг самараси квадратли функциялар мисолида текширилади. Квадратли функциялар иккита сабабга кўра кўрилади. Биринчиси шуки, агар усул квадратли функцияларга мос келмаса, у янада юқори тартибли функцияларга мос келиши амримаҳол. Бошқа сабаби шундаки, квадрат функцияни квадрат функция билан қилиш мумкин, агар Тейлор қаторига ёйишда иккинчи тартибли хаддан катта бўлмаган хадлар билан чегаралан бўлганда. Бу ерда функция минимуми квадратли функциянинг кетма–кетлигини минимизацияси, қайсики берилган функцияни кетма–кет ҳақиқий минимум нуқтасига яқинлашувини таъминловчи нуқталарга нисбатан аппроксимация қилиш орқали олинади.

Ҳозирги вақтда катта миқдорда чегарасиз минимизация усуллари яратилган ва ҳар хил амалий ҳисоблашларда ишлатилмоқда. Уларнинг барчасини кўриб чиқишга эҳтиёж йўқ.

ЭТТ режимларини оптимизациялаш ва оқим тақсимланишини ҳисоблаш тажрибаси рақобатбардош сифатида иккита усулни ажратиш

имконини беради: қўшма градиентлар усули (биринчи тартибли усул) ва Ньютон усули бўйича итерацион жараёнли иккинчи тартибли усул. Қуйидаги бу икки усулни кўриб чиқамиз.

2.2.3. Туташ градиентлар усули

Туташ градиентлар усули қўшма йўналишлар усулининг хусусий холи ҳисобланади.

Туташ градиентлар усулида S излаш йўналишининг кетма–кетлиги қурилади, улар антиградиентнинг $(-\nabla \Psi(X^k))$, тез тушишнинг жорий йўналишини ва олдинги излаш йўналишининг $(S^{(0)}, \dots, S^{(k-1)})$ чизиқли комбинациясидан иборат бўлади, шу билан бирга оғирлик коэффициентлари излаш йўналишини туташ қиладиган даражада танланади [125]. Эслатилган оғирликлар шундайки, $X^{(k)}$ нуқтада излашнинг янги йўналишини ҳисоблашда фақат жорий оғирлигидан олдинги градиентлардан фойдаланилади.

Туташ градиентлар усулининг алгоритми қуйидагича амалларни таркибига олади

- 1) $X^{(k)}$ нуқтада $S^{(0)} = -\nabla \Psi(X^{(0)})$ ҳисобланади.
- 2) K – чи қадамда $S^{(k)}$ бир ўлчамли излаш йўналишида $\Psi(X)$ минимум аниқланади. Бу $X^{(k+1)}$ нуқтани беради;

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + t^{(k)}S^{(k)},$$

Бу ерда қадамузунлиги $t^{(k)}$ $\Psi(X^{(k)} + t^{(k)}S^{(k)})$ нинг t бўйича минимум шартдан

топилади, яъни

$$\frac{d\Psi(X^{(k)} + t^{(k)}S^{(k)})}{dt} = 0$$

$$t^{(k)} = -\frac{\nabla^T \Psi(X^{(k)})S^{(k)}}{(S^{(k)})^T \nabla^2 \Psi(X^{(k)})S^{(k)}}$$

Юқори индекс T транспозиция қилишни билдиради

- 3) $\Psi(X^{(k+1)})$ ва $\nabla \Psi(X^{(k+1)})$ ҳисобланади.
- 4) $S^{(k+1)}$ йўналиш

$$S^{(k+1)} = -\nabla \Psi(X^{(k+1)}) + S^{(k)} \cdot \beta^{(k)},$$

тенгламадан топилади.

Бу ерда $\beta^{(k)}$ – скаляр оғирлик бўлиб, у $S^{(k+1)}$ ва $S^{(k)}$ йўналишларнинг қўшмалик

шартига мос ва H (Гессе матрицаси)га нисбатан танланади:

$$(S^{(k)})^T H S^{(k+1)} = 0$$

Бундан,

$$\beta^{(k)} = -\frac{\nabla^T \Psi(X^{(k)}) \nabla \Psi(X^{(k)})}{\nabla^T \Psi(X^{(k-1)}) \nabla \Psi(X^{(k-1)})}$$

5) $\| S^{(k)} \| < \varepsilon$ бўлганда алгоритм тугайди,

Бу ерда ε – ихтирий константа.

Туташ градиентлар усули иккинчи тартибли усулларга нисбатан алгоритмик татбиғи жихатидан устунликка эга ва бошқа градиентли усулларга нисбатан тезроқ яқинлашувга эга.

Маълумки, [34] агар $\Psi(X)$ – n тартибли мусбат аниқланган квадратли шакл бўлса, у холда туташ градиентлар усули аниқ минимумга n қадамга нисбатан тезроқ етиб боради, бу ерда n вектор X нинг компоненталари сони.

2.2.4. Ньютоннинг итерацион жараёнли иккинчи тартиб усули

Иккинчи тартибли усуллар мақсад функциясининг $\Psi(X)$ иккинчи хусусий ҳосилаларидаги маълумотлардан фойдалинилади. Иккинчи тартибли усул $\Psi(X)$ функция градиентига татбиқ этилган Ньютон усулининг итерацияли жараёнини ифодалайди, яъни Ньютон усули билан $\frac{\partial \Psi}{\partial X} = \nabla \Psi(X) = 0$ тенглама ечилади. $\frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0$ тенглама илдизини аниқлашга доир Тейлор қаторига ёйиш $0 = \nabla \Psi(X^{(k+1)}) \approx \nabla \Psi(X^{(k)}) + H(X^{(k)})(X^{(k+1)} - X^{(k)})$, ни беради, $\{X^{(k)}\}$ кетма–кетлик эса тескари матрица $H^{-1}(X^{(k)})$ мавжудлик шартидан келиб чиқади.

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + H^{-1}(X^{(k)}) \nabla \Psi(X^{(k)}) \quad (2.7)$$

ифодадан топилади. Агар $\{X^{(k)}\}$ кетма–кетликни қуришда (2.7)дан фойдаланилса, у усул Ньютон усули дейилади (ёки Ньютон–Рафсон). Бу усул Ψ функциянинг иккинчи ҳосиласини ҳисоблашга ва Гесс матрицасининг $(n \times n)$ тескарисини аниқлашда катта вақт сарфиним талаб қилади. Ечиш тажрибасидан маълумки, функция илдизини аниқлашда Ньютон усул доим ҳам ечим интилмайди. Бу бошланғич нуқта етарлича илдизга яқин

танланмаган ҳолатларга таалуклидир. Мусбат аниқланмаган Гесс матрицаси ҳам (2.7) жараёнининг ечимдан узоқлашишига сабаб бўлади.

2.2.5. Ўзгарувчилар вазифаларининг шартли равишда минималлаштириш усули

Аксарият электротехник масалаларини (рухсат этилган режимларни ҳисоби, оптимизация ҳисоблари ва бошқалар) ечишда техник ва режим нуқтаи назаридан ўзгарувчиларга маълум чегаралар қўйишга тўғри келади. Шунга ўхшаш масалаларни ечишда экстремумга боришда нуқталар кетма-кетлигини ихтиёрий танлаш мумкин эмас, улар учун нуқталар танлаш E_n фазанинг қандайдир S кўпҳадида амалга оширилиши мумкин. Кўпҳад S одатда, “ноаниқ” қўшимча тенгламалар тизими билан берилади, улар чегаралар дейилади. Бу тизим чегаравий тенгламалар ва (ёки) чегаравий тенгсизликлардан ташкил топади.

Чегаравий функцияни минимизациялашни асосий усулларида бири – жаримали функция усули. Жаримали функция усули алгоритми берилган мақсад функцияси $\Psi(X)$ ни $g_i(X) \geq 0, i = 1, \dots, m$ чегараси билан чегарасиз минимизация масаласи кетма-кетлигига ўзгартиришга асосланади. Бу ўзгартириш мос ёрдамчи функция орқали бажарилади ва қандайдир соҳада шартсиз минимумга эга бўлган янги мақсад функциясини аниқлайди. Типик шартсиз ёрдамчи функцияни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин [126].

$$\varphi[X, \lambda(t)] \equiv \Psi(X) + \sum_{i=1}^m \lambda_i(t) G[g_i(X)],$$

бу ерда, t – параметр, $\{\lambda_i(t)\}$ – оғимрлик коэффициентлари, $G(y)$ – монотон функция, $y = 0$ ўзини яхши бошқаради. Одатда $y < 0$ да $G(y) > 0$ ва $y \geq 0$ $G(y) = 0$ қилиб тенгланади.

Қайд қиламиз, яъни Лагранжнинг кўпайтувчилари усули, шубҳасиз $\Psi(X)$ ни минималлаштириш масаласини $h_j(X) = 0, j = 1, \dots, m$, чегараларда, чегарасиз масалага ўзгартириш усули дейилади. Бу ўзгартириш $\lambda_i(t) = \lambda_i$ (константа) ва $G(y) = y$ ларни $\varphi[X, \lambda(t)]$ га алмаштириш орқали амалга оширилади. Шундай қилиб, Лагранж функциясини қўшимча шартсиз функциянинг $\varphi[X, \lambda(t)]$ хусусий холи дейиш мумкин.

Жарима функцияси усули вариантларидан бирининг, ташқи нуқта усули деб номланувчи асосий ғоя мақсад функцияси $\Psi(X)$ шундай ўзгартиришга асосланадики, унда ўзгартирилган мақсад функциясининг рухсат этилган соҳадаги қийматлари аниқ ёки тақрибан $\Psi(X)$ функция қийматларига тенг бўлади, шу билан унинг қийматлари S дан $\Psi(X)$ қийматларга нисбатан жуда катта бўлади. У ҳолда бирламчи мақсад функциясининг минимуми ўзгартирилган функция минимумидан сезиларли фарқ қилмайди. $\Psi(X)$ функцияни ўзгартириш чегаравий тенгламалар функцияси билан қўшиш ёки $\Psi(X)$ ни қайсидир чегаравий тенгламалар функциясига қўпайтириш орқали амалга оширилади. Жарима функцияси усули учун одатийси бу мақсад функциясини аддитив ўзгартириш. Лўнда қилиб айтганда, қачонки X бир ёки бир неча чегарани бузганда, $\Psi(X)$ мақсад функциясига жарима қўшилади. Масалан, функцияни қуйидагича ўзгартириш мумкин, чегаралар учун:

$$g_i(x) \leq 0, \quad i=1, \dots, m):$$

$$F(X, K) = \Psi(X) + K \sum_{i=1}^m [\max(g_i(X), 0)]^\alpha,$$

Бу ерда, $K > 0$, $\alpha \geq 1$. Чегарасиз $F(X, K_j)$ функциянинг, бу ерда $K \rightarrow \infty$, минимуми кетма–кетлигини ташкил қилиб мос шартларда чегарасиз минимумлар кетма–кетлиги чегараси сифатида чегарали минимум олинади.

Жарима функцияларини бошқа варианты Фиако ва Мак–Кармиком томонидан тавсия қилинган бу усулни баъзан ички нуқта усули дейилади. Ички нуқта усулига асосан янги мақсад функцияси қуйидагича шакллантирилади.

$$F(X, K) = f(X) - K \sum_{i=1}^m \frac{1}{g_i(X)}, \quad K > 0.$$

X соҳа S нинг чегарасигача яқинлашганда чегаравий функциялардан бирининг қиймати манфий соҳадаги қийматдан нолга яқиналашади. Бу ҳолда $\Psi(X)$ функцияга катта мусбат қиймат қўшилади.

Амалий масалаларда функция экстримумини ҳам “ички” ҳам ”ташқи” чегараларни бир вақтда мавжудлигида олишга тўғри келади. Бундай

масалаларни ечиши мумкин бўлган усулларни баъзан шартсиз минималлаштириш кетма–кетлик усуллари дейилади [39]. Хозирги вақтда бу усул номутаносиб чегарали мураккаб техник масалаларни чеиш имконинин берувчи ягона усул бўлса керак.

2.3. Нормал ва барқарор режимларни ҳисоблаш дастурларида частоталарни ҳисобга олиш

ЭТларини эксплуатация қилиш амалиётларида актив қувват нобалансини пайдо бўлиши билан боғлиқ ҳолатлар кўпинча рўй бериб туради. Улар генератор юклама ёки тизимлараро боғланишларни ўчиши орқалим пайдо бўлади. Бу ерда частотанинг сезиларли ўзгаришлари рўй беради, жуларни эътиборга олмаслик авариядан кейинги режимларни таҳлил қилишда нотўғри натижаларга олиб келиши мумкин.

Хозирги кунда яратилган частотани ўзгаришини олувчи усуллар ўтиш жарёни сўнгандан кейин пайдо бўладиган ва авриядан кейинги барварор режимларни текшириш имконини беради.

Барқарор режимларни ҳисоблаш дастиурини яратиш амалиётида, частота ўзгаришини ҳисобга олишни асосан иккита усули қўлланилади. Уларнинг биринчисида режимни ҳисоблашда частота фиксация қилинган параметр деб қаралади [119]. Иккинчи усулда частота мустақил режим ўзгарувчиси сифатида олинади [57, 91]. Қуйидаги шу икки усулнинг ҳисоблаш томонларини кўриб чиқамиз.

Частотани фиксацияси қилинган параметр сифатида ҳисоблаш алгоритми қуйидагидан иборат.

Агар системанинг барча параметрларини бирор аниқ частотада берилса, у умумий ҳолдан номиналдан фарқ қилсин, ва бирорта тугун балансловчи сифатида олинса, у ҳолда ҳисоблаш натижасида шу частотадаги режим олинади. Берилган частотани ўзгартириб (мос ҳолда тизим параметрларини ҳам) ҳар хил режим олинади.

Режим ҳисобини фиксация қилинган частоталарда олиб борилганда балансловчи тугун қуввати ўзгартирилади, уни тизим частотасининг

функцияси сифатида қараш мумкин. Бу тугуннинг актив қуввати w частотада

$$P_{\Sigma}(w) = P_{ГБ}(w) - P_{НБ}(w), \quad (2.8)$$

бу ерда $P_{ГБ}(w)$, $P_{НБ}(w)$ – w частотадаги балансловчи тугундаги юклама ва генераторнинг актив қувватлари. Демак, частота фиксация қилинган ўолдаги ҳисоблашлар натижасида частота билан барқарор режимни аниқлаш мумкин. Изланаётган режим ҳисобланган режим асосида олинган балансловчи тугун қуввати $P_{Б}$ ни ушбу тугун қувватини ҳақиқий қиймати P_{Σ} билан тенглиги шартидан олинади. Айирмани

$$\Delta P(w) = P_{Б}(w) - P_{\Sigma}(w) \quad (2.9)$$

частота функцияси сифатида кўриб, ва ушбу функция нолини, масалан, Ньютон усули билан излаш керак. Номинал частотада номланган режим биринчи яқинлашув сифатида танланади. Ҳар бир итерацияда частота қиймати қуйидаги ифода бўйича аниқланади:

$$w_{k+1} = w_k + \frac{\Delta P_k}{\left. \frac{d\Delta P}{dw} \right|_{w=w_k}} \quad (2.10)$$

бу ерда K – итерация рақами.

$\frac{d\Delta P}{dw}$ ҳосиланинг ҳисоблаш ангиклигини итерацияли жараённинг яқинлашув тезлигига таъсири кам. Шунинг учун ҳам ушбу ҳосилани ҳисоблашда генератор ва юклама қувватларининг частота бўйича фақат аниқ боғланишлари эътиборга олинади.

$$\frac{d\Delta P}{dw} = \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial P_{Hi}}{\partial w} \right|_{w=w_k} - \sum_{j=1}^l \left. \frac{\partial P_{Гj}}{\partial w} \right|_{w=w_k} \quad (2.11)$$

итерация жараёни $|\Delta P_k| < \varepsilon$ бажарилганга қадар давом этади.

Бу ерда ε – ҳисоблашнинг олдиндан берилган аниқлиги.

Юқорида ёритилган алгоритмдан фойдаланиш режимни частотани ўзгаришини эътиборга олиб ҳисоблаш имконини беради, бу частота номинал қийматидан катта фарқ қилмаганда амалга оширилади. Авариядан

кейинги режимни, қувватни катта нобалансларида, ушбу нобалансни камайтиришга таъсир қилувчи автоматика қурилмалари (АЧР, генераторларни юргизиш) ҳаракатини ҳисобга олиш зарур бўлади [121]. Ишда аварияданг кейинги режимни фиксация қилинган частоталарда ҳисоблаш алгоритми ёритилган бўлиб, унда АЧР ва генераторларни автоматик улаш таъсири эътиборга олинган [121]даги алгоритм бўйича тузилган дастур амалда қувватни ҳар хил нобалансидан кейинги авариядан сўнги режимларни ҳисолаш имконини беради. Битта авариядан кейинги режимни ҳисоблаш учун ўрнатилган частотда ушбу дастур бўйича 3–4 режимни ҳисоблаш талаб этилади. Бу дастурнинг камчилиги унинг ҳисоблаш вақтини ортиб кетиши ва катта актив қувват дефицитидан кейинги итерацион жараёнини суст яқфинлашувини келтириш мумкин. Режимни частотани тенгламалар тизимининг битта ўзгарувчиси сифатида олинган дастурда ҳисоблашда аварияга қарши автоматика ҳаракатини эътиборга олиб $P_G(w)$ ва $P_H(w)$ ни моделлаштиришда қийинчилик туғдиради. Итерация жараёнида частотат ҳар хил қийматларни олиши мумкин, улар генератор ва юкламалар қувватлари сакраб ўзгаради, ҳар хил қийматлар олади. Охирги итерация жараёнининг яқинлашувини қийинлаштириб, хаттоки, яқинлашиш имконини йўқ қилши ҳам мумкин. Шунинг учун тўғри усул асосида яратилган алгоритмлар (частота, тенгламалар тизими ўзгарувчиси) аврияга қарши автоматика таъсирини ҳисобга олиш имконини бермайди.

Иккинчи, яъни частота тенгламалар тизимини ўзгарувчиси сифатида олинган алгоритм итерацион жараённинг яхши яқинлашувини таъминлайди, бошланғич яқинлашувга камроқ сезгир, ҳаракати анча тезроқ. Лекин генераторларнинг чегараларини ва аврияга қарши автоматикани самарали ҳисобга ола олмайди.

[121] ишда юқорида ёритилган иккита алгоритмни комбинациясидан яратилган ва частотанинг ўзгаришини ҳисобга оладиган алгоритм келтирилган. У уч босқичдан иборат. Биринчи босқичда олдиндан турғун бўлган аварияга қадар частотаси номиналга яқин режим ҳисобланади.

Иккинчи босқичда частотанинг функцияси $\Delta P_{\Sigma}(w)$ сифатида берилган қувват нобаланси киритилади. Кейин генераторларнинг қуввати чегараларини, аварияга қарши автоматика ҳаракатини ҳисобга олувчи частотанинг монотон ўзгариши моделлаштирилади ва тақрибан, режимни ҳисобга олмаган ҳолда w_X частотанинг $\Delta P_{\Sigma}(w) \approx 0$ даги қиймати аниқланади.

Учинчи босқичда режим аниқлаштирилади ва w_X қиймати текширилади. Авариядан кейинги режимни ҳисоблашда частота тенгламалар тизими ўзгарувчиси сифатида қаралади. Бошланғич яқинлашув сифатида авариядан кейинги режимни ҳисоблашда бошланғич режимдаги кучланишлар векторлари ва w_X тақрибий қиймати олинади. Комбинацияланган [121] алгоритм асосида яратилган экспериментал дастур ўз-ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш имконини беради. Лекин у қувватнинг катта нобаланслари ва тармоқ схемаси топологиясини сезиларли ўзгариши билан кузатиладиган ЎБАКРни ҳисоблашга ярамайди.

Шу муносабат билан (2.4 б) ЎБАКР ни ҳисоблаш усули ва алгоритми тавсия қилинади, у юқоридаги алгоритмлардан ўзининг соддалиги, кенг миқёсдаги ЎБАКРни катта миқдордаги режим чегараларини эътиборга олиб ҳисоблай олиш имкони мавжудлиги ва итерацияли жараённинг яхши яқинлашувчанлиги билан ажралиб туради.

2.4. Энерготизимларда ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш алгоритми ва масаланинг математик ифодаси

Барқарор режимларни ихтиёрий частотада ҳисоблаш учун барча генератор ва юкламаларнинг қувватлари ҳамда уларнинг кучланиш ва частота бўйича боғланишлари берилади. Генератор қувватининг P_G частота билан боғланиши АРС ҳаракати ва момент–тезлик ҳарактеристикасининг оғиш бурчагига эквивалент тангенци $\partial \ell$ билан ҳисобланиши мумкин [57]:

$$P_G = (1+S)(P_{G_0} - P_{ГНОМ} \frac{S}{\sigma}) = (1+S)(P_{G_0} + P_{ГНОМ} \cdot \partial \ell \cdot S), \quad (2.12)$$

бу ерда, $S = \frac{w - w_0}{w_0}$ – частотанинг нисбий ўзгариши;

$$\sigma = -\frac{1}{\partial \ell} - \text{АРСнинг статизм коэффициенти};$$

$P_{\text{го}}$, $P_{\text{гном}}$ – агрегатнинг бошланғич ва номинал қувватлари.

Агар АРС бўлмаса $\partial \ell = -1$ ва қувват амалда ўзгармайди ($P_{\text{г}} \approx \text{const}$). АРС ҳаракатланганда $\partial \ell$ қиймати унинг статизмига боғлиқ бўлади. Одатда АРС статизми 2 дан 10% гача. Мос равишда $\partial \ell_{\text{АРС}} = -(50-10)$.

Ўз-ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблашда генераторлар актив қувватлари бўйича чегаралар $P_{\text{гmin}} \leq P_{\text{г}} \leq P_{\text{гmax}}$ ҳисобга олиниши керак.

Генератор $P_{\text{гmin}}$ ёки $P_{\text{гmax}}$ га етганда АРС ҳаракати тўхтатилади ва $\partial \ell$ қиймати сакраб $\partial \ell_{\text{АРС}}$ дан $\partial \ell = -1$ га ўзгаради. АРС мавжуд генераторларда частота бўйича созлаш эффекти $\frac{\partial P_{\text{г}}}{\partial \omega}$ кўп марта юкламадагига нисбатан катта. Айнан, айланиб турувчи захира мавжудлигида генераторлар, асосан, қувват нобалансини қабул қилади ва частотанинг ўзгариши қийматини аниқлайди. Шунинг учун ҳам генераторларнинг $\partial \ell$ ни аниқлаш бошланғич маълумотларни тайёрлашда мухитм босқич ҳисобланади.

Генератор реактив қувватини $Q_{\text{г}}$ ни частота билан боғланиши ҳам асосан турбинлар АРС билан аниқланади. Хусусий ҳолда ($P_{\text{г}} = \text{const}$) чегарада созлаш эффекти $\frac{\partial Q_{\text{г}}}{\partial \omega}$ 1 дан 3 гача ораликда бўлади. АРС ҳаракатланганда ($P_{\text{г}}$

$= \text{var}$) $\frac{\partial Q_{\text{г}}}{\partial \omega}$ қиймати анча каттароқ бўлади, яъни $\frac{\partial Q_{\text{г}}}{\partial \omega} = 5-15$. $\frac{\partial Q_{\text{г}}}{\partial \omega}$ қийматига

бошқа омиллар ҳам таъсир қилади. ЎБАКРни ҳисоблашда $Q_{\text{гmin}} \leq Q_{\text{г}} \leq Q_{\text{гmax}}$, чегарани ҳисобга олиш муҳим, бу ерда реактив қувват бўйича созлаш диапазони (демак АРВ самараси) генераторнинг актив юкламаси билан аниқланади. $Q_{\text{гmin}}$ и $Q_{\text{гmax}}$ ларнинг $P_{\text{г}}$ ва частота билан боғланишларини аниқ ҳисоблаш жуда мураккаб ва берилган маълумотларни мавжуд хатоликлари туфайли бундай аниқликни таъминлаш мақсадга мувофиқ эмас. Шунинг учун ҳам қуйидаги кўриладиган ҳисоблаш усулиқасида $Q_{\text{гmin}}$ ва $Q_{\text{гmax}}$ қийматлари ўрнатиб қабул қилинади, худди нормал барқарор режимларни ЭХМ да ҳисоблашдагидек. Бу ерда пайдо бўладиган хатоликларни боҳолаш алоҳида изланишлар предмети.

ЎБАКРни ҳисоблашда юкламаларни кучланиш бўйича статик характеристикалари $P_H(U)$, $Q_H(U)$ дан ташқари частота бўйича шундай характеристикаларини эътиборга олиш зарур. Юклама характеристикаларини (U)кучланишг бўйича номинал ва (S) частотанинг нисбий ўзгариши [57] бўйича ифодалаш мумкин.

$$P_H = P_{Ho} \left[a_o + \alpha_1 \frac{U}{U_H} + \alpha_2 \left(\frac{U}{U_H} \right)^2 \right] [\alpha_o + \alpha_1(1+S)],$$

$$Q_H = Q_{Ho} \left[b_o + b_1 \frac{U}{U_H} + b_2 \left(\frac{U}{U_H} \right)^2 \right] [\beta_o + \beta_1(1+S)] \quad (2.13)$$

Бу ерда P_{Ho}, Q_{Ho} – бошланғич қувватлар;

U_H – номинал кучланиш;

$a_o, a_1, a_2, b_o, b_1, b_2, \alpha_o, \alpha_1, \beta_o, \beta_1$, – доимий коэффициентлар.

Юкламани частота бўйича созлаш самараси одатда

$$\frac{\partial P_\Gamma}{\partial w} = 1-2; \quad \frac{\partial Q_\Gamma}{\partial w} = -(1-6) \text{ни ташкил этади.}$$

ЭТТ электр ҳисоблашларда, одатда, электр узатиш линиялари П шаклида алмаштириш схемалари (2.1а расм) келтирилади, трансформаторлар эса магнит шунтли Γ – шаклдаги схема (2.1б расм) билан алмаштирилади. Дастурлашда линиявий ва трансформаторли тармоқларни тўрт кутблик орқали ифодалаш мақсадга мувофиқ. Тўрт кутбликни бошланғич тугунга мос келган киришларидаги қувват оқимлари қуйидаги тенгламалардан топилади:

$$P_{ij} = - \left[\frac{U_i^2}{\alpha} \cos \varphi_{ij} - \frac{U_i U_j}{n} \cos(\delta_i - \delta_j + \varphi_{ij} - b\Psi) \right] \frac{C}{Z_{ij}}, \quad (2.14)$$

$$Q_{ij} = - \left[\frac{U_i^2}{\alpha} \sin \varphi_{ij} - \frac{U_i U_j}{n} \sin(\delta_i - \delta_j + \varphi_{ij} - b\Psi) \right] \frac{C}{Z_{ij}} + W_i \quad (2.15)$$

Бу ерда, $\dot{Z}_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} = Z_{ij} \exp(j\varphi_{ij})$ – тармоқ қаршилиги $i-j$;

$\dot{n} = n \cdot \exp(j\varphi)$ – комплекс трансформация коэффициенти;

$\dot{U}_i = U_i \exp(j\delta_i), \quad \dot{U}_j = U_j \exp(j\delta_j)$ – комплекс тугун кучланишлари;

$W_i = 0,5 \cdot Y_c \cdot U_i^2$ – линия генерация қилаётган қувват;

$W_i = -Y_\mu \cdot U_i^2$ – трансформатор учун (Y_c, Y_μ – линия ва трансформаторларнинг ўтказувчанликлари);
 $\alpha = 1, c = 1, b = -1$ – коэффициентлар.

III БОБ.

Барқарор режимларни ҳисоблашда бирламчи маълумотларнинг таркибини таҳлил қилиш ва энергетика тизими ҳисоблаш схемасини топологик боғлиқлигини аниқлаш усуллари

Ҳозирги кунда, энергетика тизими ўлчамларини ўсиши ва энергетика тизими диспетчерлик бошқарувининг автоматик тизимини (ДБАТ, АСДУ) тадбиқ қилиш билан боғлиқ бўлган, мамлакат электр энергетика тизими (ЭЭТ) ни оператив бошқариш усулларида тубдан ўзгариш ўтказилмоқда. Агар бир неча йил олдин эксплуатация қилиш амалиётини режимни эпизодик ҳисоблашлар қаноатлантирган бўлса, янги шароитларда, режимни оператив бошқариш ва уларни келажакка режалаштириш жараёнларида кенгроқ асосланган ечимлар қабул қилишда энергетика тизимлари кирувчи маълумотларни реал темпда ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда режимни автоматлаштирилган таҳлил қилишни амалга ошириши керак.

ДБАТ да энергетика тизимларини бошқариш масалаларини маълумот билан таъминлаш муҳим рол ўйнайди, энергетика тизими структураси тўғрисидаги маълумотлар унинг ажралмас қисми ҳисобланади.

Тармоқ схемаси топологиясини сезиларли ўзгариши билан яқунланадиган авариядан кейинги режимлар спецификаси ўз-ўзидан барқарорлашадиган авариядан кейинги режимларни (ЎБАКР) ҳисоблашда энергетика тизими структураси бўйича зарур маълумотларни олиш масаласини алоҳида таъкидлаб қўяди.

Шу муносабат билан диссертациянинг ушбу боби структурали таҳлилнинг маълум ва янгидан яратилган усулларни кўриб чиқишга бағишланади

3.1. ЎБАКР ҳисоблаш масалаларини ечимини олиш шартлари

Электр тизимлари режимларини ҳисоблашда ечимнинг иккита алоҳида босқичи ажратилиши мумкин. Уларнинг биринчиси тармоқ параметрлари ва схемани таҳлил қилишдан иборат бўлиб, у ёки бу киритилган изланувчи

параметрлар қийматлари учун математик тенгламалар тузиш билан яқунланади.

Ундан кейинги босқич эса олинган тенгламаларни ечишдан иборат бўлади.

Тизимнинг барқарор режимларини ҳисоблаш масаласи бирламчи маълумотларни берилиши характерига боғлиқ холда ҳар хил қўйилиши мумкин. Барқарор режимларни ўрнатилган ҳисоблаш амалиётидан кўринадики, ҳисоблаш учун берилган маълумотларни кўпроқ қабул қилинган шакли [2,41,42] қуйидаги маълумотларни берилганлар сифатида қабул қилишни кўзда тутаяди:

а) электр тармоғининг параметрлари ва конфигурацияси;

б) юкламали тугунлар учун, умумий холда ўзининг статик характерига мос ўзгарадиган тугундаги юкламанинг тўла қуввати $\dot{S}=P+jQ$ берилади;

в) генерацияловчи тугунлар учун генераторларнинг актив қуввати «P» ва тугундаги кучланишнинг модули «U» берилади;

г) берилган трансформация коэффициентлари – трансформаторлар учун;

д) “балансловчи” тугун учун ўрнатилган кучланиш вектори[41]. Бу ушбу тугунга чексиз қувват шинасини киритиш билан баробар, мазкур тугундаги қувват тармоқдаги исроф эътиборга олинган холдаги электр тизимидаги қувватлар баланси шarti бўйича аниқланади.

Қўшимча маълумотлар сифатида параметрлар ўзгаришининг рухсат этилган чегаралари, трансформация коэффициентларининг ўзгариши поғоналари ва бошқа маълумотлар хизмат қилади.

Ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш дастурида қўшимча маълумотларнинг қуйидаги таркиби ишлатилиши мумкин:

тугунлар бўйича – генерацияланувчи актив ва реактив қувватлар чегараси, генератор ва юкламаларнинг статик характеристикалари ва момент–тезлик коэффициентлари, АЧР томонидан ўчирилмайдиган юклама улуши;

тармоқлар бўйича – бўш боғланишлардаги қувват оқимларининг

чегаравий қийматлари, тармоқ шохчаларининг кўшимча пассив параметрлари(масалан, шунтловчи ўтказувчанликлар), комплекс трансформация коэффициентлари.

Бундан ташқари “неаддитив” катталик частотанинг чегаравий қийматлари берилиши зарур.

Электр энергетика тизимлари таркибида автоматлаштирилган диспетчерлик бошқарув тизимларини шакллантириш тенденцияси белгиланиши муносабати билан тугун ва тармоқлардаги, алоқа тизими орқали диспетчерлик пунктига узатиладиган, ўлчов маълумотлари бўйича электр тизимининг ҳолатини баҳолаш қизиқиш туғдиради. Тизимнинг эксплуатация ҳолатини баҳолаш, улардан биттаси бўлиб стационар ва оптимал режимларни ҳисоблаш ҳисобланади, бир қатор масалаларни ечиш билан боғлиқ. Ушбу ҳолатда бирламчи маълумотлар сифатида тармоқлардаги қувват оқимлари ва баъзи бир тугунлардаги кучланишлар[43,44,46] ишлатилади.

Мураккаб электр энергетика тизимларининг режим параметрларини ўлчов маълумотлари бўйича баҳолашда ҳам бирламчи маълумотлар таркибини таҳлил қилишдек махсус масала пайдо бўлади. Уни ечишдан мақсад – ҳисоблашни ўтказиш ва натижаларни олиш имкониятини аниқлаш.

ЭЭТ режимини бутунича баҳолаш мумкин бўлади, агар кузатувчанлик шarti таъминланган бўлса[45]. Кузатувчанлик деганда умумий ҳолда объект ҳолатини бевосита кузатилаётган қийматлар орқали, уларнинг қандайдир функциялари бўлмиш, барча параметрларни баҳолаш имконияти тушунилади. ЭЭТ учун кузатувчанлик тушунчасининг спецификаси шундан иборатки, яъни у кўп ҳолларда тармоқ схемасининг топологик хусусиятлари ва ўлчов қурилмаларининг жойлаштирилиши билан аниқланади.

Амалиётда кўпинча шундай ҳолатлар бўладикки, яъни ўлчов маълумотлари ЭЭТ фақат ажратилган(ҳисоблаш) қисмига етарли бўлади. ЭЭТ қолган қисми режимини маълумотлар етарли бўлмаганлиги учун ҳисоблаш имкони бўлмайди. Ҳисоблаш районлари ўлчовлар кам бўлганлиги

ҳамда ЭЭТ ни бир–бирига боғлиқ бўлмаган топологик бўлиниши туфайли бир нечта бўлиши мумкин.

Аксарият холларда кузатувчан бўлмаган ўлчов маълумотларини машина хотирасига киритишдаги хатолар туфайли ҳам рўй бериши мумкин. Шунинг учун ҳам берилган маълумотларни таҳлил қилиш зарур:

а) кузатувчанлик ва кузатувчан бўлмаган фактларини ўрнатиш учун режим параметрларини баҳолашда;

б) бутун тизим кузатувчан бўлмаган холларда кузатувчан ҳисоблаш районларини ажратиш учун;

в) Электр ажралган тизимни ёки топологик боғланмаган тармоқларни параллел ҳисоблашда муайян ҳисоблаш районига тааллуқли бўлган тугун ва тармоқларни аниқлашда;

г) тармоқ топологиясини берилишидаги хатоларни аниқлашда, бунинг натижасида тармоқ бир нечта ҳисоблаш районларига ажраб кетиши мумкин.

ЭЭТ эксплуатацион ҳолатини баҳолаш масаласи ўтган асрнинг 80–чи йилларидан бошлаб автоматлаштирилган бошқариш назариясида яратилган аппаратга асосланган ҳолатни баҳолашни статистик усулларига ва маълум бўлган чала квадратларни статистик усуллари аппаратларига асосланган ҳолда ечилмоқда[45].

Бу ерда хатолиги мавжуд бўлган маълумотлар бўйича ўлчанган қийматлар билан ҳақиқий режимнинг яқинлиги нуқтаи назаридан қабул қилинган мезон асосида оптимал ҳисобланган режим баҳоланади. ЭХМ да бир ёки кўп бўлмаган бир нечта ҳисоблашлар ўтказилади.

ЭЭТ ҳолатини баҳолашдаги кузатувчанликни аниқлашнинг асосий ғоясини барқарор режимни оддий кўринишда ҳисоблашга кўчириш мумкин, бу ерда берилган маълумотлар нуқтаи назаридан тугунларда берилган маълумотлар бирламчи маълумотлар бўйича баҳолаш масаласининг хусусий холи бўлиб қолади.

ЎБАКР ҳисоблаш дастурида ҳам анъанавий барқарор режимларни ҳисоблашда характерли бўлган бирламчи маълумотларни берилиш шаклини

кўриб чиқиш мақсадга мувофиқ бўлади:

- а) умумий маълумотлар,
- б) тугунлар бўйича маълумотлар,
- в) тармоқлар бўйича маълумотлар,
- г) моделлаштирилган авария бўйича маълумотлар.

Умумий маълумотлар схема тармоғи ва тугунлари сони, тугун рақами, ҳисоблашнинг бошланиш тугуни рақами (нол фазали тугун), кучланиш фазаси ва модули бўйича ҳисоблаш аниқлиги.

Тугунлар бўйича берилганлар – $P_G(f)$, $Q_G(f)$, $P_{\text{НОМ}}$, $P_{\text{ГО}}$, $Q_{\text{ГО}}$, σ , $P_{\text{НО}}$, $Q_{\text{НО}}$, $P_G(U, f)$, $Q_G(U, f)$, C, U , $P_{\text{Гмакс}}$, $P_{\text{Гмин}}$, $Q_{\text{Гмакс}}$, $Q_{\text{Гмин}}$,

бу ерда $P_G(f)$, $Q_G(f)$ – генераторларнинг момент–тезлик ва статик характеристикалари;

$P_{\text{НОМ}}$, $P_{\text{ГО}}$, $Q_{\text{ГО}}$ – мос холда номинал частотадаги генератор валидаги механик қувват ва генераторнинг номинал актив ва реактив қувватлари;

$P_{\text{НОМ}}$, $Q_{\text{НОМ}}$, $P_G(U, f)$, $Q_G(U, f)$ – юкламаларнинг номинал актив ва реактив қувватлари ва кучланиш ва частота бўйича статик;

σ, C – турбина АРЗ нинг статизм коэффициенти ва кучланиш бўйича статик характеристикаси русуми;

$P_{\text{Гмакс}}$, $P_{\text{Гмин}}$, $Q_{\text{Гмакс}}$, $Q_{\text{Гмин}}$ – генератор актив ва реактив қувватларини чегаравий қийматлари.

Тугунлар бўйича маълумотлар – R , X , K_T , Y_C , Y_μ ,

бу ерда R , X , – линиянинг актив ва реактив қаршиликлари;

K_T – комплекс трансформация коэффициенти;

Y_C , Y_μ , – тўртқутблиликнинг шунтловчи ўтказувчанликлари.

Моделлаштирилувчи авария бўйича маълумотлар таркибига ўчирилувчи тармоқ рақами, генерация ва юклама тугунлари ва улар билан боғланган тармоқлар киритилади.

Изланувчи параметрлар сонига дастурда куйидагилар киради:

Тугун кучланишлари модули U_i ($i \in N$), тугун кучланишлари фазаси δ_i ($i \in N-1$)), генераторлар реактив қувватлари Q_{Gi} ($i \in \Gamma$) ва тизим частотаси,

Бу ерда N – юклама тугунлари сони,

Γ – генератор тугунлари сони

N – тизимдаги жами тугунлар сони..

ЎБАКР ҳисоблаш масаласининг ечими олиниши мумкин, агар

- 1) юқорида саналган барча маълумотлар ҳисоблаш учун киритилган бўлса;
- 2) тармоқ топологияси аниқланган бўлса.

1–*бандни текшириш берилган маълумотларни семантик диагностика деб номланувчи жараён асосида амалга оширилиши мумкин. Ушбу дастурий усулларда амалга оширилувчи текширишнинг мохияти тармоқ схемасининг тугун ва тармоқлари бўйича маълумотларнинг тўлалигини аниқлашдан ҳамда берилган маълумотларни руҳсат этилган чегаралар ичидалигини текширишдан иборат бўлади.

2– бандни текшириш берилган маълумотлар ичида кўрсатилган тугун, тармоқ ўчирилгандан кейин тармоқ схемасини боғланганлигини таҳлил қилувчи махсус алгоритмларни қўллашни талаб қилади. Бу алгоритмлар 3.2 ва 3.3 бўлимларда кўрилган.

3.2. Тармоқ топологиясини таҳлил қилишнинг графли усуллари

Кейинги вақтларда ишончлиликни ҳисоблаш, мураккаб электр тизимларини нормал ва авариядан кейинги режимларини аниқлаш ва бошқалар билан боғлиқ кенг кўламдаги масалаларни ечишда тизим топологиясини таҳлил қилишнинг графли усуллари тадбиқ қилинмоқда. Бу усулларни қўллаш мақсадларидан бири – графнинг боғланганлигини текшириш. Графни боғланганликка текширишнинг кўп сонли усуллари ичидан қуйида иккита рақобатбардош варианты кўрилади[47].

Биринчи вариант алгоритми ғоясини қуйидагича тушунтириш мумкин. Агар граф чўққи–кесишмовчи боғланган компоненталарга ажратилган бўлса(хусусий ҳолда алоҳида чўққилар шундай бўлиши мумкин) ва

текширишда улардан иккитаси бир–бири билан боғланган бўлса(бевосита бўлиши шарт эмас), бу компоненталарни шартли бирлаштириш мумкин. Бунда кейинги текшириладиган компоненталар сони биттага камаяди. Агар бирорта бошқаси билан боғланмаган компонента аниқланса – граф боғланмаган бўлади.

Графнинг боғланганлиги текшириш фақат учун ихтиёрий тартибли рўйхатда ёзилган кўпхад \bar{Q} тизимига эга бўлиш етарли. Текшириш алгоритми ҳар бир қаторни $Q_i (i=1,2,\dots,w)$ таққослашдан иборат бўлади.

\bar{Q} рўйхатнинг $Q_j, j > i$ қаторини излашда қуйидаги шарт бажарилиши керак

$$Q_i \cap Q_j \neq \emptyset \quad (3.1)$$

Агар бундай қатор аниқланса, уни ўзгартириш керак

$$Q_j =: Q_j \cup Q_i \quad (3.2)$$

($\cap, \cup, =:$ белгилар – мос ҳолда мантиқий кўпайтириш, қўшиш ва ўнг қисмни чап қисмга бериш белгиси). Бундан кейин \bar{Q} рўйхатнинг $(i+1)$ –чи қаторини кейинги пастки қатор билан таққослашни ўхшаш цикли бошланади.

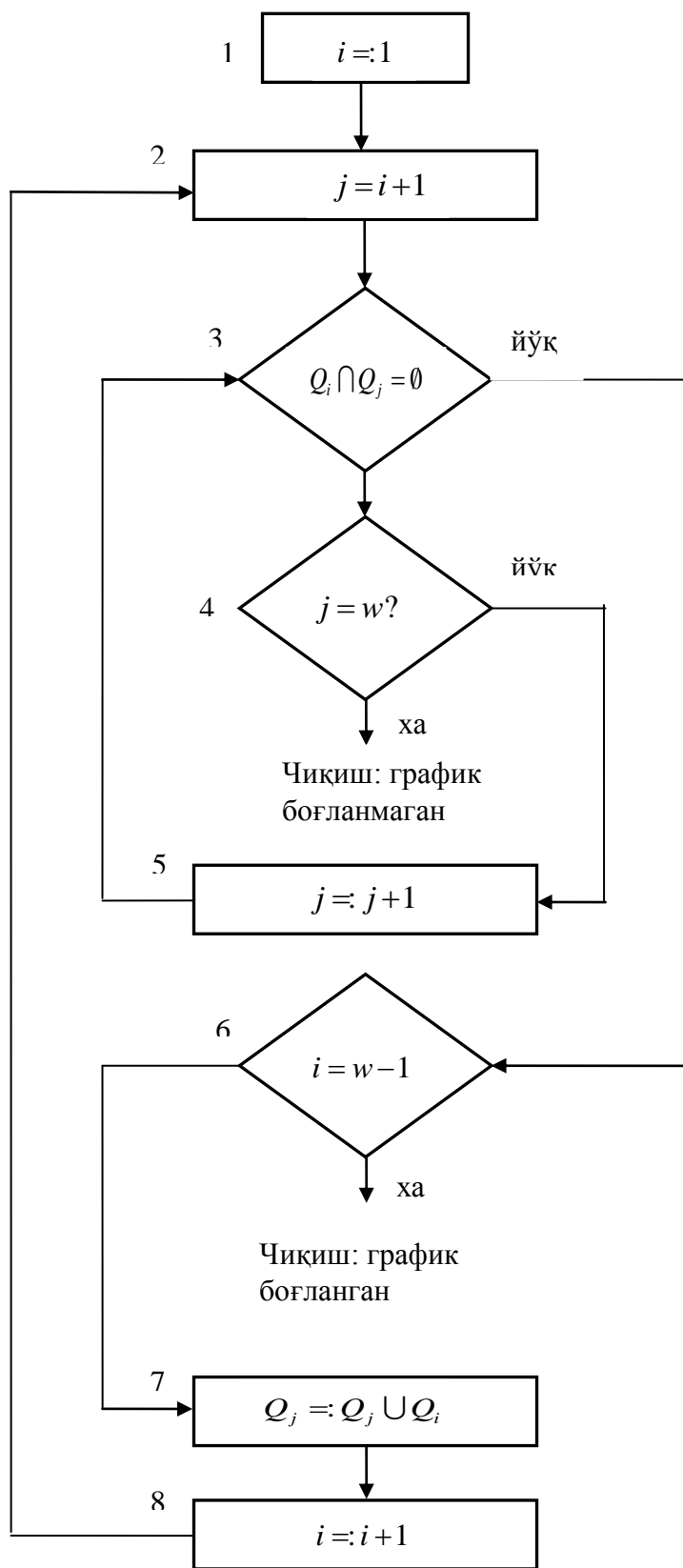
Демак, \bar{Q} рўйхатнинг охиридан ташқари барча қаторлари Q_i текширилиб бўлганда ва уларни ҳар бири учун (3.1) ни қаноатлантирувчи қатор $Q_j, j > i$ аниқланса, у ҳолда бу графнинг боғланганлиги белгиси бўлади. Агар шундай Q_i қатор аниқлансаки, у билан қуйидаги $Q_j, j > i$ қаторлар орасида (3.1) шарт бажарилмаса, бу графни боғланмаганлигини билдиради.

Ушбу алгоритм граф тўғрисидаги маълумот у ёки бу структурали матрица кўринишида берилса жуда қулай бўлади. Маълумотни ушбу усулда берилиши ўлчами катта бўлмаган графлар учун иқтисодли бўлади, чунки матрица элементини ёзиш учун боғ йўғи бир бит маълумот талаб қилинади, лекин зарур бўлган умумий хотира ҳажми тақрибан граф чўққилари сонининг квадратига пропорционал бўлади.

3.1– расмда кўрилган алгоритмнинг блок–схемаси келтирилган.

Графни боғланганлигини текширишга мисоллар кўрамыз.

1. Графнинг боғланиш матрицаси берилган бўлсин(3.2 расм).



3.1.расм. Боғланган графни текширишнинг блок-схемаси.

3.1–расмда кўрилган алгоритмнинг блок–схемаси келтирилган.

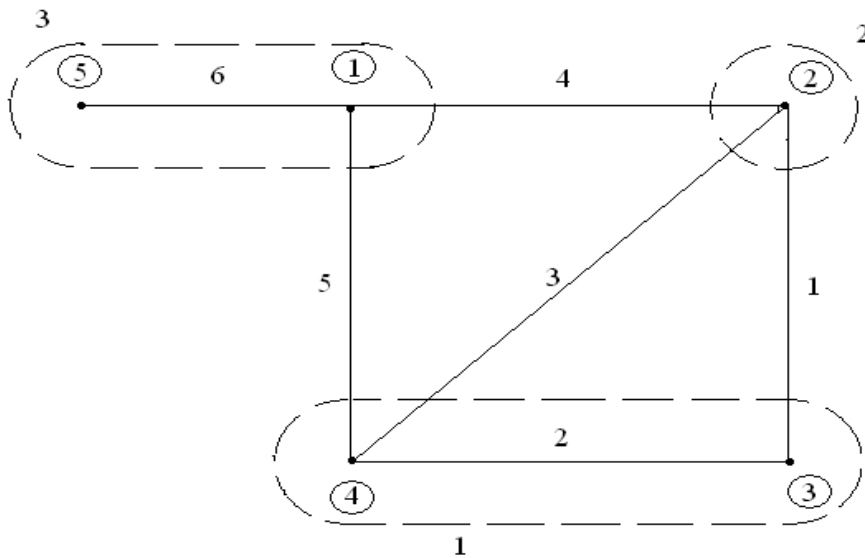
Графни боғланганлигини текширишга мисоллар кўрамиз.

1.Графнинг боғланиш матрицаси берилган бўлсин(3.2–расм).

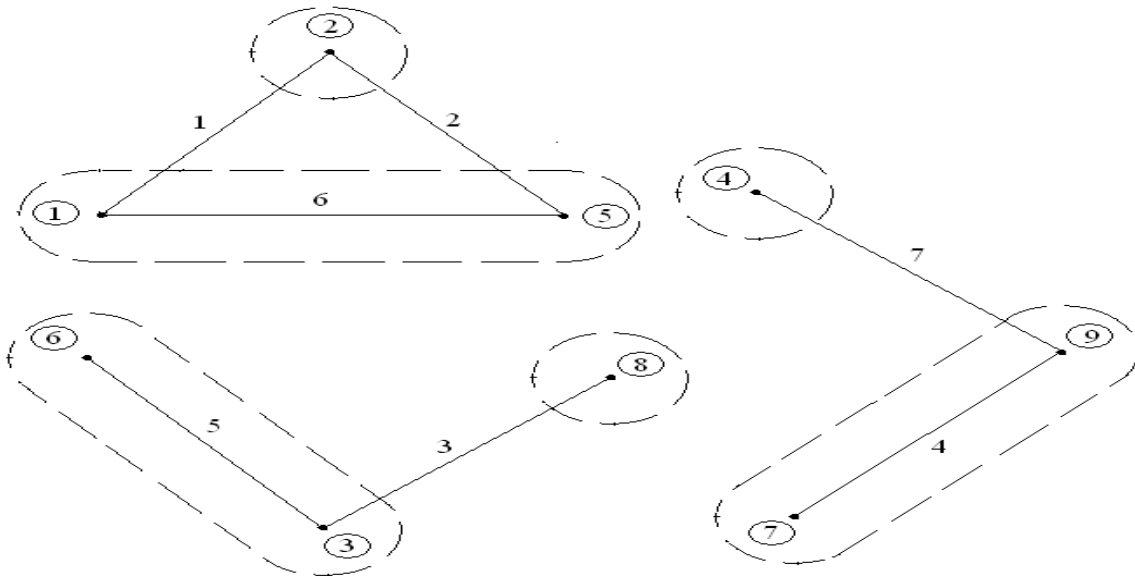
Граф тўғрисидаги маълумотларни компьютер хотирасига ёзишнинг конкурентли усулларида бири бу граф ёйи рўйхатидан фойдаланишдир, уларнинг ҳар бири бошланғич ва охириги чўққилари рақамларини ёзиш орқали идентификация қилинади. Бу усулда графнинг боғланиш матрицаси M нинг ҳар бир нолдан фарқли элементига граф маълумотлари массивида битта рақам тўғри келади. Шундай қилиб, зарур бўлган хотира хажми фақат M матрицасидаги нолдан фарқли элементлар сони билан аниқланади, лекин уларни компьютер хотирасига ёзиб олиш учун машина сўзи(ёки бутун сонлар ишлатилганда яримта сўз) талаб қилинади.

Агар, $\frac{m}{n} \approx 1,5$ (m – ёйлар сони, n – чўққилар сони) бўлса компьютер хотира хажми, граф ҳақида маълумотлар сақланиши рўйхат кўринишида берилган бўлса, граф чўққилари билан чизикли боғланган бўлади ва шунинг учун ҳам усул граф ўлчамлари етарлича катта бўлганда олдинги кўрилган усулларга нисбатан самаралироқ бўлади.

Граф тўғрисидаги маълумотларни рўйхат кўринишида реализация қилиб графнинг боғлиқлигини аниқловчи бошқа алгоритмни кўрамиз. Агар (X, Γ) графда, бу ерда графнинг X – чўққилари мажмуаси, Γ – ёйлари мажмуаси, $R \subset X$ ва $T \subset X$, $T \cap R = \emptyset$ кириш ва чиқиш чўққиларининг мос кўпхадлари берилган бўлсин, уларнинг биринчисини манба сифатида, иккинчисини эса тўпланишлар мажмуаси сифатида интерпретация қилиш мумкин.



3.2–расм. Боғланган граф учун мисол



3.3–расм. Боғланмаган граф учун мисол

У холда ҳар бир чўққининг $x_i \in T$ қайсидир $x_r \in R, x_s \in R$ чўққилар билан иккитомонлама боғланишини борлигини текшириш масаласи ҳар бир тўпланиш жойи учун иккитомонлама таъминланиш мавжудлигини текширишдан иборат бўлади.

Алгоритм граф ёйини ихтиёрий йўналишда айланиб чиқиш янгиланувчан жараёнидан ва бу ердан ўтадиган чўққиларнинг рўйхатини шакллантиришдан иборат бўлади, бунда айланиш узунлиги ва йўналиши

(ўтилган йўллар сони) битта шарт билан, яъни ҳар бир ёй икки марта ўтилмайди, чегараланиши керак. Алгоритмнинг ишчи қисми бошланишидан олдин аввал ўтилмаган ёйлар $G =: \Gamma$, чўққиларни $Y =: \emptyset$ тўғри йўналишда ўтилган ва тескари йўналишда ўтилмаган рўйхати ва берилган тўпланишлар кўпхади T нинг кўпхад L часи рўйхати тузилади (манба билан иккитомонлама боғланиши борлиги хали текширилмаган элементлар учун). Навбатдаги айланишнинг бошланғич чўққиси $x^{(\alpha)}$ сифатида биринчи чўққи ёзилади – манба x_{Γ} .

Алгоритмнинг ишчи қисми қуйидаги жараёни қайтаришдан иборат бўлади.

Бошланғич $x^{(\alpha)}$ чўққидан бошлаб ихтиёрий йўналишда графнинг навбатдаги, G рўйхатдаги ёйлар бўйича айланиши ўтказилади, яъни $\pi = (x^{(\alpha)}, x^{(i_1)}, (x^{(i_1)}, x^{(i_2)}), \dots, (x^{(i_{w-1})}, x^{(i_w)})$ йўл шакллантирилади, бундан ташқари $g^{(i_l)} = (x^{(i_{l-1})}, x^{(i_l)}) \in \pi$ ёйни ўтиш мобайнида улар G рўйхатдан ўчирилади, яъни охириги $G =: \left\{ \begin{matrix} G \\ g^{(i_l)} \end{matrix} \right\}$ кўринишга келтирилади, ўтиладиган ёйлар чўққилари $x^{(i_l)}$, $l=0, 1, \dots, w$, $i_0 = \alpha$ эса Y рўйхатга ёзилади, яъни охириги $Y =: Y \cup \{x^{(i_l)}\}$ шаклга ўзгартирилади.

Айланиб чиқиш иккита ҳолатда тугатилади: ёки Y рўйхатнинг охириги чўққиси кирувчи (манба) бўлади, ёки G рўйхатдаги граф ёйи x_{i_w} чўққи билан боғланмаган ёй бўлиб чиқади. Агар айланиб чиқиш биринчи сабаб бўйича тўхтатилса, у ҳолда Y рўйхат чўққиларини кетма–кет кўриб чиқиш орқали, x_{i_w} нинг охириги чўққисидан бошлаб, $x_{i_s} \in Y \cap R$ чўққи изланади ва $\Delta Y = (x_{i_{s+1}}, x_{i_{s+2}}, \dots, x_{i_{w-1}}) \subset Y$ чўққилар рўйхатчаси чиқиш чўққиларининг қўшимча кўпхадини аниқлаш учун ишлатилади, улар учун иккитомонлама манба мавжудлиги аниқланган бўлади:

$$\Delta K = L \cap \Delta Y \quad (3.3)$$

Бу ерда текширилмаган чиқиш чўққиларини ўзгартириш амалга оширилади:

$$L = \frac{L}{\Delta K} \quad (3.4)$$

Кейин чўққидан янги айланиб чиқиш имконияти текширилади. Агар бундай имконият бўлса, у холда $x^{(\alpha)} =: x_{iw}$ дан G графнинг ўтилмаган ёйлари учун янги айланиб чиқиш бошланади, агар бўлмаса, у холда чўққи R рўйхатдан чиқарилади ва навбатдаги айланишга ўтиш учун бошланғич чўққини излаш жараёнига ўтилади. Агар айланиб ўтиш иккинчи сабабга кўра тугатилса, бунда ҳам юқоридагига ўхшаш Y рўйхат чўққиларини, унинг охириги чўққисидан x_{iw} бошлаб, кетма–кет айланиб чиқиш амалга оширилади.

Навбатдаги айланишнинг бошланғич чўққисини излаш π йўлнинг, қайсики охириги айланиб чиқишнинг бошланғич чўққисидан x_{iw} чўққига олиб келган, тескари йўналиши бўйича ҳаракат қилиш орқали бажарилади. Тескари ҳаракат Y чўққилар рўйхатини, унинг охириги чўққисидан x_{iw} бошлаб ҳар бир навбатдаги чўққи $x^{(i)} \in \tilde{\pi}$ (бу ерда $\tilde{\pi} - \pi$ йўлнинг чўққилари мажмуаси) учун, кетма–кет кўриб чиқиш орқали амалга оширилади.

Агар баён қилинган алгоритмда ΔY , ΔK , L , K кўпхадларни шакллантириш билан боғлиқ жараённи тушуриб қолдириб Y рўйхатни, G рўйхат ёйлари кетма–кет айланиб чиқиш орқали, орттириш жараёни билан қониксак, у холда (X, G) граф боғланганлигини текширишни самаралироқ алгоритмини олиш мумкин. Агар кўрилган алгоритмнинг бажарилишини қайсидир босқичида $G = \emptyset$ бўлса, у холда граф боғланмаган бўлади.

Шундай қилиб, иккита рақобатбардош графни боғланганлигини текширувчи алгоритмни кўриб чиқиш асосида қуйидаги хулосаларни қилиш мумкин:

1. Биринчи алгоритмни тугунлар сони кўп бўлган тармоқлар учун ишлатиш компьютер хотирасида катта сондаги нолларни сақлаш зарурияти туфайли ва тугунларни боғлиқлигини текширишда ўзини оқламайдиган катта сондаги қаторларни айланиб чиқиш мавжудлиги учун мақсадга мувофиқ эмас.

2. Иккинчи алгоритм, қайсики граф боғлиқлиги унинг ёйларини кетма–кет айланиб чиқиш орқали аниқланадиган, ЭЭТ ЎБАКР ҳисоблашда асос қилиб олинган Ньютоннинг итерацион жараёни билан бевосита боғлиқ эмас, шунинг учун ҳам унинг қўлланиши асосий ҳисоблаш алгоритмининг ҳажмини ортишига олиб келади.

3. Ҳар иккала алгоритмда ҳам ҳисоблаш районининг боғланмаган мажмуасига тегишли бўлган чўққиларни (яъни тармоқ тугунларини) ва ёйларни (яъни тармоқ шохчаларини) аниқлаш мумкин эмас.

Юқорида келтирилган граф боғланганлигини текшириш алгоритмларининг камчиликлари барқарор режимларни ҳисоблаш ва бу ҳисоблашлар билан мантқан боғлиқ бўлганларни бажариш жараёнида тармоқ районларини аниқлаб берувчи махсус алгоритмларни яратиш заруриятини туғдирди.

3.3. Тармоқ структурасини таҳлил қилувчи матрицали усуллар ва тизимни қисмларга бўлиниши фактини аниқловчи алгоритмлар

Матрицалар билан амаллар бажариладиган (қўшиш, кўпайтириш, тескарисини аниқлаш ва ҳ.з.) ҳисоблаш усулларини матрицали усуллар деб номлаймиз. Мураккаб электр тизимларини ҳисоблашларда классик матрицали усуллар компьютерда ҳисоблашнинг талаб қилинаётган ҳам хотираси, ҳам вақти нуқтаи назаридан самарасиз. Бунинг асосий сабабларидан бири шундаки, тескари матрица таркибида (масалан, ўз ва ўзаро тугун қаршиликлари матрицаси) нолли элементлар бўлмайди. Шу билан бирга таъкидлаш керакки, матрицалардан фойдаланиш барқарор режимларни ихчам ёзишда ҳам, тенгламалар таркибини таҳлил қилишда ва бу тенгламаларни ҳисоблаш усулларини такомиллаштиришда жуда муҳим. Эслатиб ўтамиз, матрицалар алгебраси фақат матрицалар билан, уларни ечиш самарасини ошириш имконини берувчи махсус хусусиятларини намоён қилмасдан, формал амаллар бажаришни назарда тутаяди.

Юқорида қайд қилиндики, яъни ЎБАКР ни ҳисоблаш тизимни бир ёки бир нечта боғланмаган қисмларга бўлиниб кетиши мумкинлигини назарда

тутади. Қуйида ЭЭТ элементларини ўчиши билан боғлиқ бўлган аварияли ситуациялар туфайли боғланмаган қисмларга (ҳисоблаш районларига) бўлинишини аниқлаш алгоритмини кўриб чиқамиз.

Ҳозирги кунда ўтказилган ўлчовлар орқали ЭЭТ ни кузатувчанлигини аниқлаш имконини берувчи ва ҳисоблаш районларини ажратиб берувчи усуллар яратилган. Ушбу усуллардан, уларни кераклича такомиллаштиригандан кейин, ЎБАКР ни ҳисоблаш районларини ажратиш ва тизим қисмларга бўлиниб кетган ҳолларда ҳисоблаш районлари маълумотларини шакллантиришда, фойдаланиш мумкин. [45] да ЭЭТ режим параметрларини статик баҳолаш бўйича тизимнинг топологик кузатувчанлигини текшириш усули таклиф қилинган, у дихроматик графни қуришга асосланган. [48] да тармоқ қисмларини аниқлаш усули таклиф қилинган, унда режим параметрлари тўғри(итерацияли эмас) ҳисобланиши мумкин. Бунинг учун тармоқ схемасидан дарахт–схема ажратиб олинади ва дарахтни сер шохча нуқталарида, яъни иккитадан ортиқ шохчаси бўлган тугунларда, ўлчовларни етарлилиги текширилади. Бу топологик таҳлил орқали кузатувчанлик факти аниқланади ва ҳисоблаш районлари ажратилади. [49] да қандайдир топологик матрицани тузишдан иборат бўлган, тармоқлардаги ўлчовлар(маълумотлар)ни жойлашувини билдирувчи ва кейинчалик бу матрицани таҳлил қилувчи, усул таклиф қилинади.

Лекин, Гаусс ва Ньютон усуллари асосида ЎБАКР ҳисоблашда кўрсатилган тармоқ кузатувчанлигини (ҳисоблаш районларини) аниқлаш усуллари асосий ҳисоблаш мажмуаси билан алгоритмик боғланмаган бўлар экан, бу эса қўшимча компьютер хотираси ва вақт сарфларига олиб келади. Шу муносабат билан усул яратиш зарурки, у Якоби (ёки (2.30а) тенгламалар тизими коэффициентлари матрицасини) матрицасини шакллантириш жараёнида тизимни қисмларга бўлиниши фактини аниқлаш ва ҳар бир қисм учун ЎБАКР ни ҳисоблаш имконини берсин.

Таклиф қилинаётган усулнинг ғояси тармоқ бўлиниши фактини аниқлашда (2.30а) тенгламалар тизими коэффициентлари матрицасини $A_i A_i$.

шакллантиришда олинадиган маълумотлардан фойдаланишдан иборат бўлиб, Ньютон усулининг ҳар бир итерациясида қуйидаги кўринишдаги чизиқли алгебраик тенгламалар тизими ечилади

$$B \cdot \Delta X = A_t W \quad (3.5)$$

Бу ерда A_t – транспозиция қилинган Якоби матрицаси;

$B = A_t A$ – чизиқли тенгламалар тизими коэффицентларини симметрик матрицаси;

W – тугун қувватлари нобалансининг вектор – функцияси;

ΔX – мустақил режим параметрларининг векторлари орттирмаси (тугун кучланишлари, частотанинг модули ва фазалари).

Матрицанинг B структураси тармоқ топологияси ва берилган маълумотлар таркиби билан аниқланади. B матрицаси структурасини таҳлил қилиб тармоқни ҳисоблаш районларига бўлинганлик фактини аниқлаш мумкин. (3.5) тенгламалар тизимини, агар у бир бири билан ўзаро боғланмаган тизимчаларга бўлинган ҳолда, унинг ечишни махсус усулларини қўллаганда ҳисоблаш алгоритминини ҳеч қандай ўзгартиришсиз тармоқ, у бир неча қисмларга бўлинганда, масаласи учун ечим олиш мумкин.

Усулни ЎБАКР ни ҳисоблаш масаласи мисолида тушунтирамиз. Юқорида баён қилинганлардан кўришиб турибдики (2.4 бўлимга қаранг), ЎБАКР масаласини ечимини олиш учун мақсад функциясини минимизация қилиш зарур.

$$\Psi_1(X) = \sum w_i^2(X),$$

бу ерда $w_i(X)$ – i – тугун учун (ушбу ҳолатда i – тугундаги қувват мувозанати тенгламаси) барқарор режим тенгламаси. Мақсад функцияси $\Psi_1(X)$ градиентини Тейлор қаторига ёйгандан кейин ва мос соддалаштиришлар ўтказиб (3.5) линеаризацияланган тенгламалар тизимини олдик.

(3.5) тенгламалар тизими ечимини фақат $\det B \neq 0$ да олиш мумкин.

Маълумки, матрицанинг қайсидир бирорта қатори ёки устунинг барча элементлари нолга тенг бўлса ёки чизиқли боғланган қатор ёки устун мавжуд бўлса унинг аниқловчиси ҳам нолга тенг бўлади

Биринчи холатни кўрамиз. В матрица транспозиция қилинган Якоби матричасини чап томондан берилган матрицага кўпайтириш орқали олинганлиги учун у симметрик бўлади. Матрицанинг i қатор диагонал элементи нолга тенг бўлса, i қатор билан i устуннинг барча элементлари ҳам нолга тенг бўлади. В матричаси учун бу i тугуннинг, ушбу тугун билан боғланган, актив ва пассив параметрлари мавжуд эмаслигини билдиради.

Ҳисоблаш районларини ажратиш тенгламалар тизимини ўзаро боғланмаган тенгламалар тизимчаларига ажралиб кетишини билдиради, бу В матричасини блок–диагонал структурали кўринишга олиб келади(расм 3.4).

Ҳисоблаш районларига нолга тенг бўлмаган диагонал блоklar мос келади. Лекин, В матричасининг барча блоklари, ҳисоблашдан олдин берилган нол фазали тугунли(ҳисоблашнинг бошланғич тугуни) блокдан ташқари, чизиқли–боғланган қатор ва устунлар эга, яъни матрица аниқловчиси нолга тенг бўлган иккинчи холатни оламиз. Бундай районларда режимни ҳисоблаш, агар уларда ҳисоблашнинг шахсий бошланғич тугуни берилса, имкони бўлади.

Шундай қилиб, ҳисоблаш районларини ажратиш (3.5) тенгламалар тизими коэффициентлари матричаси структурасини, қайсики ушбу холда махсус ($\det B = 0$) бўлади, диагностика қилиш орқали амалга оширилади

Структураси диагонал–блокли коэффициентлар матричаси махсус бўлган тенгламалар тизимини ечишнинг иккита усули мавжуд: параллел ва кетма–кет.

Коэффициентлари махсус матрицали тенгламалар тизимининг ечимини олиш масаласи нокоррект масалалар қаторига тааллуқли ва берилган тенгламани унга яқин тенглама билан алмаштириш орқали регуляризация усули асосида ечиш мумкин. [50] да берилган $AX=F$ тенгламани $(A+\alpha E)=F$ тенглама билан мумкин, бу ерда $\alpha>0$ – сонли параметр, E – бирлик матрица. (3.5) нинг махсус структураси қуйидаги кўринишдаги алмаштириш имконини беради

$$(\alpha E+B)\cdot\Delta X = A_i W \quad (3.6)$$

бу ерда α – ихтиёрий нолдан катта сон;

E – диагонал матрица, унда i қатор элементи нолга тенг, агар i тугун кузатувчан (узилмаган) бўлса ва нолга тенг, агар i тугун кузатувчан (узилган) бўлмаса. Бу ерда (параллел усулда) ечим берилган матрицанинг ўлчамларини ўзгартирмасдан олинади (яъни, нолли қаторлар ва устунларни ўчирмасдан). Қатнашмаётган тугунлар учун бундай ечим натижасида кучланишнинг модули ва фазасининг орттирмаси нолга тенг ((3.6) тенгламанинг бу тугунларга мос ўнг қисми элементлари нолга тенг). Баён қилинган усулнинг қулайлиги ва алгоритмик соддалигига қарамасдан унинг ЎБАҚР ечиш масалаларида қўлланишининг самараси юқори эмас. Бу қуйидагича тушунтирилади, ЎБАҚР ни коэффиценти махсус матрицали тенгламалар тизими орқали параллел усулда ҳисоблаш масалаларида ушбу алгоритм билан ЎБАҚР ни ҳисоблашнинг махсус алгоритми ўртасидаги ўзаро боғланиш сезиларли мураккаблашади. Охиргилар қаторига аварияга қарши автоматика (АҚР, станция генераторларини автоматик юргизиш ва ўчириш) харакатини ҳисобга олиш алгоритми, ўзгарувчиларни алмаштириш ва бошқаларни киритиш мумкин.

3.4. Хулосалар

1. ЎБАҚР ни ҳисоблашда берилган маълумотларни таҳлилининг зарурлиги шундан иборатки, у мутахассисларни энергетика тизимини лойихалаш ва эксплуатация қилиш нуқтаи назаридан қониқтирсин.

2. Берилган маълумотларнинг таҳлилидан ЎБАҚР ҳисоблашни ўтказиш имконияти аниқланади.

3. Берилган маълумотларнинг таҳлилинини ташкил қилувчи қисмлардан бири бу тармоқ ҳисоблаш схемасининг топологик боғланганлигини аниқлаш, яъни элементларини ўчирилиши натижасида энергетика тизимини носинхрон ишловчи қисмларга ажралиб кетиши фактини топиш.

4. ЭЭТ ишончилигини ҳисоблашларда қўлланиладиган тармоқ топологияси таҳлилинини графли усуллари таклиф қилинаётган ЎБАҚР ҳисоблаш усули билан алгоритмик боғланмаган экан. Уларни ЎБАҚР ни

ҳисоблаш дастурларида қўлланиши компьютер ресурслари сарфини муқаррар ўсишига олиб келади.

5. ЭЭТ тармоқлари топологиясини таҳлил қилишнинг таклиф қилинаётган усули МЭИ нинг Электр тизимлари кафедрасида берилган ўлчовлар бўйича тармоқлар кузатувчанлигини таҳлил қилиш учун тизим режимларини ҳисоблаш бўйича яратилган усулнинг мантиқий давоми ҳисобланади.

6. ЭЭТ тармоқлари топологиясини таҳлил қилиш бўйича таклиф қилинаётган усул ЎБАКРнинг линеаризация қилинган тенгламалари матрицаси структурасини таҳлил қилишга асосланган, асосий ҳисоблаш усули билан мантиқан боғланган ва амалда қўшимча компьютер ресурслари сарфини талаб қилмайди.

7. ЎБАКР да энергетика тизимининг ҳисоблаш районларини аниқлаб берувчи таклиф қилинган кетма–кет усул, махсус матрицали чизиқли алгебраик тенгламаларни ечиш билан боғлиқ, параллел усулга нисбатан алгоритмик соддароқ экан.

IV–БОБ.

ЎЗ–ЎЗИДАН БАРҚАРОРЛАШАДИГАН РЕЖИМЛАРНИ ЧЕГАРАВИЙ ШАРТЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ УСУЛЛАРИНИ КОМПЬЮТЕРДА РЕАЛИЗАЦИЯ ҚИЛИШ МАСАЛАЛАРИ

Таклиф қилинаётган ЎБАКР ҳисоблаш усули дастлаб компьютерда ўз–ўзидан барқарорлашган авариядан кейинги режимларни ҳисоблашнинг изланиш дастури сифатида реализация қилинди. Бу дастур орқали ЎБАКР ни тугунлари сони 25–168 ва тармоқлари сони 32–274 реал энергетика тизими ҳисоблаш схемалари учун кўплаб ҳисоблашлар ўтказилди. Ҳисобланган ЭЭТ энг йиригининг таркибидаги генераторлар сони 117 етди.

Ўтказилган ҳисоблашлар таклиф қилинган усулни унинг ҳисоблаш самарасини ошириш йўналиши бўйича коррекция қилиш заруриятини туғдирди. Қисман, бошланғич яқинлашувни танлаш, қувватлар балансини аниқлаштириш, яқинлашувни тезлаштириш бўйича махсус усуллар таклиф қилинди. Берилган маълумотларни мақсадга мувофиқ аниқлигини текшириш бўйича махсус изланишлар ўтказилди. Гап шундаки, ҳамма энергетика тизимлари ҳам кучланиш ва частота бўйича генератор ва юкларнинг етарлича аниқликдаги статик характеристикаларга эга эмас, бундай маълумотлар эса ЎБАКР ни ҳисоблашда зарур. Шу муносабат билан ЎБАКР ни ҳисоблаш натижаларини берилган маълумотларнинг хатоликларига сезгирлиги изланди ва керакли рекомандациялар берилди. Мазкур бобда таклиф қилинаётган ЎБАКР ни ҳисоблаш усулининг амалий тадбиқ қилишдаги баъзи хусусиятлари кўрилди ва у ўз–ўзидан барқарорлашувчи авариядан кейинги режимларни ҳисоблашни саноат дастури СПР–М га асос бўлди ва ўтказилган ҳисоблашларнинг натижалари умумийлаштирилди.

4.1. Ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни чегаравий шартлардан фойдаланиш компьютерда ҳисоблаш дастурига талаблар

Дастур ўз–ўзидан барқарорлашувчи (барқарор режимлар – ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларнинг хусусий ҳоли) авариядан кейинги режимларни, умумий ҳолда, электр тизими носинхрон ишловчи қисмларга

бўлиниб кетган ҳолатда, ҳисоблашга йўналтирилган бўлиши керак.

Режимларни ҳисоблашлар ҳам ўрнатилган частотада (барқарор режимлар) ва ҳамда ўрнатилмаган частотада (ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимлар) ўтказилиши мумкин. Биринчи ҳолда электр тизимининг тугунларидан бири балансловчи тугун сифатида қабул қилиниши керак. Иккинчи ҳолатда балансловчи тугун бўлмайди, энергетика тизими частотаси эса изланаётган режим параметрларидан бири бўлиб қолади.

Аварияли ҳолатни моделлаштириш учун, ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимни ифодаловчи, ўчиришнинг қуйидаги турларини моделлаштириш имконияти дастурий кўзда тутилиши керак:

- а) станцияларнинг генератор қувватларининг қисми;
- б) станцияларнинг юклама қувватларининг қисми;
- в) электр узатиш линиялари ва трансформаторлар шохчалари ;
- г) генератор тугунлари ўзлари билан боғлиқ шохчалари билан бирга ;
- д) юклама тугунлари ўзлари билан боғлиқ шохчалари билан бирга;
- е) юқорида келтирилган ўчиришларнинг комбинациялари.

Режимларнинг барча ҳисобларини дастурнинг ичида нисбий бирликларда олиб бориш мақсадга мувофиқ. Дастурнинг кириш ва чиқишида маълумотларни номланган бирликларда бериш зарур. Шу муносабат билан, ҳисоблашлар тажрибасига асосланган ҳолда, базис кучланиш ва базис қувватни ҳисобланаётган электр тизими қуввати ва кучланишларини мос ҳолда ўрта арифметик қийматларига тенглаштириб танлаш таклиф қилинади.

Электр тармоқлари топологияси унинг тармоғини чегараловчи тугунлар рўйхати ва тармоқнинг бошланиши ва тугалланиши тугунлари рўйхати билан берилади. Параллел тармоқларни чегараловчи тугунларни бир хил рақамлар билан белгилашга руҳсат берилади. Электр узатиш линияларини моделлаштирувчи тармоқлар учта параметр билан берилади: актив ва реактив қаршилик ва ерга сиғим ўтказувчанлик. Трансформаторларни моделлаштирувчи тармоқлар қўшимча яна иккита параметрлар –трансформация коэффициентларини ҳақиқий ва мавҳум

ташкил этувчилари билан берилади. Дастурлаш қулай ва ихчам бўлиши учун трансформатор шохчаларидаги ва электр узатиш линиялари шохчаларидаги қувват оқимлари (2.14), (2.15) кўринишдаги универсал тенгламалар билан ифодаланади.

ЎБАКР ни ҳисоблашларда электр тизими тугунларидаги юкламалар (2.13) кўринишидаги ўзларининг статик характеристикалари билан юклама қувватини кучланиш бўйича квадрат боғланиши ва унинг частота бўйича чизиқли боғланишлари орқали моделлаштириладилар.

Режимларни ҳисоблашларда генераторларни моделлаштириш, бирламчи двигателнинг қувватини частота бўйича боғланишини ҳисобга олувчи, (2.12) тенглама бўйича амалга оширилади. Режимни ҳисоблашда генераторнинг минимал ва максимал актив ва реактив қувватлари, тизимнинг частотаси бўйича чегаралар эътиборга олинади.

Дастур тугун кучланишлари, трансформатор боғланишлари ва электр узатиш линияларининг ўтказувчанлик қобилиятлари бўйича чегараларни бузилганлигини констатация қилади.

Статик тургунликни дастурда қабул қилинган бузилиши мезонини характеристик тенгламанинг, электр тизимидаги ўтиш жараёнларини ифодаловчи, линеаризация қилинган дифференциал тенгламалар тизимига жавоб берадиган, эркин хадининг ишорасини ўзгариши ифодалайди. Дастурда амалда режим тенгламасининг, электр тизимининг, эркин хадга ўхшаб, барча элементларини статик характеристикаларига қўйилган шартларга мос ҳолда тузилган якобиани ҳисобланади, тургунликни бузилиши эса якобианни олдинги турғун режимдагига нисбатан ишорасининг ўзгариши бўйича констатация қилинади. Турғунликни якобианнинг ишорасини ўзгариши бўйича аниқлашнинг тўғрилигини асослаш [51,52,55] да келтирилган.

Берилган маълумотларни киритиш, ЭЭТ режими ва элементларини моделлаштириш каби кўрсатилган талаблардан ташқари ЎБАКР ни ҳисоблаш дастурида ҳисоблаш техникасидан фойдаланиш самарасини оширувчи

тадбирлар ҳам тадбиқ қилиниши керак.

Уларга берилган маълумотларни тайёрлашнинг тўғрилигини автоматик диагностикаси, ҳисоблашнинг, оператор учун диагностик маълумотлар ишлаб чиқадиган, боришини диагностика қилишларни киритиш мумкин.

4.2. ЎБАҚР ни итерацион ҳисоблаш яқинлашувини тезлатиш ва частота бўйича бошланғич яқинлашувларни танлаш

Юқорида кўрилган алгоритм бўйича бир қатор ўчирилишлар натижасида:

а) ЭЭТ генераторлари;

б) ЭЭТ юкламалари;

в) тармоқ схемасининг шохчалари;

г) тугунларни ўзларига инцидент шохчалари билан ҳосил бўладиган ЎБАҚР ни компьютерда ҳисоблаш дастури яратилди.

Ҳисоблаш усули характеристикаларини баҳолаш учун 110–500 кВ тармоқли ЭЭТ авариядан кейинги режимларини бир қатор ҳисоблашлар ўтказилди. Ҳисоблашларда авария турлари, авариягача режимлар, генератор ва юкламаларнинг характеристикалари вариация қилинди.

Тизимдаги актив қувватни ортиқчалиги билан кузатилган ЎБАҚРни ҳисоблаш 4–5 итерацияда тугалланди. Тизимдаги актив қувватни, турбина ТАР(АРС) статизмининг кичик қийматларида, катта дефицити билан кузатиладиган ЎБАҚР ни ҳисоблашнинг итерация жараёнини яқинлашуви сезиларли даражада секинлашган, яъни 18–20 итерацияга давом этган итерацияли жараён мақсад функцияси (2.25)нинг ноли минимумли натижани бермаган, шу муносабат билан ёмон яқинлашишнинг сабабини аниқлаш ва уни тезлатиш усулларини яратиш масаласи пайдо бўлди.

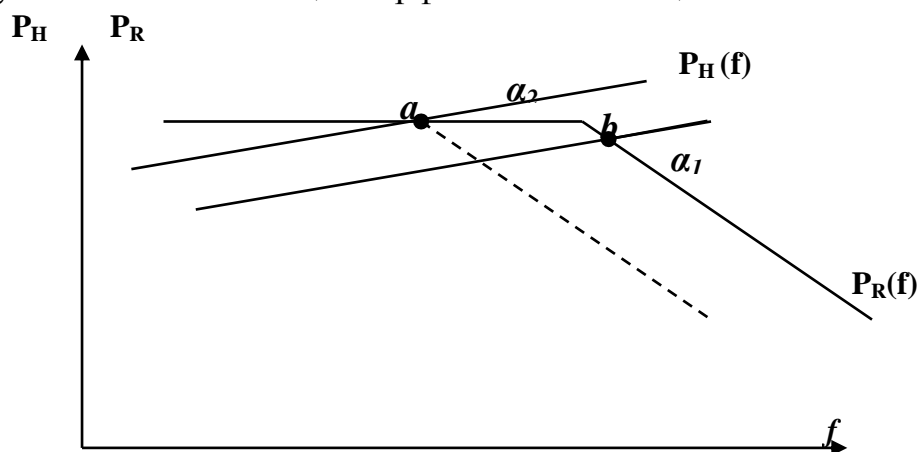
Шу муносабат билан ўтказилган таҳлил секин яқинлашишнинг сабаблари сифатида қуйидаларни кўрсатди:

1. Матрицада $P_r = P_{r_{\max}}$ ишлаш режимидаги генератор тугунларига мос келган “бўш” қаторларни пайдо бўлиши, бошқача қилиб айтганда, В матрицасининг ёмон мутаносиблиги;

2. Частота бўйича бошланғич яқинлашувни $f^{(0)}$ ноқулай танлаш, қайсики ЭЭТ да ўрнатиладиган частотадан сезиларли катта бўлиб чиқади.

ЭЭТ ни актив қувватнинг катта дефицитларида ишлашида матрицанинг ёмон мутаносиблик ходисасини 4.1 расм орқали схематик тушунтириш мумкин. Бу ерда ишчи нуқта a га генератор $P_G = P_{Gmax}$ ва юклама $P_H(f)$ характеристикаларидаги кичик бурчак кесисиши $\alpha (\alpha = \alpha_2)$ тўғри келади. Таъкидлаймиз, яъни В матрицанинг қатор ва устун элементларини оддий масштаблаш бу холда итерацион жараённинг яқинлашувини яхшилашга олиб келмади.

Ёмон мутаносибли масалаларни [54] да ёритилган усуллар билан ечиш, асосан, қўшимча машина вақти сарфи билан боғлиқ.



4.1 расм. В матрицасининг мутаносиблигини тушунтириш учун:

a – ёмон мутаносибли нуқта; б – яхши мутаносибли нуқта.

4.1–расмдан кўришиб турибдики, генератор ва юклама характеристикаларининг кесишув нуқтасини 1–2 характеристиканинг $P_G(f)$ (δ нуқта) ётиқ қисмига ўтказиш $\alpha (\alpha = \alpha_1)$ бурчакни ортишига олиб келади, шу билан бирга В матрицанинг мутаносиблиги юқори бўлади ва ҳисоблашнинг яхши яқинлашувини кутиш мумкин.

Муаллиф томонидан яратилган яқинлашувни яхшилашда қўлланиладиган

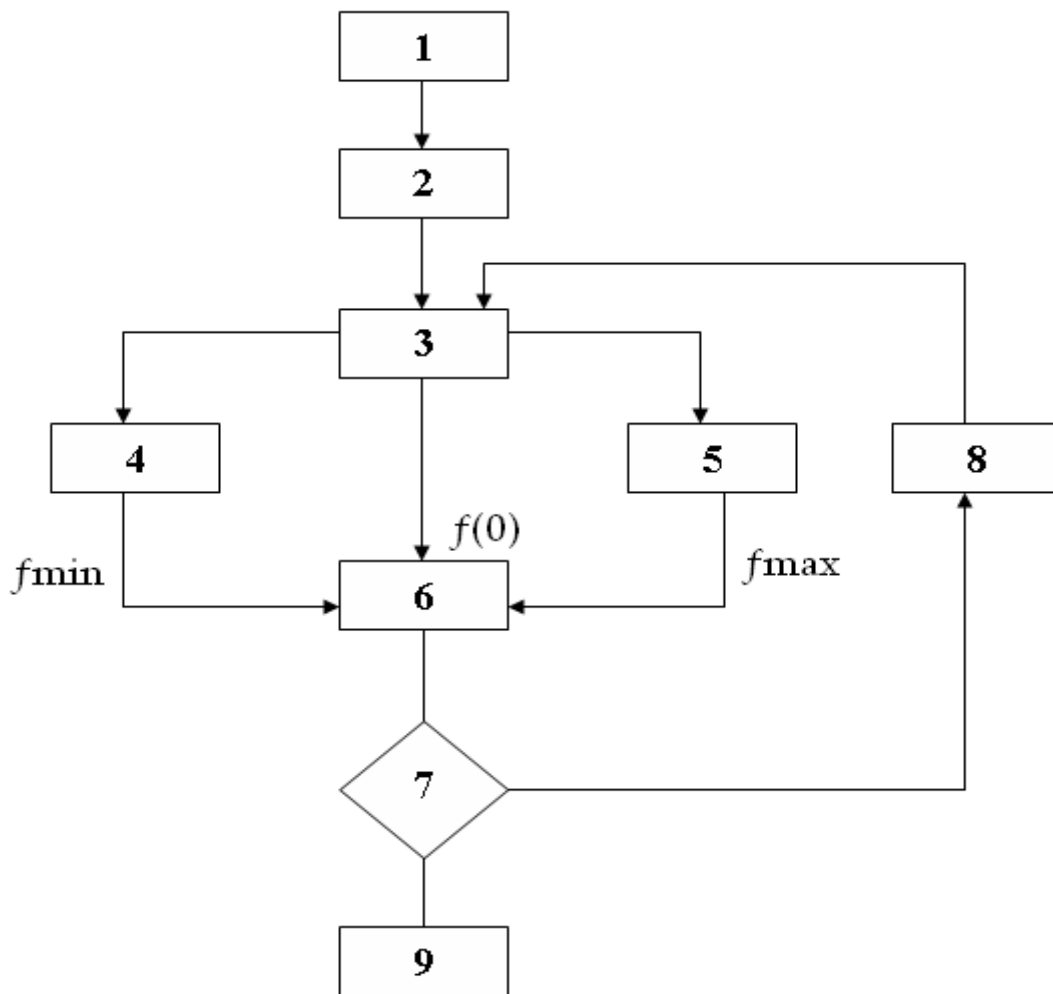
усул қуйидагидан иборат. Автоматик қурилмалар (АРС, АРҚ, АЧР) ҳаракатини моделлаштириш орқали актив қувват мувозанати, бир вақтда частота бўйича бошланғич яқинлашувни танлаш билан бирга, амалга

оширилади. Бундай усул иккита босқични таркибига олади(4.2 расм). Биринчи босқичда блок I томонидан тизим генераторлари(ΣP_r) ва юкламаларининг(ΣP_n) йиғинди қувватлари ҳисобланади. Кейин қувватлар мувозанати шартидан

$$\Sigma P_{max} - \Sigma P_n(f) - \Delta P_{зад} = 0 \quad (4.1)$$

ни ёзамиз, бу ерда $\Delta P_{зад}$ – ЎБАКР нинг актив қувват исрофи, (2.12), (2.13) ни ва олдиндан ортиқча олинган исрофларни $\Delta P_{зад} \approx (5 \div 10)\% \Sigma P_n$ ҳисобга олган холда частотанинг бошланғич қиймати $f^{(0)}$ (блок2) топилади. Блок 3 да $f^{(0)}$ ни унинг чегаравий қийматлари \underline{f} (минимум), \bar{f} (максимум) билан таққосланади. Агар $f^{(0)} < \underline{f}$ бўлса, блок 4 томонидан юкламаларни минимал рухсат этилган частотага \underline{f} мос келган қийматгача ўчириш ($P_{но}$, $Q_{но}$ коррекцияси) амалга оширилади. $f^{(0)} > \bar{f}$ холатда эса блок 5 томонидан генератор қуввати \bar{f} частотага мос келган қийматгача ўчирилади. Частотанинг бошланғич яқинлашуви ўзининг чегаравий қийматлари орасида жойлашган холатда $\underline{f} < f^{(0)} < \bar{f}$, $f^{(0)}$ қиймати 3 блокдан итерация ҳисоблаш блоки 6 ўтказилади. Маълумот бблокка ўтказилгандан кейин 4 ёки 5 блок орқали частотанинг бошланғич яқинлашуви сифатида мос холда унинг қиймати \underline{f} ёки $f_{ном}$ ($f_{ном} = \bar{f}$) қабул қилинади. Блок 6 да ЎБАКР параметрларини итерацияли ҳисоби амалга оширилади.

(4.1) тенгламадаги оширилган $\Delta P_{зад}$ исрофларда $f^{(0)}$ нинг берилиши ЎБАКР ишчи нуқтасини $P_r(f)$ (4.1расм) характеристиканинг оғма 1–2 қисмида жойлашишини, яъни В матричасини яхши мутаносиблигини ва итерация жараёнини тез яқинлашишини кафолатлайди. Ҳисоблашлар 2–3 итерациядан кейин $f^{(0)}$ қийматидан каттароқ бўлган частотада оралиқ деб номланувчи ЎБАКР га эришилишини кўрсатди. Қувват мувозанатини тикловчи автоматик қурилмаларнинг йиғинди харакати туфайли ортиқча қувват исрофи ($\Delta P_{зад}$) берилган холатда ечим нуқтаси хақиқатдан ҳам генератор характеристиканинг $P_r(f)$ оғма қисмида, бевосита 2 нуқта яқинида(4.1расм) жойлашар экан.



4.2–расм. ЎБАКР ни ҳисоблашда частота бўйича бошланғич яқинлашувни танлашни блок–схемаси

Оралик ЎБАКР параметрларини олгандан кейинги ҳисоблашнинг иккинчи босқичида тармоқдаги актив қувватларнинг ҳақиқий исрофлари $\Delta P_{\text{факт}}$ ҳисобланади, бу қиймат исрофнинг берилган қиймати $\Delta P_{\text{зад}}$ (блок 7) билан солиштирилади. Агар $\Delta P_{\text{факт}} \neq \Delta P_{\text{зад}}$ бўлса 8 блок томонидан $\Delta P_{\text{зад}}$ қийматга $\Delta P_{\text{факт}}$ нинг қиймати ўтказилади, яъни $\Delta P_{\text{зад}} = \Delta P_{\text{факт}}$. Кейин янги бошланғич яқинлашувни $f^{(0)}$ ҳисоблаш бошланади, генератор ва юкларнинг қувватлари коррекция қилинади, ЎБАКР ни итерацияли ҳисоблаш такрорланади.

Одатда, шундай иккита босқичдан $\Delta P_{\text{зад}} = \Delta P_{\text{факт}}$ кейин ҳисоблаш ЎБАКР параметрларини печатлаш билан тугалланади (блок 9). Эслатиб ўтамиз, шунга ўхшаш усулда АРЧ харакатини, актив қувват захираси

мавжудлигида, моделлаштириш амалга оширилади.

ЎБАКР ни таклиф этилган алгоритм бўйича ҳисоблашда итерацияларнинг умумий сони 5–7 дан ошмади. Ечим нуқтасига руҳсат этилган соҳанинг ичкарасидан интилилганда яхши яқинлашувга эришилди, бу эса Якоби матрицасининг мутаносиблигини яхшилади. Кўрилган усул қувватнинг катта дефицити билан боғлиқ оғир ЎБАКР да ҳам етарлича тез ечим олиш имконини беради, бунда ЭЭТ даги мавжуд қувватлар мувозанатини тикловчи автоматика харакати ҳисобга олинади.

Кўриб чиқилган усул ЎБАКР ни ЭХМ да ҳисоблаш имконини берувчи sanoat дастури СПР–Ф да тадбиқ қилинган.

Баён қилинганлар асосида қуйидаги хулосаларни қилиш мумкин.

1. Таклиф қилинаётган ўз–ўзидан барқарорлашувчи авариядан кейинги режимларни ҳисоблашнинг итерацияли усулида ечимга интилишнинг секинлашуви актив қувватнинг катта дефицитларида кузатилади ва барқарор режимлар тенгламасидаги Якоби матрицасининг ёмон мутаносиблиги билан тушунтирилади.

2. Яқинлашув яхшиланади, агар частота, юклама ва генератор қувватлари бўйича бошланғич яқинлашувлар руҳсат этилган соҳа ичидан танланса.

3. Кўрсатилган бошланғич яқинлашувларни қувват мувозанатини тикловчи автоматика харакатини моделлаштириш асосида танлаб олинса мақсадга мувофиқ бўлади.

4.3. Ҳисоблаш усулининг итерацияси ичида чизиқли алгебраик тенгламалар тизимини ечиш хусусиятлари

Тизимнинг ҳар бир ҳисобланувчи тугуни чегараланган тармоқлар сони билан боғланганлиги учун A матрицасининг (якоби матрицаси) ҳар бир қатори оз миқтордаги нолдан фарқли элементларга. Бошқача қилиб айтганда A матрицаси сийрак тўлдирилган.

A матрицасини ЭХМ хотирасидан сақлаш учун икки ўлчамли массивдан фойдаланиш рационал эмас, бунинг учун матрицанинг нолдан

фарқли элементларини бир ўлчамли массив рўйхати шаклида сақлаш етарли. Бу рўйхатни қуйидагича ташкиллаш мумкин: матрица қаторининг барча нолдан фарқли элементларини битта (AA) рўйхатга жойлаштирилади, бунда қаторлар ўзларининг тартиб рақамларига мос тартибда жойлаштирилади. Қаторларнинг биринчи нолдан фарқли элементларининг тартиб рақамлари қўшимча бутун сонлар массиви (MB) га ёзилади. Бошқа қўшимча массив (NA) га матрицанинг нолдан фарқли элементларининг устуни рақамлари киритилади.

Бусақлаш схемасини мисолда тушунтирамиз.

$$A = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 0 & 0,5 & 0 & 1,1 & 1 \\ 2,5 & 0 & 0,7 & 0 & 2 \\ 3,4 & 0 & 0,9 & 0 & 3 \\ 0 & 6,5 & 0 & 4,3 & 4 \end{array}$$

AA, NA, MB массивлар қуйидагича тўлдирилади.

№ ячейка	1	2	3	4	5	6	7	8
AA	0,5	1,1	2,5	0,7	3,4	0,9	6,5	4,3
NA	2	4	1	3	1	3	2	4
MB	1	3	5	7	9			

MB массивдаги элементлар сони $l+1$ га тенг, бу ерда l – A матрицанинг устунлар сони. AA ва NA массивлардаги элементлар сони A матрицанинг нолдан фарқли элементлар сонига тенг. Матрицанинг ўлчамлари ортганда унинг хотирасини иқтисоди сезиларли бўлади. Матрицани рўйхат шаклида сақланганда ЭХМ да ҳисоблаш вақти ҳам камаяди, чунки бундай матрицалар кўпайтирилганда нолли элементлар билан амаллар бажарилмайди.

(2.30a) етнгламадаги номалумлар олдидаги коэффицентлар матрицаси $B=A_1A$ симметрик, ҳамда нисбатан бўшроқ тўлдирилган. B матрицадаги нолдан фарқли элементларнинг жойлашуви тармоқ схемаси ураниши ва тугун маълумотларининг берилиши билин аниқланади.

(2.30a) тенгламалар тизимни номаълумларни йўқотиш усулида ечишда В матрицаси таркибида янги нолдан фарқли элементлар пайдо бўлади. Шунинг учун ҳам В матрица элементларини А матрицаси каби (учта массивда) хотирада сақлаш яхши натижа бермайди, чунки элементларни излаш ва янги нолдан қарқли элементлар пайдо бўлгандан кейин нолда қарқли элементлар рўйхатини тартибга келтириш кўп миқдорда машина вақти сарфини талаб қилади.

В матрица элементлароини ЎБАКР дастурида сақлашда битта хақиқий сонлар массиви ва учта бутун сонлар массиви ишлатилади. Қўшимча учинчи бутун сонлар массиви сифатида рўйхат элементларининг боғланиш массиви ишлатилади. Боғлаинш массиви МА навбатдаги нолдан фарқли элементнинг адресини аниқлашда ишлатилади. Рўйхатда асосий диоганалнинг фақат нолдан фарқли элементларива симметрик В матрицанинг юқори учбурчак қисми сақланади.

Қуйидаги мисолни кўрамиз.

$$\begin{array}{c}
 \text{Агар} \\
 \\
 B = \begin{array}{c|ccccc}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\
 \hline
 2,2 & 0 & 1,5 & 0 & 3,4 & 1 \\
 0 & 0,4 & 0 & 1,3 & 0,9 & 2 \\
 1,5 & 0 & 4,7 & 0 & 4,6 & 3 \\
 0 & 1,3 & 0 & 7,6 & 0 & 4 \\
 3,4 & 0,9 & 5,6 & 0 & 8,1 & 5
 \end{array}
 \end{array}$$

У ҳолда АА, МА, НА, МВ массивлар қуйидагича тўлдирилади:

№ ячейка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АА	2,2	1,5	3,4	0,4	1,3	0,9	4,7	5,6	7,6	8,1
А	1	3	5	2	4	5	3	5	4	5
МА	2	3	0	5	6	0	8	0	0	0
МВ	1	4	7	9	10	11				

Шундай қилиб массив МА да В матрицанинг диоганал элементлари адреслари сақланади. Агар b_{35} элементни топиш зарур бўлса, уни излаш кетма

кетлиги қуйидагича: учинчи қатор доганал элементи адреси $i=MB(3)=7$ аниқланади; массив орқали уни бешинчи устунга тўғри келиши текширилади; $NA(7)=35$ бўлганлиги учун массив МА орқали учунчи қаторниг кейинги элементи адреси $j=MA(7)=8$, $NA(8)=5$ изланади, демак, изланётган элемент АА массивнинг саккизинчи ячейкасида жойлашган.

В матричасида янги нолдан фарқли элемент пайдо бўлиши билан у АА массивнинг бўш ячейкасига жойлаштирилади, устун рақами НА массивга жойлаштирилади, МА массивида янги қўшимча адрес пайдо бўлади, МВ массив ўзгаришсиз қолади. Масалан, b_{23} ва b_{34} элементлар ҳисоблаш жараёнида нолдан фарқли бўлсин, $b_{23}=0,7$, $b_{34}=1,8$. Бу ҳолатда рўйхатлар қуйидаги кўринишга келади (янги ва ўзгарган элементлар чизиб қўйилган):

№ ячейка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
АА	2,2	1,5	3,4	0,4	1,3	0,9	4,7	5,6	7,6	8,1	0,7	1,8
А	1	3	5	2	4	5	3	5	4	5	3	4
МА	2	3	0	11	6	0	12	0	0	0	5	8

Матрицаларни сақлашнинг кўрилган усули Якоби матричасини шакиллантириш, (2.30а) тенгламалар тизими коэффициентлари матрица ва Гаусснинг номаълумларни йўқотиш усуллари дастурчаларида қўлланилган.

(2.30а) тенгламалар тизимининг симметриялиги ва номаълумларнинг коэффициентлари матричасининг сийрак тўлдирилганлиги унинг хусусиятидир. Тенгламар тизимини ечишда Гаусс усулининг модификациясини кўрамиз.

$$B \cdot X = F \quad (4.1)$$

У бажариладиган амаллар сонини камайтириш имконини беради. (4.1) тенгламада B – симметрик квадрат матрица F – вектор–устун.

Гаусс усули бўйича ечим ҳисоблашнинг иккита босқичида олади: 1) B матрица учбурчак келтирилади; 2) тескари юриш жараёнида номаълумлар топилади. $2N$ (N – номаълумлар сони) кадамни бажарилишини талаб

қилувчи биринчи босқич кўпроқ меҳнат талаб қилади.

Таклиф қилинётган алгаритимда В матричасини ўзлаштиришнинг ҳар бир қадамида унинг ўша қисминиг, қайсики номаълум йўқотишжараёнида кейинчалик ҳам ўзгариши керак бўлган, симметриялиги сақланади. Бу номаълумни йўқотишнинг К қадамида фақат $b_{ij} (i = K + 1, \dots, n; j = i, i + 1, \dots, n)$ элементлар ҳисоблаш имконини беради.

Тўғри юришнинг К қадамида ҳисоблаш формулари кўриниши.

$$\left[C_{ki} = \frac{b_{ki}^{(k-1)}}{b_{kk}}; b_{ij}^{(k)} = b_{ij}^{(k-1)} - C_{ki} \cdot b_{kj}^{(k-1)}; j = i, \dots, n; f_i^{(k)} = f_i^{(k-1)} - f_k^{(k-1)} \cdot C_{ki}; b_{ki}^{(k)} = C_{ki} \right]; 4.2$$

Бу ерда $b_{ij}^{(k)}$ – X_k йўқотилгандан кейинги В матрица элементи, C_{ki} – ёрдамчи ўзгарувчи.

Формуладан кўриниб турибдики, В матрицанинг симметриялигини ҳисобга олганда тўғри юришнинг ҳар бр қадамида ҳисоблашлар сони бўлиши ва кўпайтиришдаги N^2 ўрнига фақат $\frac{N(N+1)}{2}$ амалга тенг бўлади.

Номаълумлар X қийматларини топишдаги тескари юриш классик Гаусс усулидагидек бажарилади [61].

В матрицанинг сийрак тўлдирилгани ҳисобга олинганда априори нол натижа берувчи амаллар бажарилмайди.

Шу муносабат билан В матрицадан номаълумларни йўқотиш жараёнида янги нолдан фарқли элементлар пайдо бўлиши мумкин ва уларни сақлаш учун қўшимча хотира зарур, уларнинг сонини камайтириш учун (2.30a) тенгламалар тизимини ечишда (2.30a) тенгламалар тизимига мосланган граф чўққиларини тартибга солишини статик схемасидан фойдаланилди [55,104]. Бу схема алгорийми соддалиги туфайли танланди.

Бу схеманинг самарасини куйидаги мисол орқали тушунтириш мумкин. ЭЭТ ҳисоблаш схемасининг тугунларини ихтиёрий рақам лаганда, тизим 25 тугун ва 32 тармоқдан иборат, номаълумларни йўқотиш жараёнида коэффициентлар матричаси В да нолдан фарқли элементларнинг максимал сони 180 га етади, тартибга келтиришдан фойдаланилганда – 102.

Чизикли алгебраик тенгламалар тизимини ечишда модификацияланган Гаусс усулини қўллаш, коэффициентлар матричасини сийрак тўлдирилганини ҳисобга олиш, тугунларни статик қайта рақамлаш алгоритмини қўллаш вақт сарфини ва ЭҲМ оператив хотирасини, ЭЭТ авариядан кейинги ўз-ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблашда, сезирарли қисқартириш имконини беради.

4.4. Ҳисоблаш натижаларини умумлаштириш

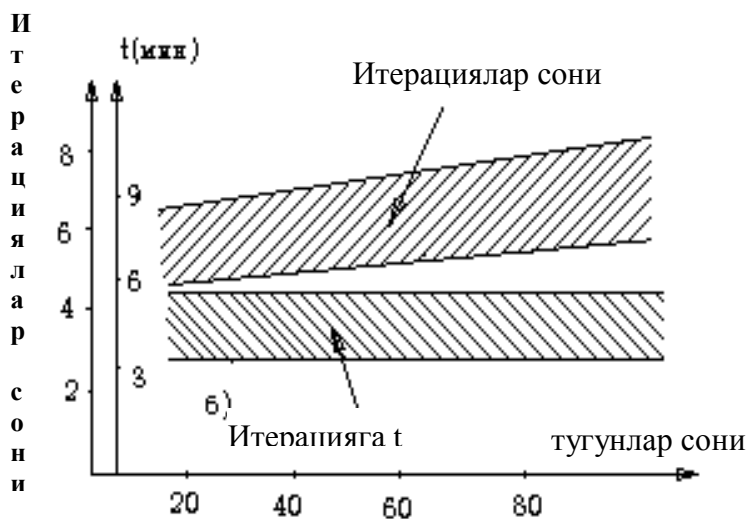
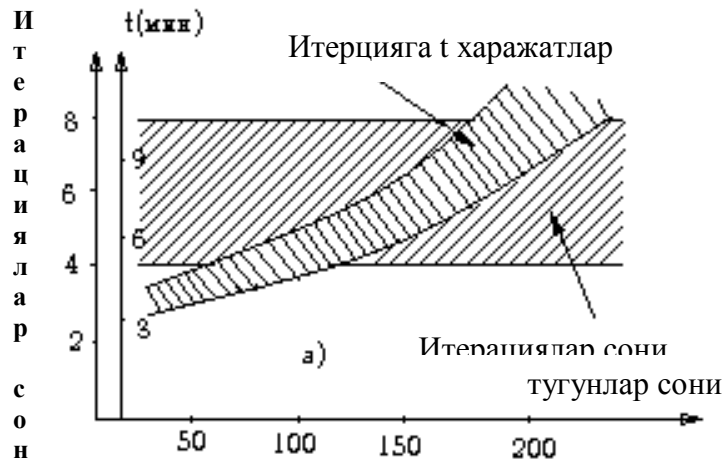
ЎБАКР ҳисоблаш алгоритми татбиқ қилинган ЎБАКР дастурида бир неча реал энергетика тизимлари учун ЭҲМда бир қатор режимларни ҳисоблашлар ўтказилди.

Бу энергетика тизимининг параметрлари 4.1 жадвалда келтирилган. Энергетика тизимларининг ўрнатилган қувватлари ўн мингдан бир неча юз минг мегаваттгача ташкил этган.

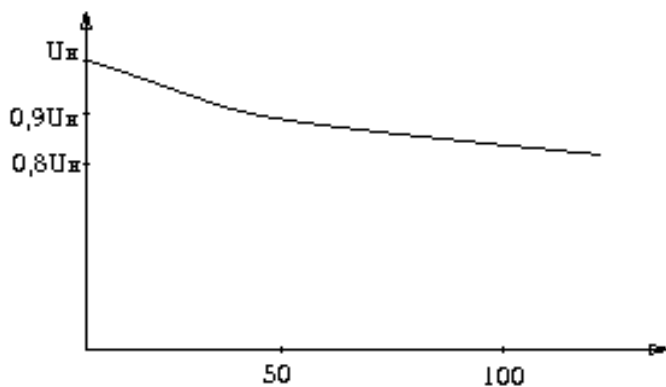
ЎБАКР дастури ЎБАКР нинг оғирлиги вариация қилиниб ўтказилган кўп сонли ҳисоблашлар натижасида итерацион жараёнлар яқинлашуви ва масаланинг ўлчамларига боғлиқ равишда машина вақти сарфи характеристикалари қурилди ва олинди (4.3. а, б расм).

4.3. а расмдан кўриниб турибдики, ҳисобланаётган схеманинг ўлчамларининг ўсиши итерациялар сонига амалда таъсир қилмайди. Итерациялар сони 4 дан 7 гача диапазонда тебраниши частота бўйича бошланғич яқинлашув танланишига боғлиқ, у ўз навбатида тармоқда актив қувват исрофини тақрибий берилганлигига боғлиқ бўлиб, у ҳисоблаш усули хусусиятидан келиб чиқади. Ҳисоблаш вақти сарфи билан ЭТ тугунлар сони орасидаги боғланиш чизиклигига яқинхарактеристикага эга (4.3. расм). 4.3. б расмда ЎБАКР оғирлигига ўрнатилган генерацияланувчи қувватнинг ўчирилиш фоизини итерацион жараённинг яқинлашувига ва бир итерацияга ҳисоблаш вақти сарфини баҳолаш келтирилган. 4.3. б расмдаги боғланишдан кўриниб турибдики, яъни бир итерация учун вақт сарфи амалда ЎБАКР оғирлигига боғлиқ эмас ва ЎБАКР оғирлиги билан ҳисоблаш жараёнидаги итерация сони орасида кучсиз пропорционал боғланиш мавжуд.

Моделлаштирилган ЎБАКР: 1 – энергоблок ўчирилиши; 2 – линия ёки трансформаторинг ўчирилиши; 3 – юкларни ўчириш (улаш); 4 – генератор тугунини унга боғланган тармоқлар билан ўчириш; 5 – ЭЭТ ни носинхрон қисмларга бўлинишига олиб келувчи чуқур авария.



4.3–расм. Яқинлашув ва машина вақти сарфини масала ўлчамига ЎБАКР оғирлигига боғлиқлик характеристикалари



4.4.расм. Реактив қувватлар балансида линиядан генерацияловчи реактив қувват кўпроқ бўлган ЭЭТ таркибида реактив юкларни ўчирилгандаги қучланиш пасайиши самарасининг кўрниши (ЭЭС №2, $Q_{сл}=80\%$).

4.4–расмда ЭЭТ №2 ҳисоблаш схемасининг(бу ерда $Q_{ст}$ нинг умумий балансдаги улуши 80% ни ташкил қилади) битта тугунида бир қисм юкламалар ўчирилганда ушбу тугундаги кучланишни ўзгариши кўрсатилган.

Кўрилган ходисани чуқурроқ ўрганиш мустақил қизиқишбўлиши мумкин. Шу нарсани қайд қилиш зарурки, яъни юклама қисми ўчирилганда кучланиш сатхининг пасайиши турғунлик нуқтаи назаридан потенциал хафли бўлиши мумкин.

Актив қувват бўйича қандайдир захира бўлгандаги ЎБАКР ларни ҳисоблашда ЭЭТ даги частотани созлаш схемаси сезиларли таъсир қилади. Таклиф қилинаётган ҳисоблаш усуликасида АЧР ҳаракати генерацияловчи тугунларга улушлар коэффициентларини, $\lambda_i, i=1, \dots, N_p$ (бу ерда N_p – частотани созловчи тугунлар сони), тайинлаш орқали ҳисобга олинади, яъни улар пайдо бўлган қувват нобалансларни ўрнатилган қувват бўйича олинган захира эвазига қоплайди (ЭЭТ бўйича умуман $\sum_{i=1}^{N_p} \lambda_i = I$).

Хулоса

1. Авариядан кейинги барқарор режимларни ҳисоблаш одий ҳолатда энерготизимлар барқарор режимларини ҳисоблашда ҳисобга олинмайдиган бир қатор омилларни ҳисобга олишни талаб этади. Хусусан, АРВ, АРС, АРЧ, АЧР ҳаракатлари ҳамда энерготизим ҳисоблаш схемасининг топологик таҳлилини ҳисобга олиш зарур.

2. Математик нуқтаи назардан тугунлардаги қувват балансини таъминлаш талабларини, режим ва техник чекловларни акс эттирувчи чизиқсиз тенгсизликлар тизимининг ечимимни топишга келтирилади. Қувватнинг катта мувозанатдан чиқиши билан боғлиқ авариядан кейинги оғир режимлар ҳолатида чекловлар мувофиқ келмай қолади.

3. Барқарор режимларни ҳисоблаш масаласини шартсиз кетма–кет минималлаштириш усуллари асосида чизиқсиз математик дастурлаш масаласи каби ифодалаш мақсадга мувофиқ бўлади.

4. Катта хажмдаги чизиқсиз математик дастурлаш масаласини ечиш

оғир авариядан кейинги режимларни ҳисоблашнинг математик асосини ташкил этади. Режимли ва техник чекловларни бажарилишини олдиндан таъминлашга асосланган таклиф этилаётган ёндошувда, ЭХМнинг хотираси ва вақтга сарфларини қисқартиришга итератив ҳисоб жараёнида автоматик қурилмалар ҳаракатини моделлаштириш ёрдамида эришилади.

5. Ишлаб чиқилган алгоритм ва унинг асосида ишлаб чиқилган оғир авариядан кейинги режимларни ҳисоблаш махсус дастури ҳар қандай оғир ҳолатдаги энерготизимнинг авариядан кейинги режимларини ҳисоблаш имконини берди. Частота бўйича ва тизимдаги қувваат йўқотилиши бўйича дастлабки яқинлашувларни танлаш шартларига риоя қилинганда, алгоритм ўзи барқарорлашувчи авариядан кейинги режимларни итерацион ҳисоб–китобларда ечимга эришишни тўла қафолатлаган.

6. Ўзи барқарорлашувчи режимларни аниқлашнинг кетма–кетлик усулини қўллаш алоҳида матрицага эга чизиқли алгебраик тенгламалар тизимини ечишга нисбатан алгоритмик жихатдан содда ва ЭХМ ресурслари ҳаражатлари бўйича иқтисодлидир

7. Аралаш юкламалар статик характеристикаси билан юкламларни моделлаштириш тавсия этилади, бу ўз навбатида, авариядан кейинги режимларни ҳисоблашнинг анча адекват натижаларини беради.

8. Кучланиш бўйича актив қувват турғун характеристикалари коэффициентларини киритишга катта эътибор бериш мақсадга мувофиқ бўлади, бу ҳисоб–китобларнинг аниқлигини оширади.

Адабиётлар рўйхати

1. Фазылов Х.Ф. Усулы режимных расчетов электрических систем. – Ташкент: Наука, 1994.–98с.
2. Качанова А.А. Электрический расчет сложных энергосистем на ЭЦВМ. – Киев: Техника, 1986. – 274с.
3. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Вопросы однозначности, сходимости решений и выбора эффективного усуга расчета установившихся режимов электрических систем. – В кн.: Труды симпозиума «Оптимизация и управление большими системами в энергетике». – Иркутск: Изд. 1990. Т.3 с197–215.
4. Идельчик В.И. Расчете установившихся режимов электрической систем.– М: энергия, 1987.–192с.
5. Идельчик В.И., Тарасов В.И. Аперодическая устойчивость и сходимость решений уравнений установившегося режима. – тр. Иркутский политехнический Институт, 1991 №72 с. 47–62.
6. Адонц Г.Т. Усул расчета модулей и синусов разности фаз напряжений узлов схемы. – в кн.: Исследование решения на ЦВМ уравнений установившегося режима электрических систем (тезисы докладов). – Ереван, 1986. С 10–15.
7. Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей. – М.: Высшая школа, 1985.–280с.
8. Лоханин Е.К., Васильева Г.В., Галактионов Ю.И. Усул повышения точности аварийного управления в сложных энергосистемах, основанный на расчетах послеаварийных режимов. –тр. Ин–т Энергосетьпроект,1988, вып. II.
9. Маркович И.М., Совалов С.А. Практические критерии статической устойчивости энергетической системы. – Электричество, 1985. №3 с.1–12.
- 10.Ерохин П.М. Итерационные и интегральные усулы расчета

- установившихся режимов электрических систем. – Автор. Дис...канд.техн.наук. – Свердловск, 1985.–21с.
- 11.Идельчик В.И., Тарасов В.И. Экспериментальное исследование сходимости усулов Ньютона и по параметру при расчете установившихся режимов сложных электрических систем. – тр. Иркутский политехнический институт. 1981, №72 с. 5–27.
 - 12.Идельчик В.И., Тарасов В.И. Исследование на ЦВМ существования, неоднозначности и сходимости решения уравнений установившегося режима электрических систем. – Электричество, 1984. №3 с. 20–24.
 - 13.Азарьев Д.И. Математическое моделирование электрических систем. – М: Госэнергоиздат, 1982. –207с.
 - 14.Ковшар Л.Г., Коробчук К.В., Цукерник Л.В. К вопросу об однозначности результатов и сходимости итерационного расчета стационарного режима энергосистем. – изв. Энергетика и транспорт, 1986. №4. С 106–114.
 - 15.Цукерник Л.В. основные положения анализа статической устойчивости сложных энергосистем при помощи цифровых вычислительных машин. – в кн.: Проблемы технической электродинамики. – Киев: Наукова думка, 1982 вып.36. с3–9.
 - 16.Тьюарсон Р. Разреженные матрицы.–М: Мир, 1987. –189с.
 - 17.Усулика и алгоритм определения предельных по статической устойчивости установившихся и после аварийных (самоустанавливающихся) режимов с учетом изменение частоты. Галкина Н.В., Ильина В.П., Конторович А.М., Шербачев О.в. – тр. ЛПИ. Электроэнергетика, 1986, №350 с. 3–8.
 - 18.Tavora C. J.> Smith O.J.M. Equilibrium Analysis of Power System. – IEEE Trans. Power Appar. and Syst., 1992, vol.91, p. 1131–1137.
 - 19.Korsak A.J. on the Question of uniqueness of Stable Load–flow Solutions. – IEEE Trans. Power Appar. And Syst., 1992, vol.91, p.1093–1100.
 - 20.Tavora C.J., Smith O.J.M. Stability Analysis of power System. – IEEE

- Trans. Power Appar. and System, 1992, vol.91, p. 1138–1144.
21. Stott B. Review of load–flow calculation methods. – Proc. IEEE, July, 1994, vol. 62, №7, p.64–81.
 22. Stott B. Effective starting presses for Newton – Rapshon Load Flow. – Proc. IEEE, 1991, vol.118, №8, p. 983–987.
 23. Stott B., Hobson E. Solution of large power system networks by ordered elimination: a comparison of ordering schemes.– Proc. IEEE, 1991, vol.118, №1, p.125–134.
 24. Tinney W.F., Hart C.E. Power flow solution by Newton’s method. – IEEE Trans. Power Appar. And syst., 1987, vol 86, №11, p.1449–1456.
 25. Schweppe F.C., Wildes J. Power system static–state estimation. Part II: Approximate model. – IEEE Trans. Power Appar and Syst., PAS–89 №1, 1990, p.125–130.
 26. Schweppe F.C., Wildes J. Power system static–state estimation. Part III: Implementation. – IEEE Trans. Power Appar and Syst., PAS–89 №1, 1990, p.130–135.
 27. Larson R.E., Tinney W.F., Peschon J. State estimation in power systems. Part I: Theory and feasibility. – IEEE Trans. Power Appar. and Systems, Pas–89, №3, 1990, p. 345–352.
 28. Larson R.E., Tinney W.F., Hajdu L.P., Piercy D.S. State estimation in power systems. Part II: Implementation and applications. – IEEE Trans. Power Appar. and Systems, Pas–89, №3, 1990, p. 353–359.
 29. Smith O.J.M. Power system state estimation. – IEEE Trans. Power Appar. and Syst., PAS–89, №3, 1990, p. 363–375.
 30. Merrill H.M., Schweppe F.C. Bad data suppression in power system state estimation: – IEEE Trans. Power Appar. and Systems, PAS–90, №6, 1991.
 31. Zoutendijk G. Methods of Feasible directions. – Amsterdam, 1980.
 32. Аоки М. Введение в усулы оптимизации. –М.: Наука, 1987.–344с.
 33. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. –м.: Мир, 1985.–534с.

34. Фиакко А., Мак–Кормик Г. Нелинейное программирование. Усулы последовательной безусловной оптимизации. –М.: Мир, 1973.–420с.
35. Баринов В.А., Совалов С.А. Определение установившихся режимов и аperiodической устойчивости сложных электроэнергетических систем при учете изменения частоты. – Электричество, 1978.№11, с. 10–16.
36. Калюжных А.Х., Соколов Ю.В. Алгоритм и программа расчета установившихся нормальных и послеаварийных режимов сложных электроэнергетических систем с учетом изменения частоты. – Изв. 1977 №3, №13. сер.техн.наук. вып.1., с. 101–106., 126–131.
37. Фазылов Х.Ф., Крамер Ю.М., Удовиченко В.Б. Вопросы расчета установившихся режимов электрических систем с учетом изменения частоты. –изв. 1986, №6, сер.техн.наук., вып. 3., с. 101–106.
38. Крумм Л.А. Усулы решения общих уравнений стационарного режима электрической системы с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании частоты, напряжения и мощности. – Тр. Таллинск. Политехн.ин–ст., 1976, №124 –20с.
39. Влияние изменения частоты на оценки аperiodической статической устойчивости установившегося режима электрической системы /Веников В.А., Строев В.А., Виноградов А.А. . Энергетика и транспорт, 1985 №2. с.27–37.
40. Крумм Л.А. Усулы оптимизации при управлении электроэнергетическими системами. – Новосибирск: Наука 1981. –320с.
41. Фазылов Х.Ф. Усулы режимных расчетов электрических систем. – Ташкент: Наука, 1985. –98с.
42. Давыдович В.В. Применение математических усулов и средств вычислительной техники в проектировании и эксплуатации энергетических систем. – Энергетика за рубежом. Энергия, 1988. –278с.
43. Исследование некоторых алгоритмов управления стационарными режимами электроэнергетических систем /Веников В.А. и др. Энергетика и транспорт, №4, 1985. с.3–16.

44. Богданов В.А. Информационная модель электрической сети автоматизированной системы дисперсного управления. – Электричество, №5, с. 1–7.
45. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. – М.: Наука, 1986 –220с.
46. Головицын Б.И., Лисеев М.С. Оперативная оценка параметров режима электрической системы. – В сб. Электроэнергетика и автоматика, вып14. Кишенев, 1979.
47. Гурский С.К. Алгоритмизация задач управления режимами сложных систем в электроэнергетике. – Минск. Наука и техника 1987. –368с.
48. Богданов В.А. Оценка качества исходных данных и точности результатов при определении режима электрической системы. Электричество, 1989. №6, с1–9.
49. Molina S.A. Cory B.J. Observability and local estimation in power system. – Proc. VI PSCC. Darmstadt, 1998. IPS Science and Technology Press.
50. Тихонов А.М., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. –М: Наука, 1987 –388с.
51. Ножин Л.Э. Исследование статической устойчивости установившихся и самоустанавливающихся режимов электрических систем с помощью ЦВМ. – Автореф. Дис..канд.техн.наук. – Л., 1986. –21с.
52. Конторович А.М. Методы расчета режимов и статической устойчивости электрических систем с учетом изменения частоты. 1984г.
53. Горев А.А. Избранные труды по вопросам устойчивости электрических систем. – М.: Госэнергоиздат. 1980г.
54. Загузкин В.Л. Численные методы решения плохо обусловленных задач. Изд. Ростов. Ун-т, 1986. –192с.
55. Гамм А.З. О нумерации узлов при расчетах установившихся режимов электрических систем методом Ньютона–Рафсона. – Электричество. 1983 №2, с. 59–61.

56. Гамм А.З. Оценка текущего состояния электроэнергетической системы как задача нелинейного программирования, – Электричество. 1986 №9, с.1–7.
57. Гуревич Ю.Е., Лобова Л.Е., Хачатрян Э.А. Устойчивость нагрузки электрических систем. – м: Энергоиздат, 1981 –209с.
58. Черников С.Н. Линейные неравенства. – М.: Наука, 1986. –488с.
59. Сухенко В.И. Расчет располагаемой реактивной мощности синхронных генераторов с учетом изменения частоты. В кн.: сб. науч. тр. – Киев. 1989, с 129–134.
60. Стотт Б. Обзор условий расчета потоков распределения. – ТИИЭР, 1984. т.62. №7, с.64–80.
61. Крылов В.И., Бобков В.В. Вычислительные условия. Том 1. – М.: Наука 1986. –304с.
62. В.И. Тарасов. Нелинейные условия минимизации для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 2001. – 214 с.
63. Баринов В.А., Савалов С.А. Режимы энергосистем: условия анализа и управления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 440 с.
64. Гамм А.З. Вероятностные модели режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Во "Наука", 1993. – 132 с.
65. Шелухин Н.Н. Совершенствование программных средств расчета и анализа стационарных режимов электроэнергетических систем для решения задач диспетчерского управления. – Электричество, 2001, №12 – С.2–8.
66. Шепилов О.Н., Ушаков А.Е., Вымятнин А.А., Домышев А.В., Осак А.Б., Бузина Е.Я. Программно–вычислительный комплекс АНАРЭС – 2000 для расчета и анализа нормальных и аварийных режимов электроэнергетических систем. – В кн.: Управление режимами Единой энергосистемы России/ Под. ред. В.И. Решетова. – М.: Изд–во НЦ ЭНАС, 2002. – С. 149–154.

67. Abido M. A. Optimal Power Flow Using Particle Swarm Optimization // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2002, Vol. 24, N. 7. – Pp. 563–571, .
68. Шаргин Ю.М., Меркурьев А.Г. Расчет электрических режимов усолом эквивалентных преобразований. – Электричество, 2003, №4 – С.53–55.
69. Тарасов В.И. Усулы минимизации ньютонского типа для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 2001. – 168 с.
70. Тарасов В.И. Нелинейные усулы минимизации для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 2001. – 214 с.
71. Тарасов В.И. Теоретические основы анализа установившихся режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 2002. – 344 с.
72. ИНТЕРНЕТ МАЪЛУМОТЛАРИ: <http://energy.komisc.ru/seminar/inf-pis1.htm>

ИЛОВА
ЎБАҚРларни Гаусс усулида ҳисоблаш
Дастурнинг таснифи

```
Unit Matrix;
interface
type
MatrixPtr = ^MatrixRec;
MatrixRec = record
MatrixRow : byte;
MatrixCol : byte;
MatrixArray : pointer;
end;
MatrixElement = real;
(* Функция возвращает целочисленную степень *)
function IntPower(X,n : integer) : integer;
(* Функция создает квадратную матрицу *)
function CreateSquareMatrix(Size : byte) : MatrixPtr;
(* Функция создает прямоугольную матрицу *)
function CreateMatrix(Row,Col : byte) : MatrixPtr;
(* Функция дублирует матрицу *)
function CloneMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixPtr;
(* Функция удаляет матрицу и возвращает TRUE в случае удачи *)
function DeleteMatrix(var MPtr : MatrixPtr) : boolean;
(* Функция заполняет матрицу указанным числом *)
function FillMatrix(MPtr : MatrixPtr;Value : MatrixElement) : boolean;
(* Функция удаляет матрицу MPtr1 и присваивает ей значение MPtr2 *)
function AssignMatrix(var MPtr1 : MatrixPtr;MPtr2 : MatrixPtr) :
MatrixPtr;
(* Функция отображает матрицу на консоль *)
function DisplayMatrix(MPtr : MatrixPtr;_Int,_Frac : byte) : boolean;
(* Функция возвращает TRUE, если матрица 1x1 *)
function IsSingleMatrix(MPtr : MatrixPtr) : boolean;
(* Функция возвращает TRUE, если матрица квадратная *)
function IsSquareMatrix(MPtr : MatrixPtr) : boolean;
(* Функция возвращает количество строк матрицы *)
function GetMatrixRow(MPtr : MatrixPtr) : byte;
(* Функция возвращает количество столбцов матрицы *)
function GetMatrixCol(MPtr : MatrixPtr) : byte;
(* Процедура устанавливает элемент матрицы *)
procedure SetMatrixElement(MPtr : MatrixPtr;Row,Col : byte;Value :
MatrixElement);
(* Функция возвращает элемент матрицы *)
function GetMatrixElement(MPtr : MatrixPtr;Row,Col : byte) :
MatrixElement;
(* Функция исключает векторы из матрицы *)
```

```

function ExcludeVectorFromMatrix(MPtr : MatrixPtr;Row,Col : byte) :
MatrixPtr;
(* Функция заменяет строку(столбец) матрицы вектором *)
function SetVectorIntoMatrix(MPtr,VPtr : MatrixPtr;_Pos : byte) :
MatrixPtr;
(* Функция возвращает детерминант матрицы *)
function DetMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixElement;
(* Функция возвращает детерминант треугольной матрицы *)
function DetTriangularMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixElement;
(*Функция возвращает алгебраическое дополнение элемента матри-
цы*)
function AppendixElement(MPtr : MatrixPtr;Row,Col : byte) :
MatrixElement;
(* Функция создает матрицу алгебраических дополнений элементов
матрицы *)
function CreateAppendixMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixPtr;
(* Функция транспонирует матрицу *)
function TransponeMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixPtr;
(* Функция возвращает обратную матрицу *)
function ReverseMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixPtr;
(* Функция умножает матрицу на число *)
function MultipleMatrixOnNumber(MPtr : MatrixPtr;Number :
MatrixElement) : MatrixPtr;
(* Функция умножает матрицу на матрицу *)
function MultipleMatrixOnMatrix(MPtr1,MPtr2 : MatrixPtr) : MatrixPtr;
(* Функция суммирует две матрицы *)
function AddMatrixOnMatrix(MPtr1,MPtr2 : MatrixPtr) : MatrixPtr;
(* Функция вычитает из первой матрицы вторую *)
function SubMatrixOnMatrix(MPtr1,MPtr2 : MatrixPtr) : MatrixPtr;
(* Функция решает систему усулом Гаусса и возвращает LU-матрицы
*)
(* Результат функции – вектор–столбец решений *)
function GausseMethodMatrix(MPtr,VPtr : MatrixPtr;var LPtr,UPtr,BPtr :
MatrixPtr) : MatrixPtr;
implementation
(* Функция возвращает целочисленную степень *)
function IntPower(X,n : integer) : integer;
var
Res,i : integer;
begin
if n < 1 then IntPower:= 0
else begin
Res:= X;
for i:=1 to n-1 do Res:= Res*X;
IntPower:= Res;
end;

```

```

end;
(* Функция создает квадратную матрицу *)
function CreateSquareMatrix(Size : byte) : MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
begin
TempPtr:= nil;
GetMem(TempPtr,SizeOf(MatrixRec));
if TempPtr = nil then begin
CreateSquareMatrix:= nil;
Exit;
end;
with TempPtr^ do begin
MatrixRow:= Size;
MatrixCol:= Size;
MatrixArray:= nil;
GetMem(MatrixArray,Size*Size*SizeOf(MatrixElement));
if MatrixArray = nil then begin
FreeMem(TempPtr,SizeOf(MatrixRec));
CreateSquareMatrix:= nil;
Exit;
end;
end;
FillMatrix(TempPtr,0);
CreateSquareMatrix:= TempPtr;
end;
(* Функция создает прямоугольную матрицу *)
function CreateMatrix(Row,Col : byte) : MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
begin
TempPtr:= nil;
GetMem(TempPtr,SizeOf(MatrixRec));
if TempPtr = nil then begin
CreateMatrix:= nil;
Exit;
end;
with TempPtr^ do begin
MatrixRow:= Row;
MatrixCol:= Col;
MatrixArray:= nil;
GetMem(MatrixArray,Row*Col*SizeOf(MatrixElement));
if MatrixArray = nil then begin
FreeMem(TempPtr,SizeOf(MatrixRec));
CreateMatrix:= nil;
Exit;

```

```

end;
end;
FillMatrix(TempPtr,0);
CreateMatrix:= TempPtr;
end;
(* Функция удаляет матрицу и возвращает TRUE в случае удаи *)
function DeleteMatrix(var MPtr : MatrixPtr) : boolean;
begin
if MPtr = nil then DeleteMatrix:= FALSE
else with MPtr^ do begin
if MatrixArray <> nil then
FreeMem(MatrixArray,MatrixRow*MatrixCol*SizeOf(MatrixElement));
FreeMem(MPtr,SizeOf(MatrixRec));
MPtr:= nil;
DeleteMatrix:= TRUE;
end;
end;
(* Функция дублирует матрицу *)
function CloneMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
i,j : byte;
begin
if MPtr = nil then CloneMatrix:= nil
else with MPtr^ do begin
TempPtr:= CreateMatrix(MPtr^.MatrixRow,MPtr^.MatrixCol);
if TempPtr <> nil then begin
for i:= 1 to MatrixRow do
for j:= 1 to MatrixCol do
SetMatrixElement(TempPtr,i,j,GetMatrixElement(MPtr,i,j));
CloneMatrix:= TempPtr;
end else CloneMatrix:= nil;
end;
end;
(* Функция заполняет матрицу указанным числом *)
function FillMatrix(MPtr : MatrixPtr;Value : MatrixElement) : boolean;
var
i,j : byte;
begin
if MPtr = nil then FillMatrix:= FALSE
else with MPtr^ do begin
for i:= 1 to MatrixRow do
for j:= 1 to MatrixCol do
SetMatrixElement(MPtr,i,j,Value);
FillMatrix:= TRUE;
end;
end;

```

```

end;
(* Функция удаляет матрицу MPtr1 и присваивает ей значение MPtr2 *)
function AssignMatrix(var MPtr1 : MatrixPtr;MPtr2 : MatrixPtr) :
MatrixPtr;
begin
DeleteMatrix(MPtr1);
MPtr1:= MPtr2;
AssignMatrix:= MPtr1;
end;
(* Функция отображает матрицу на консоль *)
function DisplayMatrix(MPtr : MatrixPtr;_Int,_Frac : byte) : boolean;
var
i,j : byte;
begin
if MPtr = nil then DisplayMatrix:= FALSE
else with MPtr^ do begin
for i:= 1 to MatrixRow do begin
for j:= 1 to MatrixCol do
write(GetMatrixElement(MPtr,i,j) : _Int : _Frac);
writeln;
end;
DisplayMatrix:= TRUE;
end;
end;
(* Функция возвращает TRUE, если матрица 1x1 *)
function IsSingleMatrix(MPtr : MatrixPtr) : boolean;
begin
if MPtr <> nil then with MPtr^ do begin
if (MatrixRow = 1) and (MatrixCol = 1) then
IsSingleMatrix:= TRUE
else IsSingleMatrix:= FALSE;
end else IsSingleMatrix:= FALSE;
end;
(* Функция возвращает TRUE, если матрица квадратная *)
function IsSquareMatrix(MPtr : MatrixPtr) : boolean;
begin
if MPtr <> nil then with MPtr^ do begin
if MatrixRow = MatrixCol then
IsSquareMatrix:= TRUE
else IsSquareMatrix:= FALSE;
end else IsSquareMatrix:= FALSE;
end;
(* Функция возвращает количество строк матрицы *)
function GetMatrixRow(MPtr : MatrixPtr) : byte;
begin
if MPtr <> nil then GetMatrixRow:= MPtr^.MatrixRow

```

```

else GetMatrixRow:= 0;
end;
(* Функция возвращает количество столбцов матрицы *)
function GetMatrixCol(MPtr : MatrixPtr) : byte;
begin
if MPtr <> nil then GetMatrixCol:= MPtr^.MatrixCol
else GetMatrixCol:= 0;
end;
(* Процедура устанавливает элемент матрицы *)
procedure SetMatrixElement(MPtr : MatrixPtr;Row,Col : byte;Value :
MatrixElement);
var
TempPtr : ^MatrixElement;
begin
if MPtr <> nil then
if (Row <> 0) or (Col <> 0) then with MPtr^ do begin
pointer(TempPtr):= pointer(MatrixArray);
Inc(TempPtr,MatrixRow*(Col-1)+Row-1);
TempPtr^:= Value;
end;
end;
(* Функция возвращает элемент матрицы *)
function GetMatrixElement(MPtr : MatrixPtr;Row,Col : byte) :
MatrixElement;
var
TempPtr : ^MatrixElement;
begin
if MPtr <> nil then begin
if (Row <> 0) and (Col <> 0) then with MPtr^ do begin
pointer(TempPtr):= pointer(MatrixArray);
Inc(TempPtr,MatrixRow*(Col-1)+Row-1);
GetMatrixElement:= TempPtr^;
end else GetMatrixElement:= 0;
end else GetMatrixElement:= 0;
end;
(* Функция исключает векторы из матрицы *)
function ExcludeVectorFromMatrix(MPtr : MatrixPtr;Row,Col : byte) :
MatrixPtr;
var
NewPtr : MatrixPtr;
NewRow, NewCol : byte;
i,j : byte;
DiffRow, DiffCol : byte;
begin
if MPtr <> nil then with MPtr^ do begin
if Row = 0 then NewRow:= MatrixRow

```

```

else NewRow:= MatrixRow-1;
if Col = 0 then NewCol:= MatrixCol
else NewCol:= MatrixCol-1;
NewPtr:= CreateMatrix(NewRow, NewCol);
if (NewPtr = nil) or (NewPtr^.MatrixArray = nil) then begin
ExcludeVectorFromMatrix:= nil;
Exit;
end;
DiffRow:= 0;
DiffCol:= 0;
for i:= 1 to MatrixRow do begin
if i = Row then DiffRow:= 1
else for j:= 1 to MatrixCol do if j = Col then DiffCol:= 1
else SetMatrixElement(NewPtr,i-DiffRow,j-DiffCol,
GetMatrixElement(MPtr,i,j));
DiffCol:= 0;
end;
ExcludeVectorFromMatrix:= NewPtr;
end else ExcludeVectorFromMatrix:= nil;
end;
(* Функция заменяет строку(столбец) матрицы вектором *)
function SetVectorIntoMatrix(MPtr,VPtr : MatrixPtr;_Pos : byte) :
MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
i : byte;
begin
if (MPtr <> nil) and (VPtr <> nil) then begin
TempPtr:= CloneMatrix(MPtr);
if TempPtr = nil then begin
SetVectorIntoMatrix:= nil;
Exit;
end;
if VPtr^.MatrixRow = 1 then begin
for i:= 1 to TempPtr^.MatrixCol do
SetMatrixElement(TempPtr,_Pos,i,GetMatrixElement(VPtr,1,i));
end else begin
for i:= 1 to TempPtr^.MatrixRow do
SetMatrixElement(TempPtr,i,_Pos,GetMatrixElement(VPtr,i,1));
end;
SetVectorIntoMatrix:= TempPtr;
end else SetVectorIntoMatrix:= nil;
end;
(* Функция возвращает детерминант матрицы *)
function DetMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixElement;
var

```

```

TempPtr : MatrixPtr;
i,j   : byte;
Sum   : MatrixElement;
begin
if IsSquareMatrix(MPtr) then begin
if not IsSingleMatrix(MPtr) then begin
TempPtr:= nil;
Sum:= 0;
for j:= 1 to GetMatrixCol(MPtr) do begin
AssignMatrix(TempPtr,ExcludeVectorFromMatrix(MPtr,1,j));
Sum:=Sum+IntPower(-
1,j+1)*GetMatrixElement(MPtr,1,j)*DetMatrix(TempPtr);
end;
DeleteMatrix(TempPtr);
DetMatrix:= Sum;
end else DetMatrix:= GetMatrixElement(MPtr,1,1);
end else DetMatrix:= 0;
end;
(* Функция возвращает детерминант треугольной матрицы *)
function DetTriangularMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixElement;
var
i   : byte;
Sum : MatrixElement;
begin
if IsSquareMatrix(MPtr) then begin
Sum:= 1;
for i:= 1 to MPtr^.MatrixRow do
Sum:= Sum*GetMatrixElement(MPtr,i,i);
DetTriangularMatrix:= Sum;
end else DetTriangularMatrix:= 0;
end;
(*Функция возвращает алгебраическое дополнение элемента матри-
цы*)
function AppendixElement(MPtr: MatrixPtr;Row,Col: byte): MatrixEle-
ment;
var
TempPtr : MatrixPtr;
begin
if IsSquareMatrix(MPtr) then begin
TempPtr:= ExcludeVectorFromMatrix(MPtr,Row,Col);
if TempPtr = nil then begin
AppendixElement:= 0;
Exit;
end;
AppendixElement:= IntPower(-1,Row+Col)*DetMatrix(TempPtr);
DeleteMatrix(TempPtr);

```

```

end else AppendixElement:= 0;
end;
(*Функция создает матрицу алгебраических дополнений элементов
матрицы*)
function CreateAppendixMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
i,j   : byte;
begin
if (MPtr <> nil) or (MPtr^.MatrixArray <> nil) or
(not IsSquareMatrix(MPtr)) then with MPtr^ do begin
TempPtr:= CreateMatrix(MatrixCol,MatrixRow);
for i:= 1 to MatrixRow do
for j:= 1 to MatrixCol do
SetMatrixElement(TempPtr,i,j,AppendixElement(MPtr,i,j));
CreateAppendixMatrix:= TempPtr;
end else CreateAppendixMatrix:= nil;
end;
(*Функция транспонирует матрицу*)
function TransponeMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
i,j   : byte;
begin
if (MPtr <> nil) or (MPtr^.MatrixArray <> nil) then with MPtr^ do begin
TempPtr:= CreateMatrix(MatrixCol,MatrixRow);
for i:= 1 to MatrixRow do
for j:= 1 to MatrixCol do
SetMatrixElement(TempPtr,j,i,GetMatrixElement(MPtr,i,j));
TransponeMatrix:= TempPtr;
end else TransponeMatrix:= nil;
end;
(*Функция возвращает обратную матрицу*)
function ReverseMatrix(MPtr : MatrixPtr) : MatrixPtr;
var
TempPtr   : MatrixPtr;
Determinant : MatrixElement;
begin
if MPtr <> nil then begin
TempPtr:= nil;
AssignMatrix(TempPtr,CreateAppendixMatrix(MPtr));
AssignMatrix(TempPtr,TransponeMatrix(TempPtr));
Determinant:= DetMatrix(MPtr);
if (TempPtr = nil) or (Determinant = 0) then begin
DeleteMatrix(TempPtr);
ReverseMatrix:= nil;

```

```

Exit;
end;
AssignMatrix(TempPtr, MultipleMatrixOnNumber(TempPtr, 1/Determinant))
ReverseMatrix:= TempPtr;
end else ReverseMatrix:= nil;
end;
(*Функция умножает матрицу на число*)
function MultipleMatrixOnNumber(MPtr: MatrixPtr; Number: MatrixElement)
: MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
i, j: byte;
begin
if MPtr <> nil then with MPtr^ do begin
TempPtr:= CreateMatrix(MatrixRow, MatrixCol);
if TempPtr = nil then begin
MultipleMatrixOnNumber:= nil;
Exit;
end;
for i:=1 to MatrixRow do
for j:=1 to MatrixCol do
SetMatrixElement(TempPtr, i, j, GetMatrixElement(MPtr, i, j)*Number);
MultipleMatrixOnNumber:=TempPtr;
end else MultipleMatrixOnNumber:= nil;
end;
(*Функция умножает матрицу на матрицу*)
function MultipleMatrixOnMatrix(MPtr1, MPtr2 : MatrixPtr) : MatrixPtr;
var
TempPtr: MatrixPtr;
i, j, k : byte;
begin
if (MPtr1 <> nil) and (MPtr2 <> nil) then begin
TempPtr:= CreateMatrix(MPtr1^.MatrixRow, MPtr2^.MatrixCol);
if TempPtr = nil then begin
MultipleMatrixOnMatrix:= nil;
Exit;
end;
for i:= 1 to TempPtr^.MatrixRow do
for j:= 1 to TempPtr^.MatrixCol do
for k:= 1 to MPtr1^.MatrixCol do
SetMatrixElement(TempPtr, i, j, GetMatrixElement(TempPtr, i, j)+
GetMatrixElement(MPtr1, i, k)*GetMatrixElement(MPtr2, k, j));
MultipleMatrixOnMatrix:= TempPtr;
end else MultipleMatrixOnMatrix:= nil;
end;
end;
(*Функция суммирует две матрицы*)

```

```

function AddMatrixOnMatrix(MPtr1,MPtr2 : MatrixPtr) : MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
i,j,k : byte;
begin
if (MPtr1 <> nil) and (MPtr2 <> nil) then begin
TempPtr:= CreateMatrix(MPtr1^.MatrixRow,MPtr2^.MatrixCol);
if TempPtr = nil then begin
AddMatrixOnMatrix:= nil;
Exit;
end;
for i:= 1 to TempPtr^.MatrixRow do
for j:= 1 to TempPtr^.MatrixCol do
SetMatrixElement(TempPtr,i,j,GetMatrixElement(Mptr1,i,j)+
GetMatrixElement(MPtr2,i,j));
AddMatrixOnMatrix:= TempPtr;
end else AddMatrixOnMatrix:= nil;
end;
(*Функция вычитает из первой матрицы вторую *)
function SubMatrixOnMatrix(MPtr1,MPtr2 : MatrixPtr) : MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
i,j,k : byte;
begin
if (MPtr1 <> nil) and (MPtr2 <> nil) then begin
TempPtr:= CreateMatrix(MPtr1^.MatrixRow,MPtr2^.MatrixCol);
if TempPtr = nil then begin
SubMatrixOnMatrix:= nil;
Exit;
end;
for i:= 1 to TempPtr^.MatrixRow do
for j:= 1 to TempPtr^.MatrixCol do
SetMatrixElement(TempPtr,i,j,GetMatrixElement(MPtr1,i,j)-
GetMatrixElement(MPtr2,i,j));
SubMatrixOnMatrix:= TempPtr;
end else SubMatrixOnMatrix:= nil;
end;
(*Функция решает систему уравнений Гаусса и возвращает LU-матрицы*)
(*Результат функции – вектор–столбец решений*)
function GausseMethodMatrix(MPtr,VPtr : MatrixPtr;var LPtr,UPtr,BPtr :
MatrixPtr) : MatrixPtr;
var
TempPtr : MatrixPtr;
TempVPtr : MatrixPtr;
TempLPtr : MatrixPtr;
TempUPtr : MatrixPtr;

```

```

XSum    : MatrixElement;
i,j,k   : byte;
begin
if (MPtr <> nil) and (VPtr <> nil) then begin
TempUPtr:= CloneMatrix(MPtr);
if TempUPtr = nil then begin
GausseMethodMatrix:= nil;
Exit;
end;
TempLPtr:= CreateMatrix(MPtr^.MatrixRow,MPtr^.MatrixCol);
if TempLPtr = nil then begin
DeleteMatrix(TempUPtr);
GausseMethodMatrix:= nil;
Exit;
end;
TempVPtr:= CloneMatrix(VPtr);
if TempVPtr = nil then begin
DeleteMatrix(TempLPtr);
DeleteMatrix(TempUPtr);
GausseMethodMatrix:= nil;
Exit;
end;
TempPtr:= CreateMatrix(MPtr^.MatrixRow,1);
if TempPtr = nil then begin
DeleteMatrix(TempVPtr);
DeleteMatrix(TempLPtr);
DeleteMatrix(TempUPtr);
GausseMethodMatrix:= nil;
Exit;
end;
for j:= 1 to MPtr^.MatrixCol-1 do begin
SetMatrixElement(TempLPtr,j,j,1);
for i:= j+1 to MPtr^.MatrixRow do begin
SetMatrixElement(TempLPtr,i,j,GetMatrixElement(TempUPtr,i,j)/
GetMatrixElement(TempUPtr,j,j));
for k:= j to MPtr^.MatrixCol do begin
SetMatrixElement(TempUPtr,i,k,GetMatrixElement(TempUPtr,i,k)-
GetMatrixElement(TempLPtr,i,j)*GetMatrixElement(TempUPtr,j,k));
end;
SetMatrixElement(TempVPtr,i,1,GetMatrixElement(TempVPtr,i,1)-
GetMatrixElement(TempLPtr,i,j)*GetMatrixElement(TempVPtr,j,1));
end;
end;
SetMatrixElement(TempLPtr,TempLPtr^.MatrixRow,TempLPtr^.MatrixCol
,1);
SetMatrixElement(TempPtr,TempPtr^.MatrixRow,1,

```

```

    GetMatrixElement(TempVPtr,TempVPtr^.MatrixRow,1)/
GetMatrixElement(TempUPtr,TempUPtr^.MatrixRow,TempUPtr^.MatrixCol));
    for j:= MPtr^.MatrixCol-1 downto 1 do begin
    XSum:= 0;
    for k:= j+1 to MPtr^.MatrixCol do
    XSum:= XSum+GetMatrixElement(TempUPtr,j,k)*
    GetMatrixElement(TempPtr,k,1);
    SetMatrixElement(TempPtr,j,1,(GetMatrixElement(TempVPtr,j,1)-XSum)/
    GetMatrixElement(TempUPtr,j,j));
    end;
    LPtr:= TempLPtr;
    UPtr:= TempUPtr;
    BPtr:= TempVPtr;
    GausseMethodMatrix:= TempPtr;
    end else GausseMethodMatrix:= nil;
    end;
end.

```