

TRANSFORMATOR TEBRANISH TEZLANISHI VA UNING QOLGAN ISHLATISH MUDDATI O'RTASIDAGI BO'G'LIQLIKNING ILMIY ASOSLASHTIRILISHI



Ataulloyev N.O.,
Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, PhD,
dotsent



Tog'aymurodov S.Z.,
Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti,
doktorant

Annotatsiya. Maqola moyli kuch transformatorlarida ish jarayonida paydo bo'ladigan mexanik titrashning aslida qanchalik xavfli omil ekanini ilmiy jihatdan ochib beradi. Titrash faqat "shovqin" yoki tashqi belgi emas – u sekin-asta uskuna mexanik resursini yemiradigan, xizmat muddatini qisqartiradigan jiddiy degradatsiya manbai sifatida ko'riladi. Maqolada titrashning bosh sabablarini aniq sanab o'tiladi: vaqt bo'yicha beqaror elektromagnit maydon keltirib chiqaradigan dinamik kuchlar, qisqa tutashuv paytidagi kuchli elektrodinamik zarbalar, uzoq ishlash davomida magnit o'zak va chulg'am bloklarida to'planadigan siljish va bo'shashlar, shuningdek tashqi mexanik ta'sirlar – transport paytidagi zarbalar, yer silkinishi yoki yaqin atrofdagi tebranish manbalari. Tajribalarda titrash tezlanishi sinusoidal model orqali ifodalangan va yuqori aniqlikdagi akselerometrlar bilan o'lchangan. Shu asosda tezlanishning effektiv qiymati hamda chastota spektri aniqlangan. Mexanik kuchlanishlarni hisoblashda nur nazariyasi qo'llanib, chulg'am elementlarida eng yuqori normal va kesuvchi kuchlanishlar topilgan. Keyin bu kuchlanishlar charchash xatti-harakatini tavsiflovchi empirik bog'lanishlar bilan bog'lanib, charchash sikllari soniga "aylantirilgan". Umumiy zarar esa chiziqli zarar to'planishi qoidasi orqali baholangan – ya'ni har bir yuklama hissasi jamlanib, eskirishning yig'indi ta'siri ko'rsatilgan. Amaliy tomonda, 20 MVA quvvatli real transformator misolida turli darajadagi titrash tezlanishlari (yengildan kuchligacha) uchun hisoblar bajarilgan. Natija ravshan: titrash kuchaygan sari mexanik kuchlanishlar keskin o'sadi, charchash chegarasi pasayadi va xizmat muddati sezilarli qisqaradi. Bu bog'liqlik raqamli jadval va grafiklar bilan ishonchli tasdiqlangan. Titrash hodisasi yakunda transformatorning haqiqiy mexanik resursini "yeb boradigan" asosiy omillardan biri ekanligi aniqlandi. Taklif etilgan matematik model va hisoblash metodikasi esa real vaqt monitoringi, qoldiq xizmat muddatini oldindan baholash va profilaktik ta'mirlashni rejalash uchun qulay, ilmiy asoslangan diagnostik vosita sifatida tavsiya etiladi.

Kalit so'zlar: moyli kuch transformatori, titrash (vibratsiya) diagnostikasi, mexanik barqarorlik, titrash tezlanishi, akselerometr o'lchovlari, sinusoidal tebranish, mexanik kuchlanish, charchash jarayoni, kumulyativ zarar, real vaqt monitoringi

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВИБРОУСКОРЕНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРА И ЕГО ОСТАТОЧНЫМ РЕСУРСОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Атауллоев Н.О., Тогаймуродов С.З.

Навоийский государственный горно-технологический университет, Республика Узбекистан

Аннотация. В статье с научной точки зрения раскрывается, насколько на самом деле опасным фактором является механическая вибрация, возникающая в процессе работы масляных силовых трансформаторов. статья с научной точки зрения раскрывается, насколько на самом деле опасным является механическая вибрация, возникающая в процессе работы масляных силовых трансформаторов. Вибрация – это не просто "шум" или внешний признак-она рассматривается как источник серьезной деградации, которая постепенно разъедает механический ресурс оборудования, сокращая срок его службы. В статье четко перечислены причины возникновения вибрации головки: динамические воздействия, вызванные нестабильным во времени электромагнитным полем, сильные электродинамические удары при коротких замыканиях, сдвиги и релаксация, накопленные в магнитопроводе и свинцовых блоках при длительной эксплуатации, а также внешние механические воздействия – удары при транспортировке, сотрясении грунта или поблизости. источники вибрации. В статье четко перечислены причины возникновения вибрации головки: динамические воздействия, вызванные нестабильным во времени электромагнитным полем, сильные электродинамические удары при коротких замыканиях, сдвиги и релаксация, накопленные в магнитопроводе и свинцовых блоках при длительной эксплуатации, а также внешние механические воздействия – удары при транспортировке, сотрясении грунта или поблизости. источники вибрации. В экспериментах ускорение вибрации выражалось через синусоидальную модель и измерялось акселерометрами с высоким разрешением. Исходя из этого, было определено эффективное значение ускорения, а также частотный спектр. При расчете механических напряжений была применена теория света, и самые высокие нормальные и режущие напряжения были найдены в элементах трубки. сходя из этого, было определено эффективное значение ускорения, а также частотный спектр. При расчете механических напряжений была применена теория света, и самые высокие нормальные и режущие напряжения были найдены в элементах трубки. Затем эти напряжения были связаны эмпирическими связями, описывающими поведение истощения, и "преобразованы" в количество циклов истощения. С другой стороны, общий ущерб оценивался с

помощью правила накопления линейных потерь, то есть суммарного эффекта износа, суммированного по каждому вкладу нагрузки. С практической стороны на примере реального трансформатора мощностью 20 МВА были выполнены расчеты для различных уровней ускорений вибрации (от легких до мощных). С практической стороны на примере реального трансформатора мощностью 20 МВА были выполнены расчеты для различных уровней ускорений вибрации (от легких до мощных). Результат очевиден: по мере увеличения вибрации резко возрастает сторона на примере реального трансформатора мощностью 20 МВА были выполнены расчеты для различных уровней ускорений вибрации (от легких до мощных). Результат очевиден: по мере увеличения вибрации резко возрастают механические напряжения, снижается порог усталости, значительно сокращается срок службы. Эта зависимость надежно подтверждается численными таблицами и графиками. В конечном итоге было обнаружено, что явление вибрации является одним из основных факторов, "съедающих" реальный механический ресурс трансформатора. С другой стороны, предлагаемая математическая модель и метод расчета рекомендуются в качестве удобного научно обоснованного диагностического инструмента для мониторинга в реальном времени, предварительной оценки остаточного срока службы и планирования профилактического ремонта.

Ключевые слова: масляный силовой трансформатор, диагностика вибрации (вибрации), механическая стабильность, ускорение вибрации, измерения акселерометра, синусоидальная вибрация, механическое напряжение, процесс усталости кумулятивные повреждения, прогноз срока службы, мониторинг в реальном времени

SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TRANSFORMER VIBRATION ACCELERATION AND ITS REMAINING USEFUL LIFE

Ataullayev N.O., Togaymurodov S.Z.

Navoi State University of Mining and Technologies, Republic of Uzbekistan

Abstract. From a scientific point of view, the article reveals how dangerous the mechanical vibration that occurs during the operation of oil-fired power transformers really is. From a scientific point of view, the article reveals how dangerous the mechanical vibration that occurs during the operation of oil-fired power transformers really is. Vibration is not just a "noise" or an external sign - it is considered as a source of serious degradation, which gradually corrodes the mechanical resource of the equipment, reducing its service life. The article clearly lists the causes of head vibration: dynamic impacts caused by a time-unstable electromagnetic field, strong electrodynamic shocks during short circuits, shifts and relaxation accumulated in the magnetic circuit and lead blocks during prolonged operation, as well as external mechanical impacts such as impacts during transportation, shaking of the ground or nearby. sources of vibration. Tatiana clearly lists the causes of head vibration: dynamic impacts caused by a time-unstable electromagnetic field, strong electrodynamic shocks during short circuits, shifts and relaxation accumulated in the magnetic circuit and lead blocks during prolonged operation, as well as external mechanical impacts such as impacts during transportation, shaking of the ground or nearby. sources of vibration. In the experiments, vibration acceleration was expressed through a sinusoidal model and measured with high-resolution accelerometers. Based on this, the effective acceleration value was determined, as well as the frequency spectrum. When calculating mechanical stresses, the theory of light was applied, and the highest normal and cutting stresses were found in the tube elements. Based on this, the effective acceleration value was determined, as well as the frequency spectrum. When calculating mechanical stresses, the theory of light was applied, and the highest normal and cutting stresses were found in the tube elements. These stresses were then linked by empirical links describing the depletion behavior, and "transformed" into the number of depletion cycles. On the other hand, the total damage was estimated using the linear loss accumulation rule, that is, the total wear effect summed up for each load contribution. On the practical side, using the example of a real transformer with a capacity of 20 MVA, calculations were performed for various levels of vibration accelerations (from light to powerful). On the practical side, using the example of a real transformer with a capacity of 20 MVA, calculations were performed for various levels of vibration accelerations (from light to powerful). The result is obvious: as the vibration on the other side increases dramatically, calculations were performed for various levels of vibration accelerations (from light to powerful) using the example of a real transformer with a capacity of 20 MVA. The result is obvious: as vibration increases, mechanical stresses increase dramatically, the fatigue threshold decreases, and the service life is significantly shortened. This dependence is reliably confirmed by numerical tables and graphs. In the end, it was found that the phenomenon of vibration is one of the main factors that "eat up" the real mechanical life of the transformer. On the other hand, the proposed mathematical model and calculation method are recommended as a convenient, scientifically based diagnostic tool for real-time monitoring, preliminary assessment of the remaining service life and planning preventive repairs.

Keywords: oil power transformer, vibration diagnostics, mechanical stability, vibration acceleration, accelerometer measurements, sinusoidal vibration, mechanical stress, fatigue process, cumulative damage, service life forecast, real-time monitoring, transformer resource estimation

Kirish

Moyli transformatorlarni asosiy mexanik holati haqida xulosa beruvchi eng birlamchi parametr uning titrash tezlanishining intensivligi hisoblanadi. Titrash intensivligi qancha yuqori bo'lsa ushbu transformatorning magnit o'zaklari bilan bog'liq muammolari hamda chulg'amlarning tarangligi bilan bog'liq nuqsonlar mavjudligini anglatadi. Titrash tezlanishining real vaqt rejimidagi aniq qiymatini bilish yoki monitoringi orqali kuzatish ushbu moyli transformatorning mexanik holatini aniq tavsiflaydi. Simplice Akre hamda Issouf Fofana olib borgan tadqiqotlari davomida optik sensorlardan foydalanib chulg'amlarning titrash tezlanishini monitoring qilish bo'yicha o'z izlanishlarini olib borgan. Tadqiqot davomida faqatgina joriy zarar aniqlangan va kumulyatsiya ulushlari umumiy jamlash bo'yicha izlanishlar yetarlicha olib borilmagan. Titrash tezlanishining kumulyatsiyasi

vaqt o'tishi davomida transformatorning xizmat muddatini aniq kamaytiradi va uning barqaror ishlashi ishonchligini pasaytiradi. Shu sababli ham kumulyatsiya ulushlari yig'indisini aniq tavsiflash dolzarb hisoblanadi.

Moyli transformatorlarning ishonchli va uzoq muddatli barqaror ishlashi ularning mexanik, termik va elektr barqarorligiga bevosita bog'liq hisoblanadi. Amaliyotda transformatorlarni turli tashqi va ichki omillar ta'sirida titrash (vibratsiya) hodisasiga duch kelinadi va bu titrash odatda salbiy yakunga yetmagunicha jiddiy e'tibor qaratilmaydi. Titrashlar odatda transformatorlarning elektromagnit kuchlarning beqarorligi, qisqa tutashuv jarayonlari, magnit o'zakning mexanik aksial va radial kuchlar ta'sirida siqilishi, shuningdek, o'ramlarning joyidan siljishi natijasida yuzaga keladigan o'zgarishlarning natijasi sifatida baholanadi. Bundan tashqari tashqi mexanik ta'sirlar natijasida

o'rnatish jarayonlari paytidagi silkinish, o'rnatishdagi noto'g'ri mahkamlash va birlashtirish holatlari ham titrash intensivligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [1].

Titrash tezlanishining intensivligi ortishi hamda titrash tezlanishining me'yoriy ko'rsatkichlarida bo'lmisligi transformatorning mexanik qismlarida qo'shimcha mexanik stresslarning paydo bo'lishiga olib keladi. Natijada transformatorlarning ichki va tashqi izolyatsiya tizimi tezroq yemirilishi va eskirishi, o'ramlarda mikroyoriqlar paydo bo'lishi, mexanik shikastlanishlarni birin ketin paydo bo'lishi va transformator moyning dielektrik xossalari ham sekin asta yomonlashishi ayni titrash ta'sirida yuzaga keladi. Titrash sabablari tufayli dielektrik moyning qovushqoqlik darajasi o'zgarib borishi natijasida transformatorning xizmat muddatini sezilarli darajada qisqartiradi. Xizmat muddati qisqarishining yuzaga kelishi va oqibatlarini baholash transformatorlarning texnik holatini real vaqt rejimida monitoring qilishdagi muhim faktorlardan biri hisoblanadi [2].

Titrash tezlanishining intensivligini aniq ko'rsatib beradigan transformatorning sovutish tizimi ham eng muhim omillar qatoridan sana-

ladi. Sovutishning majburiy yoki tabiiy holatda bo'lishi ONAN va ONAF yoki ON,AF ekanligidan xulosalanib moyli transformatorning titrashi o'zgaradi. Tanlab olingan tadqiqot obyekti ONAF sovutish tizimida ishlaganligi sababli ushbu transformator kuzatiladigan titrash intensivligi odatdagidan ancha yuqori va baland.

Metodlar

Transformatorlarning titrashining xizmat qilish muddatiga ta'sirini bir necha faktorlarga asoslanib xulosa qilish mumkin. Titrash natijasida hosil bo'ladigan titrash garmonikasi sinusoidal shaklda tebranishini hisobga olinishiga asosiy omil, ushbu titrashni yuzaga keltiradigan parametrlar sinus qonuni bo'yicha tebranishidir. Aniqlangan tezlanishning haqiqiy ta'sir etuvchi qiymatidan foydalanib transformator-da hosil bo'ladigan tezlanish unga qancha inersiya berishi va qanchaga egiltira olishini ampletudaviy qiymatlarini hisoblanadi. 1-jadvalda quvvati 20MVA li transformatorning titrash intensivligi uning qanday holatda ekanligini hamda titrash tezlanishlari transformator uchun xavfli va xavfsiz ekanligi normalari ish jarayonidan kelib chiqib keltirilgan [3].

1– jadval

20MVA lik transformatorning titrash normalari

Holat	α (mm/s)	a (m/s ²)	$a(g)$
Nominal (maqsad)	1.2	0.754	0.077
Past-normal	0.8	0.503	0.051
Yuqori-ogohlantirish	1.8	1.131	0.115
Tekshiruv talab etiladi	≥ 2.5	≥ 1.571	≥ 0.160

Yuqoridagi jadvalga asosan moyli transformatorning titrashida titrash tezlanishi natijasida yuzaga keladigan mexanik zo'rliqning miqdori aniqlash uchun tebranishdagi o'ram va korpus orasidagi bo'shliq segment egilib, uning dinamik egilish kuchlanishi paydo bo'ladi. Shu maksimal egilish kuchlanishini baholab olsak titrash natijasida yuzaga keladigan mexanik kuchlanish qiymatini aniqlashga erishamiz. Buni aniqlashda Euler Bernoullining titrash nazariyasi asosida aniqlangan, titrashning tayanch yoki o'qqa beradigan mexanik kuchlanishini aniqlash teoremasidan foydalanildi. Transformator chulg'amlarining har bir uzunligiga titrashning inersiya kuchi ta'sir ko'rsatganligi sababli transformatorning chiziqli massa zichligini aniqlandi [4].

Natijalar va muhokama

Titrash natijasida yuzaga keladigan egilish momentining eng katta qiymatini aniqlash titrashning ampletuda qiymati qanday mexanik kuchlanish hosil bo'lishini anglatadi. Euler Bernoullining titrash nazariyasiga asoslanib titrashdan yuzaga keladigan eng katta moment aniqlandi [5].

2– jadval

20MVA transformatorlardan olingan titrash parameterlari

a (m/s ²)	α (mm/s)	a (g)	F (kN) / 1 t	F (kN) / 30 t	σ (MPa) / 1 t $S=0.03$ m ²	σ (MPa) / 30 t $S=0.03$ m ²
1.70	2.7056	0.1733	1.70	51.00	0.0570	1.7000
1.90	3.0239	0.1939	1.90	57.00	0.0630	1.9000
2.00	3.1831	0.2039	2.00	60.00	0.0670	2.0000
2.10	3.3423	0.2143	2.10	63.00	0.0700	2.1000
2.20	3.5014	0.2244	2.20	66.00	0.0730	2.2000
2.30	3.6606	0.2347	2.30	69.00	0.0770	2.3000
2.40	3.8197	0.2449	2.40	72.00	0.0800	2.4000
2.50	3.9789	0.2550	2.50	75.00	0.0830	2.5000

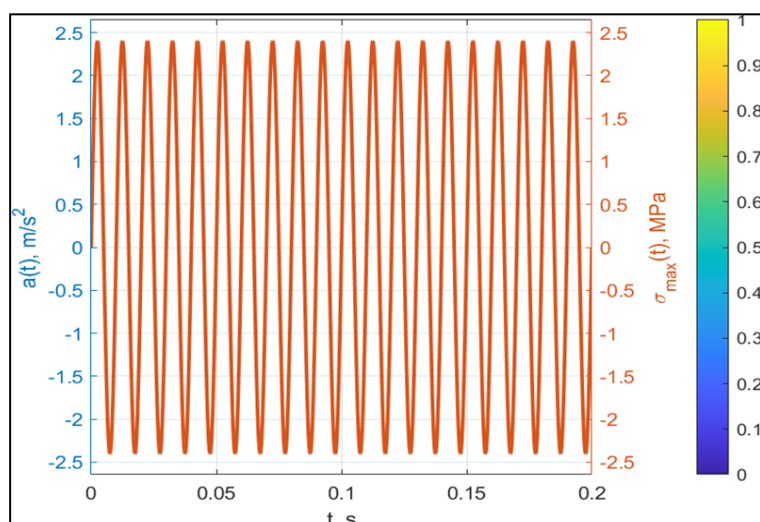
2– jadvalda 20MVA li transformatorlardan olingan titrash natijalari aks ettirilgan hamda bu tirashlarlar g va tezlik birliklarda ham ifodalangan. Ushbu titrashning qiymatlaridan kelib chiqib mexanik umrning barqarorligi ham o'zgaradi [6].

1– rasmda transformator-da yuzaga keladigan titrash tezlanishining garmonikasi tekshirilgan hamda u 0.2 vaqt oralig'ida aniqlanganligi uchun faqat shu vaqt oralig'idagi mexanik kuchlanish va tezlanish qiymati ifodalangan. Umuman olganda transformatorlarda titrash tezlanishining garmonikasi sinusoidal ekanligini 1– rasmda ko'rish mumkin hamda titrash tezlanishining o'zgarishi sinusoidal

zanjining tegishli qiymatlari o'zgarishi bilan ortishi yoki kamayishi aniq aks ettirilishi bilan aniqlandi [7].

Keyingi qadamda titrashdan keladigan zararning ulush miqdorini aniqlab olinadi. Zarar, shikastlanish kabi kamayuvchi va vaqt o'tishi bilan eskirish darajasini aniqlash ko'p hollarda Miner qonuniga asosan amalga oshiriladi. Shunga asosan transformatorga titrash orqali yetkaziladigan zararni hisoblashda Miner qonunidan foydalanildi [8].

$$D = \sum_{i=0}^k \frac{n_k}{N(\sigma_a)} \quad (1)$$



1-rasm. Tirash tezlanishi va shu tirash natijasida yuzaga keladigan mexanik kuchlanishning bog'lanishi

bu yerda: n_k – transformatorning nominal holdagi titrashining sikllari soni, t_a ; D titrash natijasida yuzaga keladigan kumulyativ zarar ulush miqdori; transformatorning joriy holatdagi titrashi natijasidagi sikllar soni, t_a .

Aniqlangan 1 ifoda birlik sikl uchun bo'lib, kumulyativ zarar vaqt o'tishi bilan o'zgarishini hisobga oladigan bo'lsak uning vaqtga bog'liqlik integral ifodasi quyidagicha aniqlandi:

$$D(t) = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=0}^k \frac{n_k(t)}{N(\sigma_a)(t)} dt \quad (2)$$

Hosil qilingan 2-formula t_1 va t_2 vaqtlar oralig'ida yuzaga keladigan kumulyativ zarar ulushlarini hisoblaydi. Agar bog'lanishni tebranishning chastotasi va tebranish davri bilan ifodalaydigan bo'lsak charchash mustahkamlik koeffitsienti har bir sikl uchun inobatga olinib titrash tezlanishi natijasida yuzaga keladigan kumulyativ zarar ulushini aniqlashning yakuniy ifodasi hosil qilinadi.

$$D(t) = \frac{fT}{K} \left[\frac{3\sqrt{2}(\rho_a S)L^2}{h^2} a_{eff} \right]^m \quad (3)$$

Hosil bo'lgan ketma ketlik asosida shikastlanishdan keyingi qolgan ummi quyidagicha hisoblandi:

$$L_q = L_0 \cdot (1 - D_v(t)) \quad (4)$$

bu yerda: L_q – titrashdan keyin qolgan resursning umri, yillarda; L_0 – dastlabgi resurning kafolatlangan umri, yillarda; $D_v(t)$ – titrashdan yuzaga keladigan kumulyativ zarar ulush miqdori.

Ishlab chiqilgan 4 – formulaga asosan har bir titrash tezlanishi qanchaga mexanik kuchlanish berishini aniqlab chiqildi hamda aniqlangan mexanik kuchlanishlarning har biri mustahkamlik chegarasini bilan taqqoslanib yakunda ularning nisbati qancha farq qilishidan kelib chiqqan holda har bir titrash tezlanishi tomonidan yuzaga keladigan kumulyativ zarar miqdori 3 – jadvalga kiritildi.

3– jadvalga asosan xizmat muddatining qisqarishi, oniy titrash tezlanishi natijasida yuzaga keladigan zarar hamda titrash tezlanishi natijasida yuzaga keladigan mexanik kuchlanishning bog'liqlik grafigi 2 – rasm orqali shakllantirildi. Grafikdan shuni ko'ish mumkinki, titrash tezlanishining ortishi transformatorga keladigan mexanik kuchlanishning ortishiga sabab bo'ladi va bu o'z navbatida kumulyativ zarar miqdorini orttirib xizmat muddatini kamayishiga sabab bo'ladi.

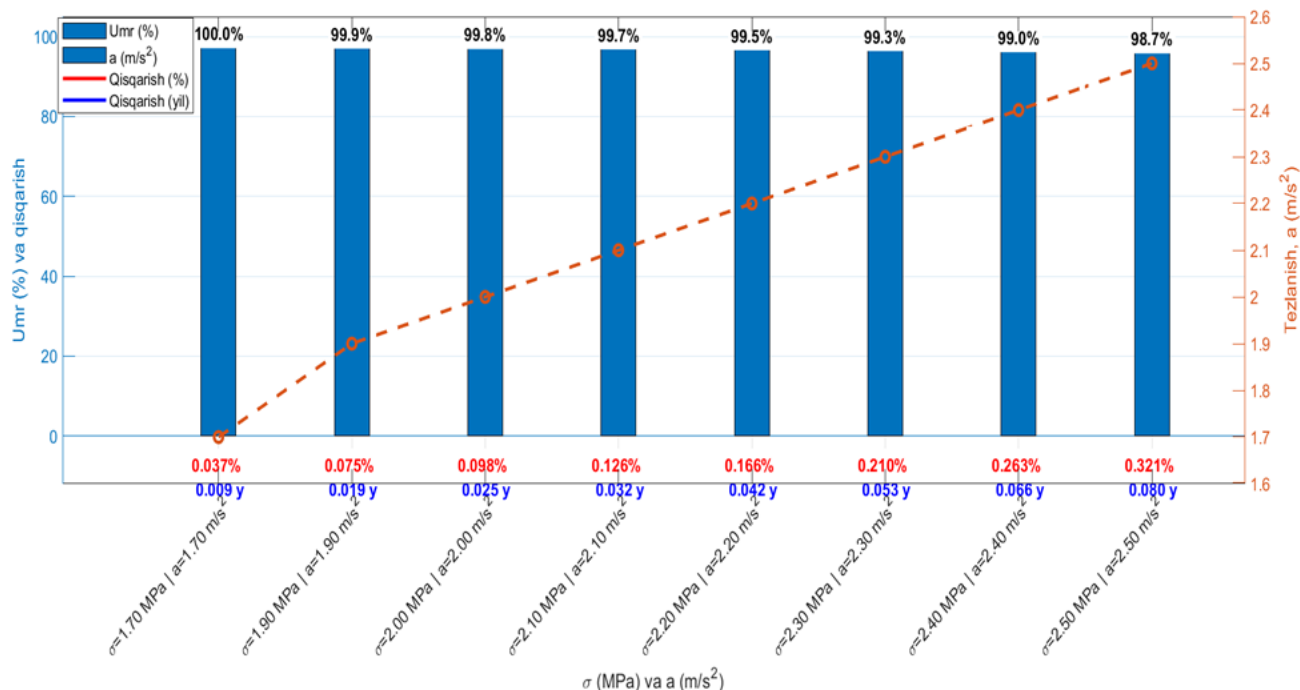
Tadqiqot obyekti sifatida tanlab olingan moyli transformator 2025- yil mobaynida kuzatilganida uning titrash inten-

sivligi chiziqli tarzda o'sib borgan 3-jadvalda aniq keltirilgan. Eng katta titrash tezlanishining qiymati 2.5 m/s^2 ekanligi va ushbu titrash tezlanishi yil davomida 2170 soat titragani aniqlandi. Titrash tezlanishi bilan kuzatilgan nonormallik va uning qiymatini ortib borishi tadqiqot obyekti sifatida tanlab olingan moyli transformatorida mexanik nuqson borligidan dalolat beradi va ushbu mexanik nuqsonning zarar ulushini aniqlash uchun transformatorning xususiy parametrlaridan foydalanib kumulyativ zarar ulushining har siklga qanchadan mos kelishini aniq hisoblab chiqish kerak. 2- rasmda titrash tezlanishidan yuzaga kelgan kumulyatsiya ulushlarini ta'sirida foydali xizmat muddati aniq qanchaga kamayib borganligi aks ettirilgan. Tadqiqot obyekti sifatida tanlab olingan transformator 2024- yilda yangi holatda o'rnatilganiga qaramay, uning ta'minotida kuzatiladigan o'chishlar va uzilishlar uning mexanik holatida jiddiy ta'sir ko'rsatgan. Mexanik mustahkamlikni asosiy belgisi sanalgan chulg'amlarning ulanishi va ularning taranglik holati titrash tezlanishini ortib borishiga asos bo'ldi. Miner qonuni bo'yicha aniqlab ishlab chiqilgan (3) va (4) formulalar orqali moyli transformatorning xizmat muddati umumiy hisobda 1.3% ga kamayganligi aniqlandi. Kelgusi yillarda ushbu ko'rsatkich chiziqli tarzda yana ham o'sib borishi va yakunda transformatorning mexanik mustahkamligi barqaror bo'lmay qolishi aniqlandi. 3- jadvalga tayanib 2-rasmda 1 yil davomida kuzatilgan 20 MVA li moyli transformatorning xizmat muddatini o'zgarib borishi aniq keltirilgan.

3– jadval

Titrash natijalaridan olingan mexanik stress va xizmat umrining o'zgarishi

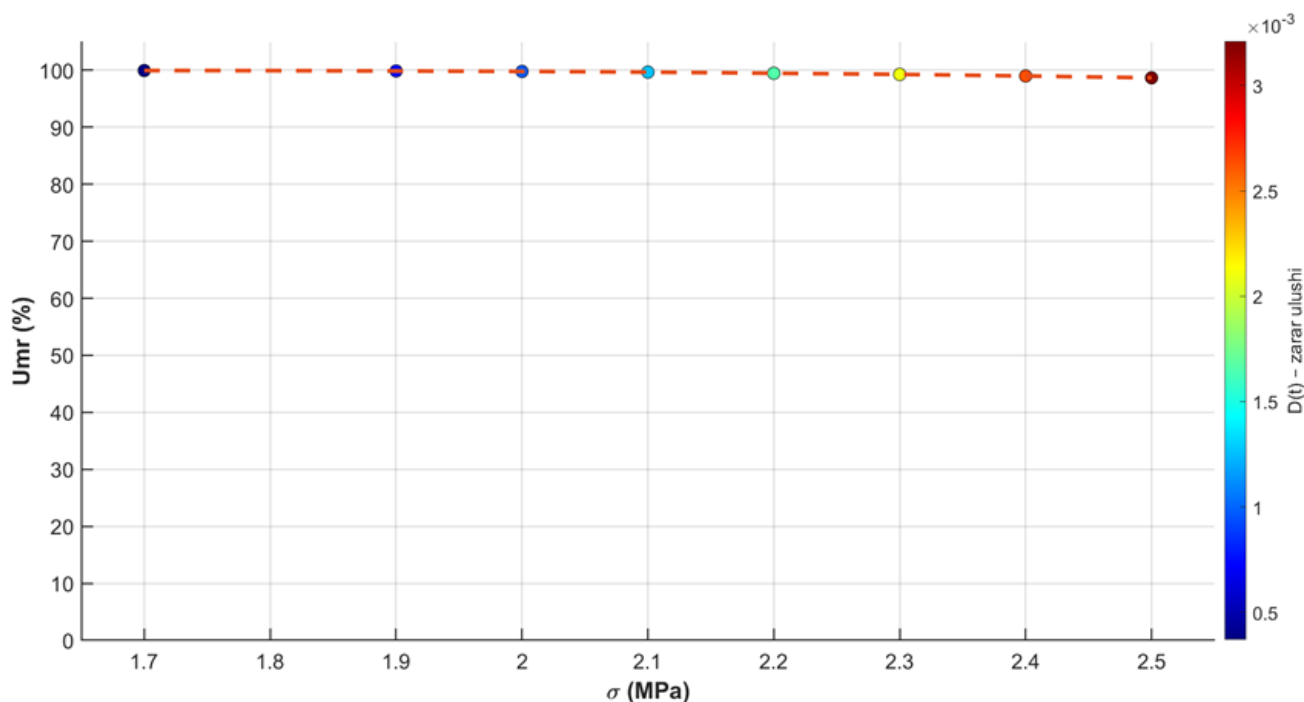
№	Vaqt (soat)	a (m/s²)	σ (MPa)	Resurs qisqarishi (%)	Umr (yil)	D(t)	Qisqarish (yil)	Umr (%)
1	250	1.70	1.70	2.85%	24.99	0.00037	0.009	0.037%
2	507	1.90	1.90	5.79	24.97	0.00075	0.019	0.075%
3	662	2.00	2.00	7.56	24.95	0.00098	0.025	0.098%
4	852	2.10	2.10	9.73	24.92	0.00126	0.032	0.126%
5	1122	2.20	2.20	12.81	24.87	0.00166	0.042	0.166%
6	1419	2.30	2.30	16.20	24.82	0.00210	0.053	0.210%
7	1778	2.40	2.40	20.3	24.75	0.00263	0.066	0.263%
8	2170	2.50	2.50	24.7	24.67	0.00321	0.080	0.321%
Jami	8760					0.013	0.33	1.3 %



2- rasm. Titrash tezlanishi natijasida mexanik umming kamayishining ustunli diagrammasi

2 – rasm asosida xulosa qiladigan bo'lsak, titrash tezlanishi qancha beqaror bo'lib qiymati ortib borsa u transformatorning mexanik umri shuncha kamayganligi anglatadi hamda bu o'z navbatida mexanik umr har bir sikldan keyin kamayayotganligini tushinish mumkin. 3- rasmda bu yana ham batafsil ifodalangan. Mexanik mustahkamlik vektor kattaliklar sinfiga kirganligi sababli hamda titrash intensivligi bilan mexanik yuklanishning qiymatlari to'g'ri bog'langanligi sababli qiymat ortib borgan sari mexanik mustahkamlik kamayib

borishiga sabab bo'ladi. Mustahkamlik chegarasining kamayib borishi mexanik barqarorlikni chidash sikllari vaqtini kamaytiradi. Har bir ti-trash sikli chiziqli tarzda foydali xizmat muddatini kamaytiradi. 3- rasmda kumulyativ zarar ulushi va mexanik yuklanish orasidagi munosabat keltirilgan. Kumulyatsiya ulushlari qancha katta bo'lsa va titrash tezlanishi ortsa foydali xizmat muddati bilan teskari bog'langanligi sababli bevosita moyli transformatorning xizmat muddatini kamayishiga olib keladi.



3- rasm. Transformator resursining mexanik umrining o'zgarishi

Xulosalar

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, moyli kuch transformatorlaridagi titrash (vibratsiya) hodisasi tasodifiy va e'tiborsiz omil emas, balki agregatning haqiqiy mexanik resursini bevosita yemiradigan asosiy degradatsiya manbalaridan biridir. Moyli transformatorlarda titrash hodisasining nonormalligi titrash tezlanishi 1.5 m/s^2 dan ortganida va 2.5 m/s^2 oralig'ida bo'lgan holatda quvvati 20 MVA li transformatorlarda vibratsiya jarayoni o'zgaruvchan hamda ushbu diapazondan ortgan har qanday titrash qiymati transformator mexanik holati bilan nuqsonlar mavjudligini anglatadi. Vaqt o'tishi bilan ushbu titrash tezlanishi agregatning termik, mexanik va elektr barqarorligini pasaytiradi hamda real xizmat muddatini qisqartiradi. Ishlab chiqilgan

matematik model titrashning fizik mexanizmini faqat sifat jihatdan emas, balki aniq o'lchovli parametrlar orqali baholash imkonini beradi. Shu tariqa, titrashni doimiy monitoring qilish, uning spektrlari va tezlanish amplitudalarini vaqt bo'yicha nazorat qilish, transformatorning texnik holatini real vaqt rejimida baholash, charchashdan kelib chiqadigan avariyaviy xavflarni oldindan ko'rish va profilaktik xizmat ko'rsatish jadvalini optimallashtirish uchun majburiy diagnostik mezon sifatida qaralishi kerak. Moyli transformatorlarda titrash tezlanishini yil davomida kuzatib, titrash qiymatlarining intensiv o'sish chegarasidan ortib borishi va har qanday nobarqaror titrash transformator uchun xavfli mexanik zarar kumulyatsiyasini yuzaga keltiradi.

Bibliografik ro'yxat

1. Belmecheri, H., & Mekhaldi, A. (2017). Dielectric properties of transformer oil under thermal aging: Frequency and temperature dependence. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24(5), 2893–2902. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2017.006521>
2. García, B., Burgos, J. C., & Alonso, Á. M. (2006). Transformer tank vibration modeling as a method of detecting winding deformations—Part I: Theoretical foundation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(1), 157–163. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.852280>
3. Yusupov, D. T., Ismoilov, I. K., Tursunov, D. A., & Zhabborov, B. T. (2023). Express diagnostics of power oil transformers by vibroacoustics and partial discharges. *E3S Web of Conferences*, 434, Article 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401027>
4. Denmukhammadiev, A. M., Yusupov, D. T., Shoyusupov, Sh. A., Djalilov, A. U., & boshq. (2022). Diagnostics of power transformers operating for many years in the power supply system through gases in the composition of transformer oil. *Journal of Physics: Conference Series*, 2176, Article 012064. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2176/1/012064>
5. Ali, M. S. (2023). Conventional methods of dissolved gas analysis using oil: Review and classification of fault diagnosis techniques. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023>
6. Zhang, Y. (2022). Fault diagnosis of transformer using artificial intelligence: A systematic review. *Frontiers in Energy Research*. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022>
7. Pyrmatov, N. B., & Abdullabekova, D. R. (2023). Quvvat avtotransformatorlarini monitoring qilishning mavjud usullari. *Texnik fanlar va innovatsiyalar*, (4), 35–41. <https://doi.org/10.51346/tstu-02.23.4-78-0093>
8. Turdibekov, K. X., Sulliev, A. X., Iskandarova, O. S., & Boboqulov, J. S. (2023). Noaniqlik sharoitida elektr energiya tizimlari rejimlarini o'rganishning eksperimental va statistik usullari. *E3S Web of Conferences*, 452, 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345200>