

ӨОЖ 621.315.611; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-6.11>

<https://orcid.org/0000-0002-2362-3596>

<https://orcid.org/0000-0003-2718-8798>

<https://orcid.org/0000-0003-2797-3868>

МҰНАЙ-ГАЗ КЕШЕНДЕРІНІҢ ЭЛЕКТРОТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ СЕНІМДІЛІГІ МЕН ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ



Н.Ғ. ЖҰМАМҰХАМБЕТОВ¹,
физика-математика
ғылымдарының докторы,
профессор,
nasikhan_d@mail.ru



В.А. ЯШКОВ²,
техника ғылымдарының
кандидаты, қаумдыстырылған
профессор,
yashkov2409@mail.ru



А.Ə. ҚОНАРБАЕВА²,
техника ғылымдарының
кандидаты, қаумдыстырылған
профессор,
maral2004@mail.ru

¹С.СЕЙФУЛЛИН АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ АГРОТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62

²С.ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 060027, Атырау қаласы, М. Баймұханов көшесі, 45-а

Электротехникалық жүйелердің (ЭТЖ) тұрақтылығы мәселесі динамикалық тұрақтылық ретінде анықталатын авариялық бұзылулармен шартталған және сөзсіз электрмен жабдықтаудың қысқа мерзімді бұзылуларына да сезімтал үздіксіз мұнай-газ өндірістерінің кәсіпорындары үшін өзекті болып табылады.

Құрамында синхронды және асинхронды электр қозғалтқыштары түріндегі қозғалтқыш жүктемесі бар мұнай-газ кешені объектілерінің ЭТЖ тұрақтылықты жоғалту кезіндегі авариялық жағдайды қиындатады. Бұл динамикалық тұрақтылықтың шекарасын және математикалық модельдер түріндегі динамикалық тұрақтылықты сипаттайтын параметрлерді анықтауды талап етеді.

ЭТЖ сенімділігін талдау кейбір жағдайларда технологиялық процестің толық тоқтауына немесе ішінара бұзылуына әкелетін сыртқы және ішкі бұзылулар түріндегі мұнай-газ кешендерінің (МГК) көптеген объектілері үшін проблеманы көрсетті, бұл төмен динамикалық тұрақтылық есебінен ЭТЖ бақылау нүктелерінде берілген кернеу деңгейлерін тұрақты ұстап тұруды және реактивті қуаттың қажетті тепе-теңдігін қамтамасыз етуді талап етеді.

Мақалада апаттан кейінгі күрделі процестердің бірі туралы мәліметтер келтірілген, бұзушылықтары айтарлықтай тікелей және жанама шығындарға әкелуі мүмкін электр

жүйелерінің динамикалық тұрақтылығы, статикалық және динамикалық тұрақтылықтың шекаралары анықталған, динамикалық тұрақты ЭТЖ анықтайтын математикалық модельдер ұсынылған және ЭТЖ динамикалық тұрақтылығын арттыру құралдары келтірілген.

ЭТЖ сенімділігін талдау нәтижесінде математикалық модельдер түріндегі ЭТЖ мінез-құлқын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулердің сандық интеграциясы келтірілген, онда МГК ЭТЖ динамикалық тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік беретін параметрлер көрсетілген.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: электротехникалық жүйе, сенімділік, статикалық тұрақтылық, динамикалық тұрақтылық, тұрақтылық шекаралары, бұзылулар.

НАДЕЖНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Н.Г. ДЖУМАМУХАМБЕТОВ¹, доктор физико-математических наук, профессор, nasikhan_d@mail.ru

В.А. ЯШКОВ², кандидат технических наук, ассоциированный профессор, yashkov2409@mail.ru

А.А. КОНАРБАЕВА², кандидат технических наук, ассоциированный профессор, maral2004@mail.ru

¹НАО «КАЗАХСКИЙ АГРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С. СЕЙФУЛЛИНА,
Республика Казахстан, 010011, г. Астана, проспект Женис, 62

²НАО «АТЫРАУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМЕНИ С.УТЕБАЕВА»,
Республика Казахстан, 060027, г. Атырау, улица М. Баймуханова, 45-а

Проблема устойчивости электротехнических систем (ЭТС) является актуальной для предприятий непрерывных нефтегазовых производств, чувствительных даже к кратковременным нарушениям электроснабжения (НЭ), которые обусловлены и неизбежны аварийными возмущениями, что определяется как динамическая устойчивость.

ЭТС объектов нефтегазового комплекса, содержащие в своем составе двигательную нагрузку в виде синхронных и асинхронных электродвигателей, усложняет аварийную ситуацию при потере устойчивости. Это требует определения границы динамической устойчивости и параметров, характеризующих динамическую устойчивость в виде математических моделей.

Анализ надежности ЭТС показал проблему для большинства объектов нефтегазовых комплексов (НГК) в виде внешних и внутренних возмущений, приводящих в некоторых случаях к полной остановке или частичному развалу технологического процесса, за счет низкой динамической устойчивости, что требует постоянного поддержания задаваемых уровней напряжения в контрольных точках ЭТС и обеспечения необходимого баланса реактивной мощности.

В статье приводятся сведения об одном из сложных послеаварийных процессов, как динамическая устойчивость электротехнических систем, нарушения которой могут привести к значительным прямым и косвенным убыткам, определены границы статической и динамической устойчивости, предложены математические модели, определяющие динамически устойчивую ЭТС, и приведены средства повышения динамической устойчивости ЭТС.

В результате проведенного анализа надежности ЭТС приведена численное интегрирование дифференциальных уравнений, описывающих поведение ЭТС в виде математических моделей, где показаны параметры, позволяющие повысить динамическую устойчивость ЭТС НГК.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электротехническая система, надежность, статическая устойчивость, динамическая устойчивость, границы устойчивости, возмущения.

RELIABILITY AND STABILITY OF ELECTRICAL SYSTEMS OF OIL AND GAS COMPLEXES

N.G. DZHUMAMUKHAMBETOV¹, Doctor of Physics and Mathematics, Professor,
nasikhan_d@mail.ru

V.A. YASHKOV², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, *yashkov2409@mail.ru*

A.A. KONARBAYEVA², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, *maral2004@mail.ru*

¹KAZAKH AGROTECHNICAL RESEARCH UNIVERSITY NAMED AFTER S. SEIFULLIN,
Republic of Kazakhstan, 010011, Astana city, Zhenis avenue, 62

²ATYRAU OIL AND GAS UNIVERSITY NAMED AFTER S. UTEBAEV,
Republic of Kazakhstan, 060027, Atyrau city, st. Baimukhanov, 45A

The problem of stability of electrical engineering systems (EES) is relevant for enterprises of continuous oil and gas production, sensitive even to short-term power supply disruptions, which are caused and inevitable by emergency disturbances, which is defined as dynamic stability.

The EES of oil and gas facilities, which contain a motor load in the form of synchronous and asynchronous electric motors, complicates the emergency situation in case of loss of stability. This requires defining the boundary of dynamic stability and the parameters characterizing dynamic stability in the form of mathematical models.

The analysis of the reliability of the EES showed a problem for most objects of oil and gas complexes (OGC) in the form of external and internal disturbances, leading in some cases to a complete stop or partial collapse of the technological process, due to low dynamic stability, which requires constant maintenance of set voltage levels at the control points of the EES and ensuring the necessary balance of reactive power.

The article provides information about one of the complex post-accident processes, such as the dynamic stability of electrical systems, violations of which can lead to significant direct and indirect losses, defines the boundaries of static and dynamic stability, proposes mathematical models that determine a dynamically stable EES and provides means to increase the dynamic stability of EES.

As a result of the analysis of the reliability of the EES, the numerical integration of differential equations describing the behavior of the EES in the form of mathematical models is presented, which shows the parameters that allow to increase the dynamic stability of the EES OGC.

KEY WORDS: *electrical engineering system, reliability, static stability, dynamic stability, stability limits, disturbances.*

Кіріспе. Мұнай-газ кешені (МГК) – электр беру жүйелеріне - электротехникалық жүйелерге тән, ұзын электр желілерінде апатты бұзылулармен сөзсіз болатын, үздіксіз технологиялық процестері бар, тіпті электрмен жабдықтаудың қысқа мерзімді бұзылуларына (ЭЖБ) сезімтал кәсіпорындар.

[1]-де электротехникалық жүйелердегі бұзылу әрекеттерін жіктеуге және тұрақтылықтың негізгі ұғымдарын анықтауға келесідей тәсілдер қабылданды. Кішігірім бұзылулар – бұл кез-келген параметрлердің өзгеру шамасы осы параметрдің мәнінен салыстырмалы түрде аз болатын бұзылулар. Бұл жағдайды қанағаттандырмайтын бұзылулар үлкен бұзылулар болып саналады. Электротехникалық жүйелердің (ЭТЖ) статикалық тұрақтылығы деп шексіз ұзақтықтағы азғантай бұзылуларға төзімділік түсініледі. Динамикалық тұрақтылық дегеніміз жүйенің шектеулі ұзақтықтағы үлкен бұзылуларға төзімділігі. Бұл анықтамалар ғылыми-техникалық

әдебиеттерде тұжырымдалып қана қоймай, бірқатар нормативтік құжаттарда да қарастырылған.

ЭТЖ-нің тұрақтылығының мәселесі электрқозғалтқышты жүктемесінің үлкен үлесі бар әртүрлі өнеркәсіптік кәсіпорындар үшін, әсіресе электрмен жабдықтаудың ұзақ мерзімді ғана емес, сонымен қатар қысқа мерзімді бұзылуларына сезімтал үздіксіз мұнай-газ өндірістері үшін өзекті болып табылады. Электрмен жабдықтаудың қысқа мерзімді бұзылулары электр желілеріндегі қысқа тұйықталуларға – апаттарға байланысты және жүктеме түйіндерінде, электр қабылдағыштардың кірістерінде әртүрлі тереңдіктер мен ұзақтықтағы кернеудің «құлауының» түрінде көрінеді. Кернеудің «құлауының» тереңдігі апат болған жердің қарастырылып отырған тораптан электрлік қашықтығына, сондай-ақ электр желілерінің құрылымына байланысты [2].

Кернеудің «құлауының» ұзақтығы, әдетте, секундтың бір бөлігін құрайды және апат болған жерді өшіру уақытымен анықталады. Жүйелік апаттар, сондай-ақ электр желілері автоматикасының (РАҚ, АҚҚ және т. б.) жұмысының нәтижесінде кернеуді қалпына келтіру кернеудің құлауының ұзақтығын арттыруы мүмкін. Қысқа мерзімділікке қарамастан, мұндай бұзылулар технологиялық қондырғылар мен процестердің тоқтауына әкелетін электр жабдықтарының жаппай үзілістерімен бірге жүруі мүмкін. Мұнай-газ өндірістеріндегі күрделі технологиялық процестерді қалпына келтіру көптеген сағаттарды құрауы мүмкін және шикізаттың шығынымен және электр энергиясының өнімсіз тұтынылуымен бірге жүреді, бұлар жиі бұзылулар кезінде өндірістің энергия тиімділігін төмендетеді.

Электрмен жабдықтаудың қысқа мерзімді бұзылулары кезіндегі электр қондырғыларының тоқтап қалуының себебі магниттік босатқыштар мен контакторлардың түсуіне байланысты (шамамен 0,02 с уақыт ішінде) төменгі вольтты жетектердің өздігінен ажыратылуы және көп машиналы электромеханикалық жүйелердің тұрақтылығының бұзылуы болып табылады (секундтың оннан бір бөлігіндей уақыт ішінде), олар бұзылғаннан кейін бастапқы күйіне орала алмайды. Электрмен жабдықтаудың қысқа мерзімді бұзылуының мәселесі цифрлық техника мен реттелетін электр жетектерін қолдану кеңейген сайын өзекті бола түсуде.

Жалпы жағдайда өнеркәсіптік кәсіпорындардың ЭТЖ-лері әр түрлі жүктеме-лерді қамтитын кешендер болып табылады: асинхронды, синхронды электр жетектері, статикалық жүктеме. Сондай ақ электр станциялары мен өзіндік қажеттілік генераторлары болуы мүмкін.

Құрамында МГК-де кең таралған синхронды машиналары бар ЭТЖ тұрақтылығының жоғалуына әкелетін келесі жағдайлар болуы мүмкін.

Біріншіден, жүктеменің асинхронды құрамдасының тұрақтылығы жоғалуы мүмкін.

Екіншіден, сыртқы бұзылу синхронды электр жетегінің тұрақтылығын бұзуы мүмкін. Бұл жағдайда тұрақтылықтың жоғалуы қозғалтқыштың синхронизмнен шығуына және асинхронды жүрістің пайда болуына байланысты.

Синхронды қозғалтқыштар асинхронды режимдерден қорғаныспен жабдықталған, алайда бұл қорғаныс жұмыс істеуі үшін асинхронды режимнің өзі пайда болуы керек.

Үшіншіден, автономды генераторлары бар ЭТЖ-дегі бұзылулар кезінде синхронды машиналардың генераторлы режимнен қозғалтқышты режимге өтуіне әке-

летін жағдайлар болуы мүмкін. Мұндай жағдайлар кері қуат ағынының пайда болуы ретінде көрінеді. Синхронды машиналардың өздері үшін бұл режимдер аса қауіпті болмауы мүмкін, бірақ біріншілік қозғалтқыштар оларға өте сезімтал болып келеді. Сонымен, газотурбиналық жетегі бар синхронды генераторлар, әдетте, олардың номиналдық қуатының 3-5% шегінде қуаттың кері ағынына мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл режим өте шектеулі уақытқа рұқсат етілген болып саналады - секунд - секундтың өте аз үлесі. Дизельді жетекті синхронды генераторлар қуаттың кері ағынына мүлдем жол бермейді. Сондықтан синхронды генератордың қозғалтқышты режиміне ауысуы тұтастай алғанда электротехникалық жүйенің тұрақтылығының жоғалуын айқын көрсетеді.

Төртіншіден, бұзылулар кезінде бір немесе бірнеше генераторлардың электр қозғаушы күштері (ЭҚК) апатты немесе апаттан кейінгі режимде орталықтандырылған электрмен жабдықтау көзінің ЭҚК-мен немесе басқа генераторлардың ЭҚК-мен фазаға қарсы тұратын жағдайлар болуы мүмкін. Мұндай жағдай электр энергиясын өндіру жүйесінің, демек, жалпы ЭТЖ тұрақтылығының жоғалуын көрсетеді.

Құрамында асинхронды және синхронды электр жетектері, өзіндік қажеттілік генераторлары және статикалық жүктемесі бар ЭТЖ аралас құрамды жүйе болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Цифрлық техниканы және реттелетін электр жетектерін қолдану аясы кеңейген сайын қарастырылып отырған мәселе өзекті болып табылады. Жүргізілген зерттеулер ЭТЖ-нің сыртқы және ішкі бұзылуларға төзімділігі электромеханикалық өтпелі процестердің жүру сипатымен анықталады деген тұжырымға негізделген. Көптеген бұзылулар болған жағдайда ЭТЖ-нің энергожүйемен байланысы жоғалмайды. Сондықтан, МГК нысандарының ЭТЖ-нің динамикалық тұрақтылығын зерттеуге қабылданған тәсілдер энергожүйенің қарапайым моделін – кедергіден кейінгі ЭҚК қабылдауға мүмкіндік береді. Сыртқы электрмен жабдықтау көзінің жағдайын күй параметрінің векторымен сипаттауға болады:

$$F = \{E_1; E_2; Z_s; f\} \quad (1)$$

мұндағы E_1 – тіке тізбектелген ЭҚК-нің мәні; E_2 – кері тізбектелген ЭҚК-нің мәні; Z_s – толық кірістік кедергі; f – қоректендіруші энергожүйенің жиілігі.

Мәселенің ерекшелігі МГК нысандарының ЭТЖ-нің тұрақтылығына эксперименталды зерттеулер жүргізуді іс жүзінде мүмкін емес етеді. Негізгі әдіс бұзылу кезінде ЭТЖ-де пайда болатын өтпелі процестерді математикалық модельдеу болуы мүмкін.

ЭТЖ-дегі бұзылу ұғымдарын нақтылайық. Кішігірім бұзылулар-шексіз ұзақтықта тұрақталған режимдері өзгеріссіз қалады. Үлкен бұзылулар жүйені бір тұрақталған режимнен екінші режимге ауыстырады.

Жүйе бұрынғы режимде өзгеріссіз қалатын, бекітілген параметрлі үлкен бұзылулардың максималды ұзақтығы динамикалық тұрақтылықтың шекарасын анықтайды, яғни жүйенің үлкен бұзылулардан кейінгі бастапқы қалпына келі қабілеттілігі.

Нәтижелер және талқылаулар. Тұрақтылықты статикалық және динамикалық тұрақтылық деп ажыратамыз.

Электр қозғалтқышты жүктеменің *статикалық тұрақтылығы* деп электр машинасының сызықтық жуықтаудағы электрмен қамту жүйесінің (ЭҚЖ) сипаттамасы әділ болып қалатын кішігірім бұзылулардан кейінгі тұрақты режимге оралу қабілеті түсініледі, яғни пропорционалдылық сақталған кездегі:

$$P \sim \delta; Q \sim U$$

мұндағы P – активті қуат; δ – E_0 және U векторларының арасындағы бұрыштық алшақтық (1 сурет); Q – реактивті қуат; U – кернеу.

Бастапқы сатыдағы статикалық тұрақтылықтың бұзылуы режим параметрлерінің монотонды ("апериодты") өзгеруімен, мысалы, δ бұрышының монотонды ұлғаюы немесе режим параметрлерінің тербелістерінің пайда болуы мен өсуі нәтижесінде ("тербелмелі бұзылу") сипатталуы мүмкін.

Апериодтық тұрақтылықтың бұзылуына әкелуі мүмкін негізгі себептер:

– сыртқы кедергінің артуы, әдетте қоректендіру желілерінің бір бөлігінің ажыратылуына байланысты болады, бұл шектік кернеудің жоғарылауына, демек, кернеу қорының азаюына әкеледі;

– электр қозғалтқыштың жүктеу коэффициентінің жоғарылауы, бұл да кернеудің қор коэффициентінің төмендеуіне әкеледі;

– жүктеме түйініндегі кернеудің төмендеуіне әкеледі.

Жүктеме түйіндерінде бұзылулар кернеудің құлаулары әртүрлі ΔU тереңдігі мен t ұзақтығы түрінде пайда болады. Бұзылулардың қысқа мерзімді болғанына карамастан, олар айтарлықтай зиян келтіреді, өйткені олар көбінесе жүктеменің барлық негізгі түйіндерінде бір мезгілде шектік кернеудің «құлауымен» бірге жүреді.

[3]-ке сәйкес жүктеме түйіндеріне қатысты электрмен жабдықтаудың бұзылуы (ЭЖБ) электрмен жабдықтау жүйесінде бұзылған кездегі түйіндегі қалдық кернеу деңгейімен (немесе кернеудің «құлауының» мәнімен) сипатталуы мүмкін. Ал, бұзылу әрекеті уақытпен анықталатын болғандықтан, тораптың сезімталдығының сипаттамасы болып, $t(U)$ тәуелділігімен анықталатын, тораптың динамикалық тұрақтылығының шекарасы болуы керек: $t(c)$ рұқсат етілген уақытында $U_{\text{ост}}$ (сал. бірлік.) қалдық кернеуінің шамасынан болатын электрмен қамтудың зақымдалуы.

Осы шекара нақты дәлдікпен екі параметр арқылы анықталады: $u_{c,y}$ (сал. бірлік.) – t_0 және тораптың статикалық тұрақтылығының шекарасымен, c – нөлге тең, тораптың қалдық кернеуі кезінде электр жүктемесінің торабының динамикалық тұрақтылығын бұзбайтын, бұзылудың максималды ұйғарылған уақытымен.

Айқын түрде динамикалық тұрақтылықтың шекарасы төмендегі формуламен көрсетілуі мүмкін:

$$t = \frac{t_0(1 - u)}{\left(1 - \frac{u}{u_{c,y}}\right)} \quad (2)$$

Динамикалық тұрақтылықтың шекарасы $L = \{\tau(u)\}$ кеңістігін екі аймаққа бөледі: $A = \{\tau(u) > t(u)\}$ – тұрақтылықтың бұзылу аймағы және $B = \{\tau(u) \leq t(u)\}$ – тұрақтылықтың сақталу аймағы. Егер электрмен жабдықтаудың бұзылу параметрлерінің A аймағына түсу фактісі бойынша қоректендірудің жоғалуының қорғанысы

іске қосылған жағдайда, тораптың тұрақтылық қорын барынша ықтимал пайдалану қамтамасыз етіледі. Бұл жағдайда электрмен жабдықтаудың бұзылуы, жүктеме торабының ажыратылуымен болатын В аймағы, А аймағымен сәйкес келеді.

Қоректендіруді жоғалтудан қорғаныс ретінде қатты сипаттамалы, минималды кернеудің бір сатылы қорғанысын пайдаланған кезде, қорғаныстың қондырғысының $U_{3МН}$ және $t_{3МН}$ уақыт ұстанымдылығын таңдау үшін төмендегі шарт қаралады:

$$u_{3МН} = u_{с.у.}, t_{3МН} = t_0 \quad (3)$$

Динамикалық тұрақтылық шекарасының параметрлерін жүктеме торабының тұрақтылық деңгейін сапалы бағалау үшін пайдалануға болады [4].

Егерде $u_{с.у.} \leq 0,7$ (сал. бірлік.) және $t_0 \geq 0,5$ с тораптың тұрақтылық деңгейі қанағаттанарлық болып есептеледі. Кәсіпорынның электр жүктемесінің кез келген негізгі тораптарының тұрақтылығының төмен деңгейі электрмен жабдықтау көзі мен жүктеме торабының функционалдық сәйкессіздігін көрсетеді. Тораптардың тұрақтылығын арттыру жөніндегі ықтимал шаралар қоректендіру көздерінің қуатын арттыруға, тораптардағы жұмыс кернеуінің деңгейін ұтымды таңдауға немесе кәсіпорынның электр жүктемесінің негізгі тораптарын бөлшектеуге бағытталуы тиіс.

Электротехникалық жүйенің динамикалық тұрақтылығын зерттеуде динамикалық тұрақтылық пен тербелістерді қарқынды демпферлеудің жоғары шегін қамтамасыз ететін реттеу заңдары мен күштік элементтерін (ЭЖ агрегаттары, компенсаторлық құрылғылар және т. б.) таңдау маңызды орын алады [5].

Оңтайлы басқару мәселесін шешу жүйенің әртүрлі элементтерін басқарудың шекті мүмкіндіктерін табуға және оны басқарудың тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда нәтижелерге шамалы әсер ететін синхронды генератордың (СГ) жұмысына байланысты болатын әдеттегі болжамдарды қабылдаймыз:

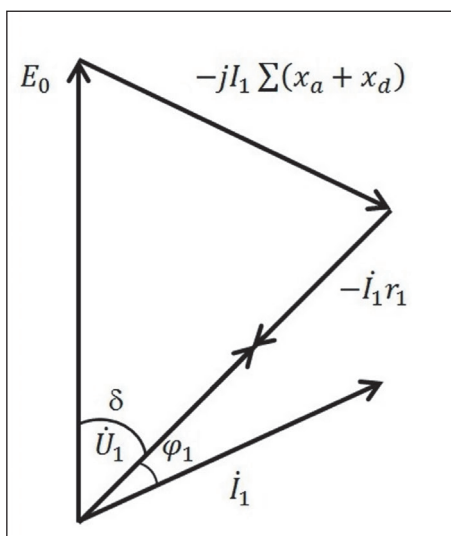
- айналу және тежеу моменттерінің шамаларына агрегаттар жылдамдығының өзгеруінің әсері ескерілмейді;

- агрегаттардың айналу моменті тұрақты болып қабылданады;
- ротор контурларының тыныштандыру әсері еленбейді;
- динамикалық синхронды тұрақтылық - электр жеткізу желісінің басында үш фазалы қысқа тұйықталудың ең ауыр жағдайы үшін тежеу алаңын толық пайдалану кезінде қарастырылған.

Берілетін қуаттың динамикалық тұрақтылығын қарастырған кезде анықтаушы параметрі болып, синхронды жанама полюсті генератордың электромагниттік моменті табылады [5].

$$M_H = \frac{P_{ЭМ}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 \sum X} \sin \delta_0 \quad (4)$$

мұндағы: E_0 – ЭҚК; I_1 – СГ-дың статорының тоғы; U_1 – статордың кернеуі; X_a – СГ-дың статорының орамдарының басты индуктивті кедергісі; X_d – СГ-дың статорының орамдарының фазалық шашырауының индуктивті кедергісі; δ – бұрыш алшақтығы.



1 сурет – Жанама полюсті синхронды генератордың векторлық диаграммасы

Көрсетілген болжамдар кезінде динамикалық тұрақты берілетін қуат синхронды генератордың электромагниттік момент теңдеуінен шығарылатын келесі теңдеулер жүйесімен анықталады [5].

$$\begin{cases} x(\pi - \delta_{\Pi} - \arcsin p) - \cos \delta_{\Pi} - \cos \delta_0 = 0 & (5) \\ \delta_0 = \arcsin p + \frac{\pi t_0^2 p}{M p_r} & (6) \\ \sin_0 = x p & (7) \end{cases}$$

мұндағы x – қалыпты режимнің эквивалентті реактивті кедергісінің үлесімен көрсетілген, апаттан кейінгі режимдегі беру жүйесінің эквивалентті реактивті кедергісі;

$\delta, \delta_{\Pi}, \delta_0$ – қалыпты, апаттан кейінгі және қысқа тұйықталуды ажырату сәтіндегі өтпелі кедергі мен шексіз қуат шиналарының кернеу векторлары мен тарату станциясының генераторларының артындағы ЭҚК векторларының алшақтық бұрыштары;

$p = \sin \delta - \frac{E U}{x}$ үлесімен көрсетілген, динамикалық тұрақты жеткізілетін қуат;

p_r – осы генераторлардың номиналды қуатына жатқызылатын тарату станциясының генераторларының номиналды қуаты;

t_0 – қысқа тұйықталуды ажырату уақыты, с;

M – осы генераторлардың номиналды қуатына жатқызылатын тарату станциясының генераторларының инерция тұрақтысы.

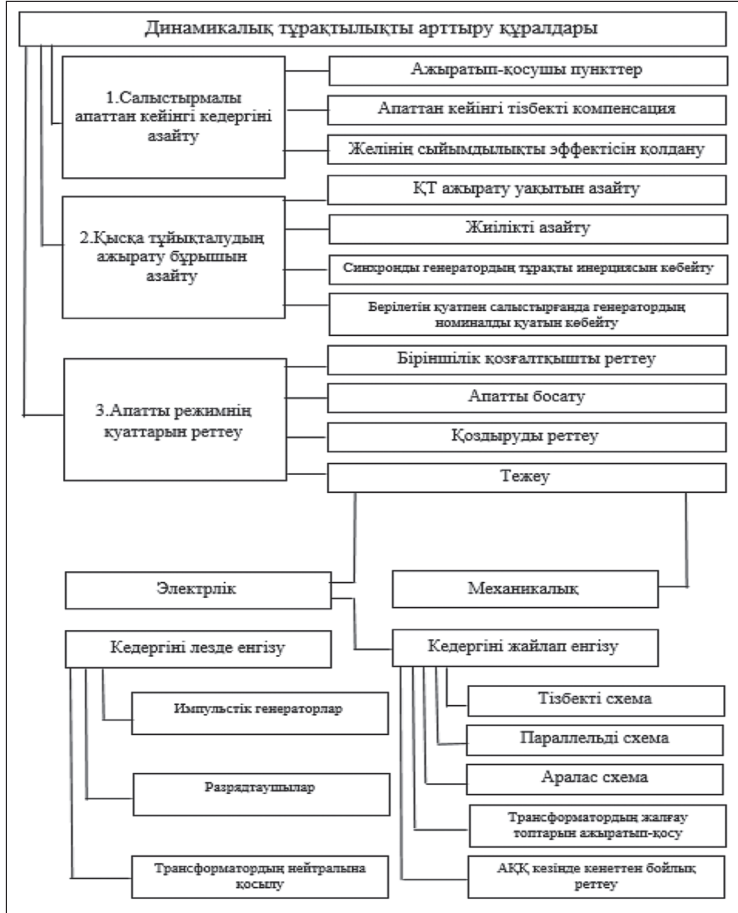
(5)-ші теңдеуден көрініп тұрғандай, x шамасының төмендеуі бұрыштың төмендеуіне әкеледі және ЭТЖ динамикалық тұрақтылығын арттыру құралдарының бірі болып табылады.

(6)-шы теңдеуді талдау көрсеткендей, берілетін қуаттың динамикалық тұрақтылығын арттыру қысқа тұйықталуды ажырату бұрышын δ_0 азайту арқылы мүмкін болады.

(7)-ші теңдеу динамикалық тұрақтылықты апатты жағдайларда қуатты реттеу арқылы арттыруға болатындығын көрсетеді.

Осылайша, электр беру жүйесінің берілген параметрлерінде динамикалық тұрақты электротехникалық жүйені (5), (6), (7) теңдеу жүйелерінің математикалық модельдері анықтайды.

2 суретте теңдеулерді талдау негізінде жасақталған динамикалық тұрақтылықты арттыру құралдарының жіктелуі келтірілген.



2 сурет – Динамикалық тұрақтылықты арттыру құралдарының жіктелуі

Өнеркәсіптік электротехникалық жүйелердің тұрақтылығының мәселесі электр энергиясының көздері мен тұтынушыларының электромагниттік үйлесімділігі болып табылатын жалпы мәселенің ерекше жағдайы болып табылады.

Қарастырылып отырған мәселе электрмен жабдықтаудың сенімділігі және электр энергиясының сапасы сұрақтарымен тығыз байланысты. Электр энергиясының сапасына және электрмен жабдықтау сапасының өзге де көрсеткіштеріне байланысты, қарастырылып отырған міндеттер шеңберінде неғұрлым маңызды болып көрінетін барлық проблемалар – электр энергиясын жеткізу және тарату сағасында туындайды. Бүгінгі таңда еліміздегі электр энергиясын бөлуге арналған монополия жағдайында тұтынушы, іс жүзінде, негізгі өндірістік ресурстардың бірін жеткізушіні таңдау мүм-

кіндігінен айырылып отыр. Желілік жабдықтың айтарлықтай тозуы жағдайында сапалы және сенімді электрмен жабдықтауды қамтамасыз ету мәселесі бірқатар өнеркәсіптік кәсіпорындар үшін, әсіресе МГК нысандары үшін өте маңызды болып отыр [6].

Экономиканың мұнай газ секторының кәсіпорындары үшін өте өткір мәселе болып тұр. Мұндай объектілердің айрықша ерекшеліктері-бұл айтарлықтай қуаттың тұтынылуы, электр қабылдағыштардың үлкен бірлік қуаты, технологиялық процестің үздіксіздігі мен кернеулілігі, өндірістің жоғары өртке қауіптілігі мен жарылысқа қауіптілігі, бірқатар аралық өнімдердің уыттылығы, қалыпты жұмыс режимін бұзылуынан болатын айтарлықтай экономикалық және экологиялық шығындар. Мұнай және газ өнеркәсібі кәсіпорындары электр энергиясының ең ірі тұтынушыларының бірі бола отырып, электр энергиясының сенімділігі мен сапасының төмендігі себеп болып табылатын елеулі шығындарға ұшырайтынын ескеру қажет.

Мұнай және газ өнеркәсібінің бірқатар нысандарына тән бөлек мәселе болып, олардың ЭТЖ-нің сыртқы және ішкі бұзылуларға тұрақтылығы болып табылады. Кәсіпорынның ЭТЖ-нің тұрақтылығының жоғалуы – қосымша шараларды жүзеге асырмай ақ, кейбір бұзылулардан кейін электр қабылдағыштардың қалыпты штаттық жұмыс режимін қалпына келтірудің мүмкін еместігін білдіреді. Апатқа қарсы автоматика жүйелерін жобалаудың қалыптасқан тәжірибесі нысанның ЭТЖ-нің қандай да бір енгізуінде кернеу жоғалған кезде технологиялық процесті апаттық түсіруді іске қосуды көздейді. Әрине, мұндай түсіру барлық технологиялық тізбектер үшін орындалмайды, тек жұмыс істеуін қамтамасыз ету апаттық кірістен қуат алатын электр қабылдағыштар арқылы қарастырылатындар үшін жүзеге асырылады.

Электрмен жабдықтаудың қолайлы сенімділігін қамтамасыз ету әдісі ретінде, атап айтқанда, нысанның ЭТЖ ішінде электрмен жабдықтауды жылдам резервтеу қолданылады. Ол үшін, мысалы, резервті жылдам әрекет ететін автоматты қосу (BAWP) құрылғылары қолданылады.

Технологиялық процесті апаттық түсірудің салдары жалпы белгілі. Электр жүйелерінің тұрақтылығы мәселелерімен сипатталатын мұнай және газ өңдеу кәсіпорындары үшін -бұл технологиялық жабдықты апатты тоқтату, шикізат пен аралық өнімдердің бір бөлігін алауға төгу, технологиялық ағындарды олардың жұмыс режимін мәжбүрлей отырып, жұмыста қалған технологиялық тізбектерге ауыстыру, технологиялық және электротехникалық жабдықтардың тез тозуы, технологиялық процестің қалыпты режимін апаттан кейінгі қалпына келтіру бағдарламасын әзірлеу және іске асыру қажеттілігі және тағы басқалар. Бұл аталған салалар үшін, электрмен жабдықтаудың қалыпты режимінің секундтың бір бөлігіне бұзылуы, салдарының толық жойылуы бірнеше сағатқа, тіпті тәулікке созылатын жағдайлармен сипатталады. Осылайша, технологиялық процестің әрбір апаттық тоқтауы өнеркәсіптік кәсіпорын үшін айтарлықтай ауырлық тудыратын, тікелей және жанама шығындарға әкелуі мүмкін [6].

Сонымен қатар, кәсіпорындар аталған мәселелерді өз бетінше, қымбат тәсілдермен шешуге мәжбүр, мысалы, өздерінің автономды генераторлық қуаттарын салу сияқты шешімдермен. Бірақ, мұндай қоректендіру көздері салыстырмалы түрде аз қуатты болады және динамикалық тұрақтылық мәселесін шешуі үнемі оң нәтиже бермейді.

Қорытынды


1. Тұтынушыларды динамикалық тұрақтылық қоры төмендетілген электр энергиясымен сенімді қамтамасыз ету жабдықтың, электр беру желілерінің істен шығуын

азайту арқылы қамтамасыз етілуі керек, бұл өз кезегінде микропроцессорлық релік қорғаныс пен автоматиканың және жылдам әрекет ететін ажыратқыштардың оңтайлы қолдану арқылы қол жеткізіледі.

2. Динамикалық тұрақтылық шекарасының параметрлері жүктеме торабының тұрақтылық деңгейін сапалы бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін.

3. Берілген ЭТЖ параметрлерінде берілетін қуатты динамикалық тұрақтылықты арттырудың үш параметрі көрсетілген математикалық модельдер анықтайтыны көрсетілген: қысқа тұйықталуды ажырату бұрышын азайту, апаттан кейінгі режимдегі ЭТЖ-нің индуктивті кедергісі, апаттық режимдердегі қуатты реттеу.

4. ЭТЖ-нің электр қозғалтқышты жүктемесі қосылған және істен шығуы динамикалық тұрақтылықтың бұзылуына және сәйкесінше зақымға әкелуі мүмкін жүктеме торабындағы жағымсыз әсерді бағалау және зерттеуді жалғастыру ұсынылады.

5. ЭТЖ-нің динамикалық тұрақтылығын зерттеу бойынша ұсыныстарға, динамикалық тұрақтылықты талдаудың энергетикалық тәсіліне негізделген, мұндағы өтпелі процестің кинетикалық энергиясы өтпелі процестің графигінің ауданымен анықталатын, аудандар әдісін қолдану жатады [3]. Зерттеудің міндеті болып жүйенің генераторының үдеу және тежеу аудандарының қосындысын салыстыру және нөлге тең болуы керектігі табылады. 

ӘДЕБИЕТ

- 1 М.С. Ершов, А.В. Егоров. Надежность, устойчивость и энергоэффективность электротехнических систем нефтегазовых комплексов/Вестник АИНГ, 2015, №1(33). С. 65-70. [M.S.Ershov, A.V.Egorov. Nadezhnost', ustojchivost' i energoefektivnost' elektrotehnicheskikh system neftegazovykh kompleksov/Vestnic AING, 2015, N1(33). S.65-70]
- 2 М.С. Ершов и др. Устойчивость промышленных электротехнических систем. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2010. 319 с. [M.S.Ershov I dr. Ustojchivost' promyshlennykh elektrotehnicheskikh system. – М.:ООО “Izdatel'skij dom Nedra”, 2010. 319s.]
- 3 М.А. Жаналиева, Г.К. Кабдешова. Моделирование динамической устойчивости систем электропередач нефтегазовых комплексов // МНПК, Japan, February, 2022. С.338-341. [M.A.Zhanaliev, G.K.Kabdesheva. Modelirovanie dinamicheskoy ustojchivosti system electropredach neftegazovykh compleksov // MNPK, Japan, February, 2022. S.338-341.]
- 4 Электроэнергетика Казахстана и Атырауского региона (история, состояние и тенденции развития): Монография // В.А. Яшков, Н.Г. Джумамухамбетов. – Нур-Султан: ИП «Булатов А.Ж.», 2021. 258 с. [Electroenergetica Kazachstana I Atyrauskogo regiona (istorija, sostojanie I tendenzii rasvitija): Monografija // V.A.Yashkov, N.G. Dzhumamukhambetov. - Nur-Sultan: IP “Bulatov A.Zh.”, 2021. 258s.]
- 5 Динамическая устойчивость проектируемых электротехнических систем и систем электроснабжения: учебное пособие//сост. Р.У. Галеева – Казань. Госуд. Энергетич. Университет, 2019. – 120 с. [Dinamicheskaja ustojchivost' proectiruemykh elektrotehnicheskikh system electrosnabzhenija: uchebnoe posobie//sost. R.U.Galeeva - Kazan'skij gosudarstvennyj Energeticheskij Universitet, 2019. -120s.]
- 6 Н.Г. Джумамухамбетов, В.А. Яшков Качество промышленного электроснабжения: // LAP LAMBERT Academic Publising, Германия, 2015. – 148 с. [N.G.Dzhumamukhambetov, V.A.Yashkov. Kazhestvo promyshlennogo eectrosnabzhenija: // LAP LAMBERT Academic Publising, Germanija, 2015. – 148 s.]