

**Бектимиров Анур Талғатұлының**  
6D071800 - «Электр энергетикасы»  
философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алуға диссертациясына  
**АҢДАТПА**

**«Smart Grid технологиясын қолдана отырып Қазақстан ҰЭТ  
« - » транзиті бойынша төмен жиілікті тербелістерді  
бәсеңдету және сәйкестендіру» диссертациялық жұмысының тақырыбы**

Диссертациялық жұмыста Қазақстанның энергия тораптарының тұрақтылығы үшін қауіпті төмен жиіліктегі тербелістерді сәйкестендіру және оларды демпфирлеу жөніндегі алгоритмді әзірлеу жөніндегі зерттеу нәтижелері келтірілген. Алгоритм электр станцияларындағы жүйелік тұрақтандырғыштардың дұрыс параметрлерін есептеуге бағытталған. Сондай-ақ WAMS үндестірілген векторлық өлшемдерін пайдалана отырып, процесс қарқынындағы тербелістерді сәйкестендіру және демпфирлеу үшін WADS жүйесінің архитектурасы әзірленді.

**Зерттеу тақырыбының өзектілігі:** энергия жүйесін дамыту нәтижесінде жаңа генерация көздері мен ұзын қашықтық электр беру желілерінің енгізілуімен оның серпінді қасиеттері күрделенеді және орнықтылықты сақтау мәселелері бірінші кезекте болады. Тербеліс орнықтылықтың бұзылуының негізгі проблемаларының бірі - энергия жүйесіндегі жиілігі аз және жиілігі төмен тербелістер (ЖТТ) деп аталатын қуаттың электрмеханикалық тербелістері болып табылады. Негізгі себептер мыналар: өзара созылған электр беру желілерімен байланысқан жүйелерде қуаттың теңгерімсіздігінің туындауы; массалардың механикалық тербелістері; генератордың немесе энергия жүйесіндегі электр станциясының қоздырумен реттеу автоматикасын және генераторлардың қоздыру жүйесінің жүйелік тұрақтандырғыштарын (PSS) дұрыс баптамау салдарынан синхронды жұмысының өзгеруі болып табылады.

Көптеген зерттеулермен ЖТТ торсиялық, жергілікті, жүйеаралық және инфро-төмен жиілікті тербелістерге бөлінетіні анықталды. Әртүрлі елдердің энергия жүйелерінде тіркелген апаттық оқиғаларды талдау 0,1-ден 2 Гц-ке дейінгі өзіндік ауытқу жиілігі бар ЖТТ неғұрлым қауіпті болып табылатынын көрсетті.

Ауытқудың қауіпті режимдерін анықтай отырып, ЖТТ-ді сәйкестендіру бірінші кезектегі міндет болып табылады. Тиісінше, энергия жүйесінде ЖТТ мониторингі мен сәйкестендірудің тиімді жүйесін құру қажет болды. Үндестірілген векторлық өлшеу технологиясы - WAMS энергия жүйесіндегі квазидинамикалық және өтпелі процестердің мониторингімен, сондай-ақ

тұрақтылықты жоғалтуға әкелетін қауіпті режимдерді болжаумен мәселені шешеді.

Қазақстан ҰЭТ-де WAMS жүйесін пайдалана отырып жүргізілген тербеліс орнықтылығын зерттеу 0,3 - 0,4 Гц меншікті жиіліктерімен және тербеліс ұзақтығы 4-5 минутқа дейінгі демпферленбейтін жүйеаралық ЖТТ бар екенін көрсетті. Қазақстан ҰЭТ «Солтүстік-Оңтүстік» транзитінің ӘЖ-500кВ бойынша қуаттың ең үлкен ауытқу амплитудасы  $\pm 150$  МВт болған бірнеше тіркелген оқиғалар бойынша талдау жүргізілді.

Сәйкестендірілген ЖТТ Қазақстанның электр желілерінің өткізу қабілетін айтарлықтай шектейді және транзиттің барынша рұқсат етілген қуат ағындарындағы жұмысы кезінде апаттан кейінгі режимдерде ірі жүйелік аварияларға әкелуі мүмкін. Сондай-ақ ЖЭК үлесінің ұлғаюы энергия жүйесінің серпінді қасиеттерінің нашарлауына және тиісінше тұрақтылықты сақтау бойынша жаңа сын-қатерлерге алып келеді.

Қазақстанның энергия жүйесіндегі ЖТТ-дің әлсіз демпфирленуі, сондай-ақ жаңғыртылатын энергия көздерінің үлкен көлемін интеграциялау кезінде жағдайдың нашарлау қаупі жүйенің тұрақтылығын арттыру үшін ауытқулардың қауіпті режимдерін демпфирлеу қажеттілігін анықтады. Негізгі және тиімді құрал синхронды генератордың қоздыру жүйесінің құрамында PSS жүйелік тұрақтандырғышын қолдану болып табылады. Бұл ретте PSS параметрлерін дұрыс баптау қажет, себебі баптаудың дұрыс емес параметрлері генератордың қуаттың электр механикалық ауытқуларына және орнықтылықтың одан әрі бұзылу қаупіне реакциясын нашарлауы мүмкін. Бүгінгі таңда PSS параметрлерін теңшеу және қоздыру жүйесін автоматтандыру бойынша бірнеше аналитикалық және оңтайландыру алгоритмдері бар, сондай-ақ эвристикалық және жасанды интеллект алгоритмдерінің қолданылуы зерттеледі. Сондықтан, Қазақстандағы ұзын электр желілері жағдайында, сондай-ақ ЖЭК интеграциясының күтілетін көлемін ескере отырып, PSS бейімделетін теңшеудің жаңа алгоритмін әзірлеу қажет.

**Жұмыс мақсаты:** Желілік параметрлердің, атап айтқанда апаттық және апаттан кейінгі режимдердің өзгеруі жағдайында жүйеаралық және жергілікті төмен жиіліктегі ауытқулардың қауіпті режимдерін сәйкестендіру және тиімді демпфирлеу үшін PSS генераторын бейімделу күйге келтіру әдісін, алгоритмін әзірлеу.

**Тұжырымдалған мақсат бойынша мынадай міндеттер шешілді:**

- Басқа елдердің энергия жүйелеріндегі ЖТТ мониторингі мен сәйкестендірудің қолданыстағы әдістеріне шолу, ЖТТ туындатқан тіркелген апаттық оқиғаларға талдау жүргізу;
- WAMS мониторинг жүйесінің деректері бойынша Қазақстанның энергия жүйесінде ҰЖК сәйкестендіру және талдау орындалды;

- Әлемдегі PSS құрылғысының параметрлерін теңшеу бойынша қолданыстағы әдістер мен алгоритмдерге шолу жасалды. Қазақстанның энергия жүйесінде ЖТТ демпфирлеу үшін PSS параметрлерін теңшеудің тиімді әдісі айқындалды;

- Өтпелі процестерді есептеу мен модальды талдауды орындау үшін зерттелетін энергия торабының цифрлық моделі әзірленді;

- PSS баптау және нақты уақытта тербеліс тұрақтылығын бақылау алгоритмі әзірленді. ЖТТ демпфирлеу үшін есептелген PSS параметрлерінің дұрыстығын тексеру;

- Smart Grid технологияларын пайдалана отырып, процесс қарқынында ЖТТ сәйкестендіру және демпфирлеу бойынша WADS жүйесінің архитектурасы әзірленді;

- Синхронды генераторларды қоздыру жүйесі бойынша ҚР-дағы қолданыстағы ЖТТ-ге қосымша PSS құрылғылары бойынша ұсынымдар мен талаптар ұсынылды.

### **Зерттеу әдістері:**

- Ғылыми және практикалық ортада бар және зерттелетін PSS баптаудың классикалық, эвристикалық және бейімделу әдістерін, генераторларды қоздыру жүйесін талдау.

- WAMS жүйесінің үндестірілген векторлық өлшеулері негізінде 500-220кВ электр желілеріндегі өтпелі режимдерді эксперименттік зерттеу.

- Зерттелетін энергия ауданын модальды талдау, Боде диаграммасын құру, жетілдірілген фазалық-компенсациялық әдіс негізінде PSS параметрлерін іздеу, мамандандырылған DigSilent Power Factory және MATLAB Simulink бағдарламалық кешендерінде тұрақтылықты тексеру.

**Зерттеу объектісі:** 500-220 кВ жүйеаралық электр желілері және Қазақстанның бірыңғай энергия жүйесіндегі электр станциялары.

**Зерттеу мәні:** Жүйеаралық электр желілерінің қалыпты және ауыспалы процестердегі жұмыс режимдері. Электр станцияларының генераторларын қоздыру және PSS жүйесі. PSS генераторларының параметрлерін теңшеудің бейімделген алгоритмдері.

### **Ғылыми жаңалық:**

1. ЖТТ мониторингі және сәйкестендіру бойынша жүргізілген талдау Қазақстанның энергия жүйесінде, атап айтқанда 500 кВ «Солтүстік-Оңтүстік» транзиті бойынша айтарлықтай ауытқулардың бар екенін көрсетті;

2. Қазақстанның ҰЭТ 500-220 кВ жүйеаралық электр желілері бойынша WAMS жүйесі бойынша және әзірленген модельде модальді талдау жолымен ЖТТ сапалық сипаттамалары алынды;

3. Желі сұлбасы мен ЖЭК интеграциясы өзгерген кезде Қазақстанның күрделі тұйық энергия жүйесі үшін жетілдірілген фазалық-өтемдік әдіс негізінде PSS бейімделу теңшеу алгоритмі әзірленді;

4. Реттеу жүйесінің, генератордың және іргелес жабдықтың нақты деректері бойынша әзірленген модель негізінде Мойнақ ГЭС генераторлары үшін PSS параметрлерінің есептеулері орындалды;

5. Қауіпті жүйеаралық ЖТТ демпфирлеу үшін PSS параметрлерін бейімделу бойынша Қазақстан ҰЭТ үшін жаңа WADS жүйесінің архитектурасы әзірленді.

#### **Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:**

1. WAMS үндестірілген векторлық өлшемдерінің деректері бойынша Қазақстанның ҰЭТ-дегі ЖТТ сәйкестендіру нәтижелері;

2. Процесс қарқынында режимдік және желілік параметрлерді пайдаланатын PSS параметрлерін бейімделу теңшеу алгоритмін әзірлеу;

3. Power Factory DigSilent бағдарламалық ортасында Алматы энергия торабының цифрлық моделін әзірлеу;

4. Мойнақ ГЭС мысалында PSS күйге келтірудің жаңартылған параметрлерін ескере отырып, ЖТТ демпфирлеу бойынша модельдеу нәтижелері;

5. Қауіпті мод ЖТТ сәйкестендіру және демпфирлеу жолымен PSS параметрлерін бейімделу үшін WADS жүйесін құру архитектурасы.

#### **Автордың жеке үлесі:**

- Қазақстанның энергия жүйесінің тұрақтылығына төмен жиілікті ауытқулардың әсеріне талдау жүргізілді;

- PSS адаптивті теңшеу және нақты уақытта тербеліс тұрақтылығын бақылау алгоритмі әзірленді;

- Жүйеаралық ЖТТ-ді сәйкестендіру және демпфирлеу үшін WADS архитектурасы әзірленді.

#### **Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы:**

- Әзірленген PSS бейімделу әдісі мен моделі электр станцияларына қуаттың апаттық теңгерімсіздіктері туындаған кезде жүйеаралық электр желілерінің қалыпты режимде өткізу қабілеттілігін және тұрақтылығын арттыру үшін генераторларды қоздыру жүйесінің жұмысын баптауға мүмкіндік береді.

- Диссертация нәтижелері «KEGOC» АҚ ҰДО ЖО-ның АРВ және PSS баптаулары бөлігінде электр станциялары үшін ұсынымдары мен талаптарын әзірлеу үшін қолданылды, бұл «KEGOC» АҚ-ның ҒЗЖ есебін келісу туралы алған хатымен расталады.

### **Жұмысты сынақтан өткізу:**

Диссертацияның негізгі нәтижелері мен ережелері келесі ғылыми конференцияларда баяндалып, талқыланды:

1. Professional Workshop on Ultra High Voltage Transmission and Smart Grid, 2018г., г. Гонконг, доклад «Condition and prospects of development of Kazakhstan's power electrical industry»;

2. 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), г. Бухарест, 2019г., доклад «Analysis of the Kazakhstan's Grid Oscillation Instability by using WAMS System and PSCAD Program»;

3. Қазан халықаралық форумы, онлайн, 2022 ж., «Цифрлық Smart Grid жүйелерінің жұмыс режимдерін оңтайландыру» баяндамасы;

4. ENSO халықаралық энергетикалық саммиті, Алматы қ., 2023 ж., «Қазақстан БЭЖ тұрақтылығын арттыру үшін синхронды генераторлардың жүйелік тұрақтандырғыштарының (PSS) параметрлерін теңшеу қажеттілігі» баяндамасы;

5. Халықаралық ғылыми-практикалық конференция, АЭЕА, Алматы қ., 2024 ж., «Қазақстанның бірыңғай энергия жүйесінің» Солтүстік-Оңтүстік «транзиті бойынша төмен жиілікті тербелістерді сәйкестендіру» баяндамасы.

Сондай-ақ Мойнақ ГЭС-і мен Алматы ТЭЦ-2 тексеру және қоздыру жүйесі мен PSS жұмыс істеу мәселелері бойынша техникалық персоналмен талқылау жүргізілді. Зерттеу барысында алынған деректер Алматы энергия торабының моделін әзірлеу кезінде қолданылды.

**Жарияланымдар:** Диссертация материалдары бойынша 9 жарияланым, оның ішінде Scopus дерекқорына кіретін және нөлдік емес импакт-факторы бар журналда 1 мақала, ЖАК тізбесінен журналдарда 5 мақала, Scopus конференцияларының еңбектері жинақтарында 3 баяндама, сондай-ақ пайдалы модельге 1 Патент бар.

### **Жұмыстың құрылымы мен көлемі**

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертация 126 беттен тұрады, 14 кестеден, 67 суреттен, 34 формуладан және 7 қосымшадан тұрады. Әдебиеттер тізімінде 78 дереккөз бар.