

Ж.С. Серікқалиев¹, К.Ж. Калиева², А.Б. Хабдуллин³

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Ғ.Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

³С.Сейфуллина атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан
E-mail: zh.serikkaliyev@mail.ru

ТАРТЫЛЫМ ҚОСАЛҚЫ СТАНЦИЯЛАРДЫҢ КҮШТІК ТРАНСФОРМАТОРЛАРЫНЫҢ ІСТЕН ШЫҒУ ЫҚТИМАЛДЫҒЫН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Жабдықтың белгілі бір режимдерде қолдану, жөндеу, техникалық қызмет көрсету, сақтау және тасымалдау жағдайларында қажетті функцияларды орындау қабілетін сипаттайтын параметрлердің мәндерін уақыт бойынша белгіленген шектерде сақтау қасиетін жабдықтың сенімділігі деп атайды. Жағдайларының әрқайсысы апаттық істен шығуға немесе апаттық тоқтауға және жабдықтың ұзақ уақытқа істен шығуына әкелетін ақаулармен сипатталады.

Істен шығу моделі істен шығу процесінің математикалық сипаттамасы. Қондырғылардың істен шыққан элементтері көп жағдайда қалпына келтіріледі. Жабдықты қалпына келтіру және алдын-алу іс-шаралары қондырғының істен шығу мүмкіндігін толығымен жоймайды, алайда олардың істен шығу ықтималдығын төмендетеді, сенімділікті арттырады. Сенімділік моделі аталған процестердің математикалық сипаттамасы болып табылады. Сенімділік көрсеткіштерін есептеу үшін істен шығу моделі мен сенімділік моделдері қолданылады.

Мақалада тартылым қосалқы станциясының күштік трансформаторларының элементтерінің зақымдану түрлері, себептері мен ішкі әсерлерден туындаған күштік трансформаторлардағы ақаулардың негізгі түрлері мен жіктелулері қарастырылды.

Сонымен қатар мақалада Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясының тартылым қосалқы станцияларының күштік трансформаторларының істен шығу ықтималдықтары анықталды.

Түйінді сөздер. Электрмен жабдықтау, қауіпсіздік, тиімділік, пайдалану, күштік трансформатор, сенімділік, ыстен шығ ықтималдығы.

Кіріспе.

ГОСТР 27.002-2009 сәйкес «Техникадағы сенімділік. Терминдер мен анықтамалар»[2] кез келген электротехникалық жабдықтың жағдайы 4 топқа бөлінеді: жарамды, жұмыс істейтін, жұмыс істемейтін, шекті.

Нормативтік техникалық және жобалау-конструкторлық құжаттардың барлық қойылған талаптарына сәйкес келетін объектінің жай-күйі жарамды жай-күйі деп аталады.

Жұмыс жай-күйі - қажетті сыртқы ресурстар берілген жағдайда қажетті функцияны орындай алатын өнімнің жағдайы.

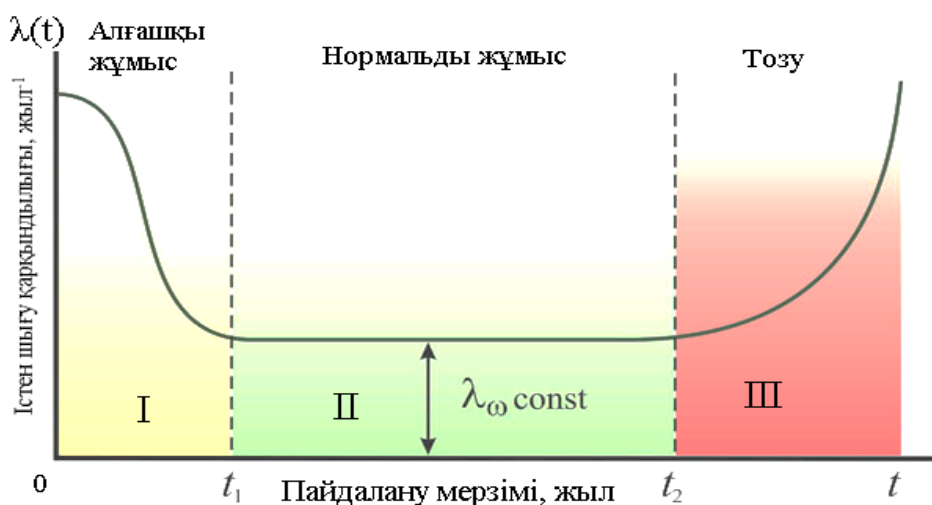
Жұмыс істемейтін жай-күйі – кез келген себеппен қажетті функцияны орындай алмайтын құрылғының немесе жүйенің жағдайы.

Шекті жай-күйі - оны одан әрі пайдалануға жол берілмейтін немесе қауіптілік себептері бойынша, экономикалық немесе экологиялық тұрғыдан тиімсіз болатын құрылғының немесе жүйенің жағдайы.

Материалдар мен тәсілдер.

1.1-суретте жұмыс кезінде істен шығу қарқындылығының өзгеру қисығы келтірілген. Бұл энергетикалық жабдықтар мен олардың көптеген элементтеріне, атап айтқанда тартылым қосалқы станцияларының электр жабдықтарына тән.

Істен шығу қарқындылығын үш кезеңге бөледі [3-4]. Алғашқы жұмыс кезеңінде $\lambda(t)$ функциясы жоғары мәнге ие болады. Көптеген электртехникалық құрылғылардың алғашқы іске қосылғаннан кейін істен шығуына алып келетін жасырын ақаулардың бар болуымен байланысты. Екінші кезең, қалыпты жұмыс кезеңі істен шығу қарқындылығының тұрақты болуымен немесе шамамен тұрақты мәндерге ие болуымен сипатталады. Қайтымсыз физика-химиялық құбылыстар материалдар мен бөлшектердің сапасының нашарлауы тозу кезеңіне жатады. Тозу кезеңде істен шығудың қарқындылығы артады.



1.1 сурет - Пайдалану кезінде істен шығу қарқындылығының өзгеруі

Өңдеу кезеңін қалыпты жұмыс ретінде қарастыруға болмайды. Екінші жағынан, жабдықты оның элементтерінің айтарлықтай ескіруі басталғанға дейін алдын-алуға болады. Мұндай жағдайларда $\lambda(t)=\lambda=const$ қабылдауға болады. Бұл жағдайда жұмыс істеу ықтималдығы, $P(t)$

$$P(t) = \exp^{-\lambda t}, \quad (1)$$

мұндағы λ -кенеттен істен шығу қарқындылығының орташа тұрақтысы; t -электр жабдықтарының жұмыс уақыты.

$Q(t)$ істен шығудың ықтималдығы

$$Q(t) = 1 - \exp^{-\lambda t}. \quad (2)$$

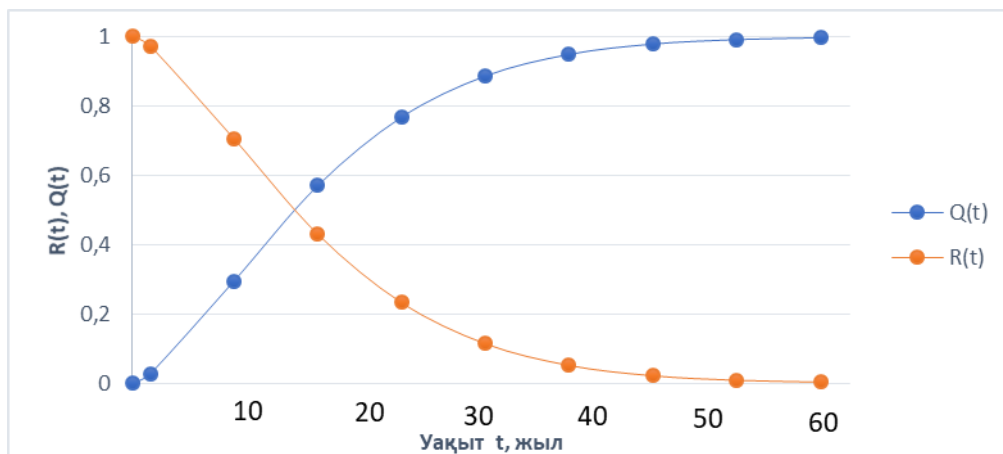
Орташа жұмыс уақыты (орташа істен шығу) t_0 өрнектен анықталуы мүмкін

$$t_0 = \frac{1}{\lambda}. \quad (3)$$

$Q(t)$ және $P(T)$ функцияларының графиктері 1.2-суретте көрсетілген.

(2) формуласымен көрсетілген заң экспоненциалды деп аталады. Оның негізгі қасиеті - жұмыс істеу ықтималдығы алдыңғы жұмыс уақытына байланысты емес, тек қарастырылып отырған уақыт аралығына байланысты [5]. Экспоненциалды заңға сәйкес оның таралуын күш трансформаторының сенімділігіне тікелей қолдануға болады.

Электрмен жабдықтау жүйесіндегі бүлінуге ұшырайтын негізгі элементтер: әуе желілері, күштік трансформаторлардың орамдары мен коммутациялық аппараттар.



1.2 сурет - Істен шығуды экспоненциалды бөлу кезінде істен шығу және жұмыс істемеу ықтималдығы

Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясының тартылым қосалқы станцияларында күштік трансформаторлардың істен шығуын талдаудың нәтижесі, қызмет көрсету мерзімі бірінші күрделі жөндеуге дейінгі мерзімге сәйкес келетін шамамен 12 жылды құрайтын трансформаторлардың зақымдануға ұшырағанын көрсетті.

Тартылым қосалқы станцияларының күштік трансформаторлары электр желілері мен өндірістегі трансформаторларға қарағанда неғұрлым ауыр жағдайларда жұмыс істейтін себепті жиі зақымдануларға ұшырайды [6].

Электрлендірілген теміржолдардың тартылым қосалқы станцияларының күштік трансформаторлары үшін ГОСТ 52719-2007 «Күштік трансформаторлар. Жалпы техникалық шарттар» сенімділік көрсеткіштеріне нақты баға бермейді. Осыған байланысты тартылым электрмен жабдықтау жүйесінде күштік трансформаторларды жай-күйіне мерзімді диагностика жүргізу бойынша іс-шаралар қолданылады.

Қазіргі таңда күштік трансформаторлардың қызмет ету мерзімін ұзарту бойынша шешімдердің нәтижесінде күштік трансформаторларда дамыған. Осыған байланысты трансформаторлар мен олардың жабдықтары жүктелмеген режимде жұмыс істейді, бұл өз кезегінде оның қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді.

Жұмыс кезінде күштік трансформатор әртүрлі сыртқы әсерлерге ұшырайды. Келесі сыртқы әсерлер ең маңызды әсер етеді: физикалық және химиялық ластану, жел, ылғалдандыру, температура режимінің өзгеруі [7, 8].

Қарағанды өлкесінің климаты жазы ыстық және құрғақ, қысы қарлы, желді және боранды. Облыс бойынша ауаның орташа жылдық температурасы солтүстіктен оңтүстікке қарай +2° С-тан +6°С-қа дейін көтеріледі. Шілденің орташа температурасы солтүстікте + 20°С, ал оңтүстікте +25°С. шілдедегі температураның абсолютті максимумы +37,+40°С. Орташа айлық температураның ауытқу амплитудасы 34-39°С жетеді, абсолютті жылдық амплитудасы 80-90°С жетеді.

Резонанс, гистерезис ілмегі, шамадан тыс жүктеме және т.б. себебінен күштік трансформаторлар ішкі әсерлерге де ұшырайды.

Күштік трансформаторлардың зақымдануының ең қауіпті түрі резонанстық құбылыстардан туындаған асқын кернеулер. Қысқа тұйықталу кезінде вакуумдық ажыратқышты қойылымы бар трансформатордың коммутациясы вакуумдық камерада доғаның қайта тұтануымен бірге жүруі мүмкін. Бұл жағдайда асқын кернеулер жүру жиілігі трансформатордың реттеу орамасының табиғи тербеліс жиілігімен сәйкес келген кезде пайда болады.

Кең жиілік диапазонында трансформатор қосылған желінің кіріс кедергісі төмен болса, резонанстық тербелістер орамдағы тербелістің табиғи жиіліктерінде пайда болады [9].

Күштік трансформаторлардың ішкі әсерлерден туындаған ақауларының негізгілері:

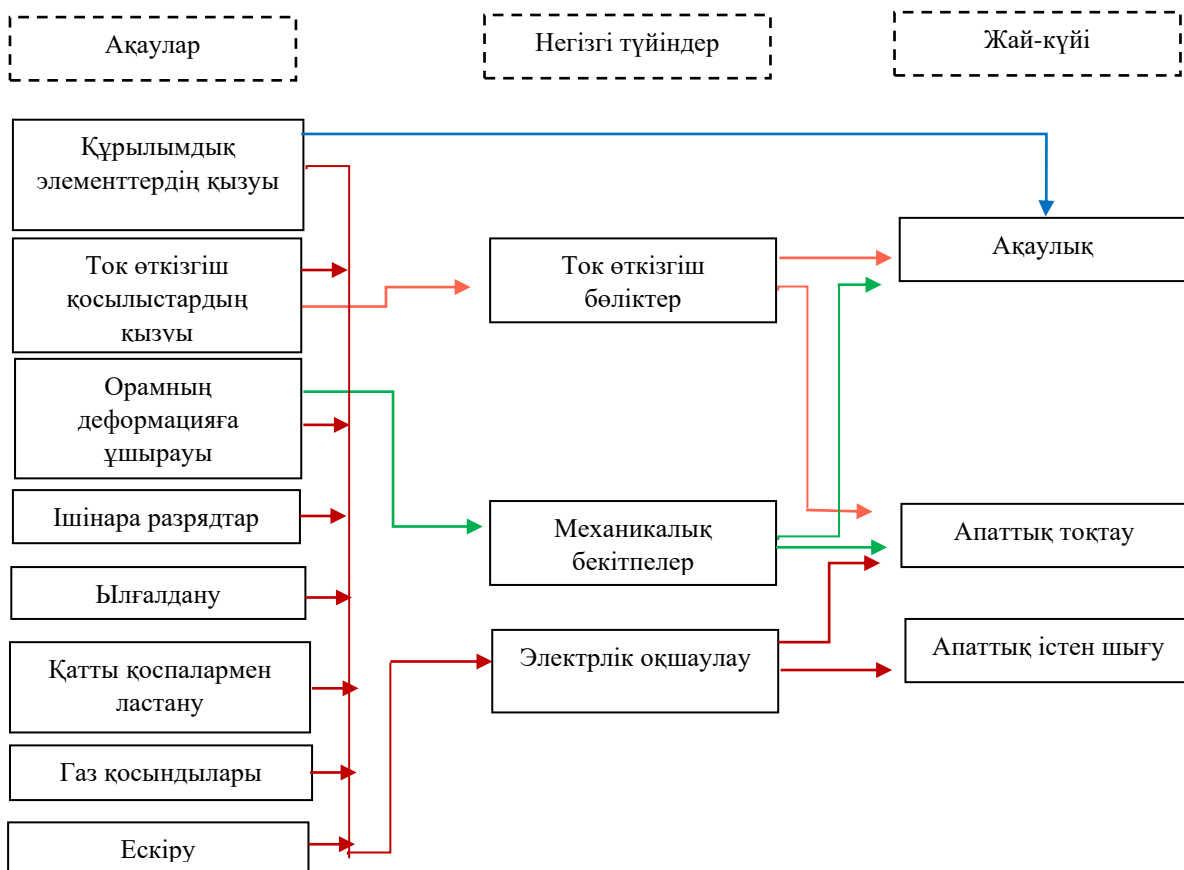
- орамдарда: қысқа тұйықталудың себебінен бұрылыстардың күйіп кетуі, қысқа тұйықталу кезіндегі деформацияларға ұшыраулар, ылғалдану мен ластану, механикалық және электрлік беріктіліктердің тозуы және сапасының төмендеуі;

- магниттік сымда: қысқа тұйықталу салдарынан өзектің қызуы;

- жүктеме кезінде реттеу құрылғыларында: түйіспелердің бүлінуі, окшаулағыш қалқаның сапасының бұзылуы, құрылғының герметизациясының төмендеуі, механикалық зақымдану;

- басқа түйіндерде: резервуардың герметикалық беріктілігінің бұзылуы, жанаспалы қосылыстардың қызып кетуі, майдың ағуы, герметикалық емес кірістердің ылғалдануы және ластануы, тығыздалған кірістерге шөгінділердің түсуі, тығыздалған кірістердегі майдың тозуы, сиффондардың қысымының төмендеуі.

Құрылымдық түрде күштік трансформаторлардың ішкі зақымдануының жіктелуі 1.3-суретте көрсетілген.



1.3 сурет – Күштік трансформатордың ішкі зақымданулардың жіктелуі

Трансформатор оқшаулауының термиялық тозуы трансформатор ресурсының төмендеуіне әкелетін факторлардың бірі. Аррениус Заңына сәйкес [10] оқшаулаудың қызмет ету мерзімі экспоненциалды Заңға бағынады:

$$A = e^{-(\alpha + \frac{\beta}{T})}, \quad (4)$$

мұндағы α , β -тұрақты;
 T - абсолютті температура.

Статистикалық мәліметтер бойынша күштік трансформаторлардың орамасының зақымдалуы – 52 %, кірістенің зақымдануы – 27 % құрайды. Трансформатор орамаларының зақымдану көрсеткіші оның элементтеріне сәйкес, келесі көрсеткіштермен бөлінеді: негізгі оқшаулауының зақымдануы – 12%, катушкалары мен катушкалар арасындағы тұйықталулар – 28 %, термиялық және динамикалық әсерлердің себебінен зақымданулар – 12 % және басқа зақымданулар – 48 % құрайды (1.4 сурет) [11].



1.4 сурет-Трансформатор орамдарының зақымдану пайызы

Тартылым қосалқы станциялардың күштік трансформаторларын (автотрансформаторлар) жөндеу Қазақстан Республикасының темір жолдарын техникалық пайдалану қағидаларының талаптарына сәйкес өлшеулермен, сынаулармен және сыртқы қарап-тексерумен қажеттілігіне қарай айқындалатын олардың техникалық жай-күйі негізінде орындалады.

Деректерге сәйкес, Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясының тартылым қосалқы станцияларының пайдаланылатын күштік трансформаторларының паркі 220 кВ – 4 трансформатордың, тартылым қосалқы станцияларының күштік трансформаторларының 10 бірлігін, 110 кВ-6 трансформаторларды құрайды.

Болжамды зақымданулармен бақылауда 10 тартылым трансформаторы бар, оның ішінде нормативтік пайдалану мерзімі - 25 жылдан астам – 7 трансформатор және 25 жылға дейін – 3 трансформатор [1].

Қазіргі уақытта Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясында қуаты 40 МВА күштік трансформаторлар пайдаланылады. Қуаты 40 МВА Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясы бойынша тартылым қосалқы станциялардың күштік трансформаторларының тізбесі 1.1-кестеде келтірілген.

1.1 кесте - Күштік трансформаторлардың қызмет ету мерзімі туралы ақпарат

№	Тартылым қосалқы станцияларының атауы	Тартылым трансформаторының типі	Орнатылған жылы	Қосалқы станцияның іске қосылған жылы
1	ТП «Қарағанды-Сортировочная»	ТДТНЖ-40/110/27,5/10,5	1978	1964
		ТДТНЭ-40/110/27,5/10,5	1970	
2	ТП «Шокай»	ТДТНЖ-40/110/27,5/10,5	2013	1964
		ТДТНЖ-40/110/27,5/10,5	2013	
3	ТП «Қарабас»	ТДТНЖ-40/115/38,5/27,5	1981	1981
		ТДТНЖ-40/115/38,5/27,5	1981	
4	ТП «Осакаровка»	-	-	2009
5	ТП «Қарамұрын»	ТДТНЖ-40/220/38,5кВ/27,5	1981	1981
		ТДТНЖ-40/220/27,5/10,5	2021	
6	ТП «Шептікөл»	ТДТНЖ-40/220/38,5кВ/27,5	1964	1964
		ТДТНГ-40/220/35/27	1986	

01.01.2022 ж. жағдай бойынша қызмет ету мерзімі 30 жылдан асатын 7 күштік трансформатор пайдалануда.

Нәтижелер.

Келітірілген ақпараттарды пайдалана отырып, Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясының күштік трансформаторларының істен шығу және жұмыс істемеу ықтималдығын анықтаймыз.

ТП «Қарағанды Сортировочная»

ТДТНЖ-40/110/27,5/10,5

t = 14 жыл

$\lambda = 0,010$ 1/жыл

$$P(t) = \exp^{(-0,010 \cdot 14)} = 0,869$$

$$Q(t) = 1 - 0,869 = 0,131$$

$$t_0 = \frac{1}{0,010} = 100 \text{ жыл}$$

ТП «Шокай»

ТДТНЖ-40/110/27,5/10,5

t = 9 жыл

$\lambda = 0,007$ 1/жыл

$$P(t) = \exp^{(-0,007 \cdot 14)} = 0,906$$

$$Q(t) = 1 - 0,906 = 0,094$$

$$t_0 = \frac{1}{0,007} = 140 \text{ жыл}$$

ТП «Шептікөл»
 ТДТНЖ-40/220/38,5КВ/27,5
 t = 58 ЖЫЛ
 $\lambda = 0,075 \text{ 1/ЖЫЛ}$

$$P(t) = \exp(-0,075 \cdot 58) = 0,012$$

$$Q(t) = 1 - 0,012 = 0,987$$

$$t_0 = \frac{1}{0,075} = 13 / \text{ЖЫЛ}$$

ТДТНГ-40/220/35/27
 t = 36 ЖЫЛ

$$\lambda = 0,042 \text{ 1/ЖЫЛ}$$

$$P(t) = \exp(-0,042 \cdot 36) = 0,220$$

$$Q(t) = 1 - 0,220 = 0,780$$

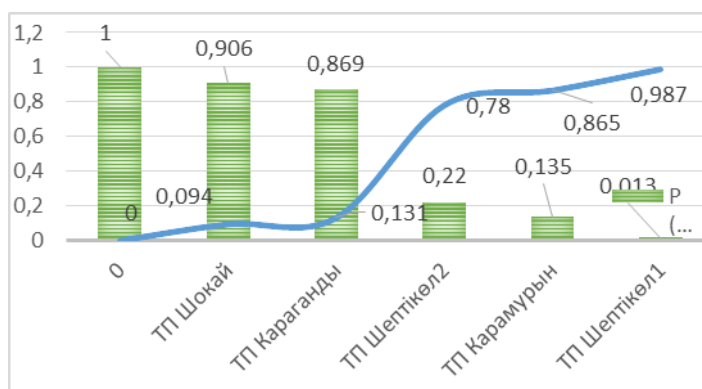
$$t_0 = \frac{1}{0,042} = 23,8 / \text{ЖЫЛ}$$

ТП «Қарамұрын»
 ТДТНЖ-40/220/38,5кВ/27,5
 t = 40 ЖЫЛ
 $\lambda = 0,050 \text{ 1/ЖЫЛ}$

$$P(t) = \exp(-0,050 \cdot 40) = 0,135$$

$$Q(t) = 1 - 0,135 = 0,864$$

$$t_0 = \frac{1}{0,050} = 20 \text{ ЖЫЛ}$$



1.5 сурет - Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясының тартылым қосалқы станцияларының күштік трансформаторларының істен пықпай жұмыс істеуі мен істен шығу ықтималдығы

Талқылау.

Қазіргі уақытта негізгі жоғары вольтты жабдықтың сенімділігін қамтамасыз етудің қолданыстағы жүйесі нақты қажеттілікке қарамастан және көбінесе экономикалық орындылыққа нұқсан келтіре отырып, қатаң реттелген көлемдер мен сынақтар, жөндеулердің жиілігі арқылы техникалық жағдайды сақтауға бағытталған. Бұл, ең алдымен, дәстүрлі бақылау әдістерімен дамып келе жатқан ақауларды ерте анықтаудың төмен тиімділігіне байланысты.

Осыған байланысты ықтималды ақпарат жағдайында күштік трансформаторлардың жай-күйін болжау және келесі уақыт аралығындағы объектінің техникалық жай-күйін анықтау және оның пайдалану сенімділігін арттыру үшін параметрлердің шекаралық мәндерін нақтылау әдістерін әзірлеу өзекті және уақтылы болып табылады. Күштік трансформаторларының қалдық ресурсын болжау үшін, алынған мәліметтердің нақты болуы үшін виртуалды диагностикалық әдісті жүзеге асыратын жасанды нейрондық желілерді [12] пайдалану керек.

Қортынды.

Жүргізілген жұмыстардың нәтижесі тартылым қосалқы станциялардың электр жабдықтары жұмысының сенімділігін арттыру бойынша іс-шаралар қажеттігін көрсетті. Сол себепті Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясының тартылым қосалқы станцияларында қызмет ету мерзімін өтеген трансформаторлар мен ажыратқыштарды жаңаларына ауыстыру, оқшауламаларды заманауи полимерлі типтерге ауыстыру, тартылым қосалқы станциялардың жабдықтарын диагностикалаудың заманауи және жоғары дәлдіктегі аспаптарымен дистанция қызметкерлерін жарақтандыру, тартылым қосалқы станциялардың жерге тұйықтау контурларын толық тексеруден өткізу, инфрақұрылымды күтіп ұстау шығындары мен жабдықтардың қалыпты жұмыс істеуі үшін қажетті шығындарды арттыру қажет.

Аталған іс-шаралар техникалық сипатқа ие, және ақаулар анықталған немесе олардың пайда болу шарттары анықталған кезде іске асырылуы мүмкін.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Қарағанды электрмен жабдықтау дистанциясының техникалық құралдарының болуы туралы есеп және техникалық сипаттамасы. 2020-2021 ж.

[2] ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – М.: Изд – во стандартов, 2007.

[3] Аполлонский, С. М., Куклев Ю. В. Надежность и эффективность электрических аппаратов: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 448 с.

[4] Савина, Н.В. Надежность систем электроэнергетики: учебное пособие. – Благовещенск, 2011 – 269 с.

[5] Гук, Ю. Б. Анализ надежности электроэнергетических установок// Ю. Б. Гук – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.

[6] Костюков, А.В. Анализ токов короткого замыкания силовых трансформаторов//А.В. Костюков//Труды Ростовского государственного университета путей сообщения – Научно-технический журнал. – Ростов-наДону, 2010. – №2 – С. 165-169.

[7] Туйгунова, А.Г. О необходимости мониторинга состояния изоляции силовых трансформаторов тяговых подстанций с учетом влияния климатических факторов//А.Г. Туйгунова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, 2011. – №4. – С. 122-127.

[8] Аракелян, В.Г. Диагностика состояния изоляции маслонаполненного оборудования по влагосодержанию масла / В.Г. Аракелян // Электротехника. – М., 2004. – №3. – С. 34-39.

[9] Ларин, В.С. Подход к анализу резонансных явлений и перенапряжений, возникающих при взаимодействии силового трансформатора с электрической сетью / В.С. Ларин, А.В. Жуйков, Д.А. Матвеев // Энергетик. – М., 2013. – №12. – С. 21-30.

[10] Лозовский В.В. Математическая модель технического ресурса силового трансформатора, учитывающая интенсивность и условия эксплуатации//В.В. Лозовский, А.В. Лозовский, Н.В. Руденко, В.Н. Соловьёв // Вестник РГУПС. – Ростов на Дону, 2010. – №4. – С. 102-110.

[11] Хренников, А.Ю. Анализ повреждаемости обмоток силовых трансформаторов при коротких замыканиях//А.Ю. Хренников, А.В. Рубцов, В.А. Передельский, А.А. Сафонов, В.А. Якимов//Энергетик. – М., 2005. – №11. – с. 8-10.

[12] Воронов, И.В. Краткосрочное прогнозирование электропотребление электропотребления энергосистем с помощью искусственных нейронных систем//И.В. Воронов, Е.А. Политов//Электрические станции. – М., 2009. – №12. – С. 15-18.

Zhumazhan Serikkaliyev, doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, zhumazhan_93@mail.ru

Kazima Kaliyeva, candidates of technical sciences, associate professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, kazima_6507@mail.ru

Asset Khabdullin, PhD, associate professor, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan, aaset85@mail.ru

DETERMINATION OF THE PROBABILITY OF FAILURE OF POWER TRANSFORMERS OF TRACTION SUBSTATIONS

Abstract. The property of equipment to preserve the values of parameters characterizing the ability of equipment to perform the necessary functions in conditions of use, repair, maintenance, storage and transportation in certain modes, within the limits set by time, is called equipment reliability. Each of the cases is characterized by malfunctions that lead to an emergency failure or an emergency stop and a prolonged failure of the equipment.

The failure model is a mathematical description of the failure process. Out-of-order elements of installations are restored in most cases. Restoration and preventive measures of equipment do not completely exclude the possibility of equipment failure, but reduce the likelihood of their failure, increase reliability. The reliability model is a mathematical characteristic of the mentioned processes. Failure models and reliability models are used to calculate reliability indicators.

The article considers the types of damage to the elements of power transformers of a traction substation, the causes and main types and classifications of defects of power transformers caused by internal influences.

The probabilities of failure of power transformers of traction substations of the Karaganda power supply distance were also revealed.

Keywords. Power supply, safety, efficiency, operation, power transformer, reliability, probability of failure.

Жұмажан Сериккалиев, докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, zhumazhan_93@mail.ru

Казима Калиева, к.т.н., ассоциированный профессор, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, kazima_6507@mail.ru

Асет Хабдуллин, PhD, ассоциированный профессор, Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, aset85@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Аннотация. Свойство оборудования сохранять значения параметров, характеризующих способность оборудования выполнять необходимые функции в условиях применения, ремонта, технического обслуживания, хранения и транспортировки в определенных режимах, в пределах, установленных временем, называется надежностью оборудования. Для каждого из случаев характерны неисправности, приводящие к аварийному выходу из строя или аварийной остановке и длительному выходу из строя оборудования.

Модель отказа математическое описание процесса отказа. Вышедшие из строя элементы установок в большинстве случаев восстанавливаются. Восстановительные и профилактические мероприятия оборудования не полностью исключают возможность выхода из строя оборудования, однако снижают вероятность их выхода из строя, повышают надежность. Модель надежности-это математическая характеристика упомянутых процессов. Для расчета показателей надежности используются модели отказов и модели надежности.

В статье рассмотрены виды повреждений элементов силовых трансформаторов тяговой подстанции, причины и основные виды и классификации дефектов силовых трансформаторов, вызванных внутренними воздействиями.

Также были выявлены вероятности выхода из строя силовых трансформаторов тяговых подстанций Карагандинской дистанции электроснабжения.

Ключевые слова. Электроснабжение, безопасность, эффективность, эксплуатация, силовой трансформатор, надежность, вероятность выхода из строя.
