

А.В. Гордієнко

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Україна

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ДОВГОВІЧНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Запропоновано новий метод для оцінки довговічності ізоляції асинхронного електродвигуна ВА3 215/109-6АМО5, який використовується для приводу циркуляційних насосів реактора ВВЕР-1000. Застосування даної методики розрахунку значно спрощує і прискорює процес проектування та аналізу систем ізоляції, а також електродвигунів в цілому.

Ключові слова: асинхронний двигун, системи високовольтної ізоляції, термін експлуатації, моделювання теплових процесів

Постановка проблеми

Головні циркуляційні насоси (ГЦН-195М) забезпечують примусову циркуляцію теплоносія в першому контурі реакторних установок типу ВВЕР-1000. Для приводу цих насосів використовується вертикальний асинхронний електродвигун ВА3 215/109-6АМО5, який виготовлений відповідно до технічних умов ТУ 16-510.693-81. Цей електродвигун має закриту конструкцію з самовентильюючим ротором, що забезпечує ефективне охолодження та підвищує надійність його роботи. Використання таких насосів є критично важливим для підтримання стабільної роботи реакторних установок, оскільки вони забезпечують безперервну циркуляцію води, що є необхідною для відведення тепла від активної зони реактора та підтримання безпеки в процесі експлуатації. В Україні експлуатується 13 енергоблоків з цим типом реакторів, а саме:

- Южноукраїнська АЕС – 3 енергоблока;
- Запорізька АЕС – 6 Енергоблоків;
- Хмельницька АЕС – 2 енергоблока;
- Рівенська АЕС – 2 енергоблока.

Основна вимога, яка передбачається до системи ізоляції потужних ЕД, виникає в тому, що в межах необхідного ресурсу вона має протистояти експлуатаційним впливам. Згідно з технічними умовами виготовлення, асинхронний електродвигун ВА3 215 повинен бути оснащений обмоткою статора, що має термореактивну безперервну ізоляцію класу нагрівостійкості В (130°C) відповідно до ГОСТ 8865. Однак у сучасній практиці проектування електричних машин спостерігається тенденція до використання новітніх електроізоляційних матеріалів класів нагрівостійкості F і H [1], які мають вищі температурні показники (155°C і 180°C

відповідно до ГОСТ 8865. Підвищення характеристик системи ізоляції та термостійкості дозволяє витримувати більші електродинамічні сили, електричні поля [2], теплові [3] та фізико-механічні навантаження та радіаційне випромінювання [4], що, в свою чергу, може призвести до покращення окремих експлуатаційних характеристик електричних машин і подовження їх терміну служби. Удосконалення методик оцінки термінів експлуатації, запропоноване автором у цій статті, забезпечить можливість оперативного аналізу систем ізоляції з розрахунком їх термінів служби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує багато підходів та методів [5-11] розрахунків довговічності електричної ізоляції, які свідчать про значний інтерес наукової спільноти до проблематики терміну експлуатації ізоляції електродвигунів. У контексті розрахунків термінів служби ізоляційних матеріалів це завдання набуває все більшої актуальності, особливо з огляду на постійне зростання обсягів виробництва електроенергії та зростаючі вимоги до безпечної експлуатації електродвигунів, що використовуються в системах охолодження першого контуру АЕС.

Метод, викладений у книзі [5], має глибоке аналітичне підґрунтя, що забезпечує його теоретичну основу. Проте, як було зазначено раніше [3], до недавнього часу цей метод не мав конкретного підтвердження для окремих типів ізоляційних матеріалів, а його застосування було обмежене загальними рекомендаціями. Це створювало певні труднощі в практичному впровадженні методу, оскільки без специфічних даних для різних ізоляційних систем складно було оцінити його ефективність у реальних умовах експлуатації.

Мета статті

Дослідження, результати яких представлено в статті, було проведено з метою розробки інноваційної методики для розрахунку терміну експлуатації, що сприятиме прискоренню процесу проектування систем ізоляції обмоток статора електродвигуна ВА3 215/109-6АМО5. Ця методика також закладає основи для подальшого розвитку систем ізоляції в електродвигунах загалом. Результати проведеного дослідження можуть стати важливим кроком у створенні надійних і довговічних систем ізоляції для головних циркуляційних насосів атомних електростанцій (АЕС). Це, в свою чергу, сприятиме забезпеченню безпеки їхньої експлуатації в умовах, характерних для роботи на АЕС, де надійність і стабільність систем є критично важливими для запобігання аварійним ситуаціям. Вдосконалення систем ізоляції і технологій може зменшити ризики, пов'язані з перегрівом та електричними пробоями, що є особливо актуальним у контексті сучасних вимог до ізоляції установок в цілому.

Виклад основного матеріалу

Вступ. Як к було досліджено раніше [3], після проведення зносостійких випробувань було встановлено закон старіння ізоляції для класу нагрівостійкості F, який залежить від напруги пробою дослідних зразків після проведення циклічних зносостійких випробувань. Цей закон демонструє те, що з підвищенням кількості циклів зносостійких випробувань напруга пробою ізоляційних матеріалів зменшується, що, в свою чергу, свідчить про прискорене старіння ізоляції стрижневих обмоток статора. Це явище можна пояснити накопиченням термомеханічних пошкоджень та деградаційних процесів у структурі ізоляції під впливом електромагнітного поля та впливу вологості. Зменшення напруги пробою вказує на зниження електричної стійкості ізоляційних матеріалів, що може призвести до їх швидшого виходу з ладу. Після перетворення емпіричних формул, представлених у статті [3], ми можемо отримати залежність (1) терміну експлуатації системи ізоляції від напруги пробою дослідного зразка цієї системи.

$$T_e = \frac{\ln U_{пр.} - \ln U_{ном.}}{\alpha}, \quad (1)$$

де T_e – час роботи ізоляції (час експлуатації ізоляції), годин;

$U_{пр.}$ – напруга пробою ізоляції (фактична або розрахункова);

$U_{ном.}$ – номінальна робоча напруга ізоляції;

α – емпіричний коефіцієнт що характеризує

фізичні властивості ізоляції (систем ізоляцій) (нагрівостійкості, напруга пробою тощо) (Табл. 1);

Для електричної машини з номінальною робочою напругою $U_{ном.} = 6$ кВ, значення напруги пробою не повинно бути меншим за робочу напругу цієї машини, при цьому ізоляція стрижнів обмотки статора повинна бути спроектована таким чином, щоб при температурі, відповідній класу нагрівостійкості, ізоляція могла безвідмовно функціонувати протягом 20,000 годин (відповідно до ГОСТ 8865).

Таблиця 1

Тип електричної ізоляції та коефіцієнт α .

Виконання ізоляції(клас нагрівостійкості)	Технологія виготовлення системи ізоляцій	Емпірич. Коеф. α
Мікалентна компаундована, Термопластична (B)	VPI	0,00094
Моноліт-2 Термореактивна(F)	VPI	0,00064
Термореактивна на стрічці ЛСУ(F)	Resin Rich	0,00056

Після зносостійких випробувань, результати яких встановлено емпіричні коефіцієнти, які характеризують фізичні властивості ізоляційних матеріалів для трьох різних типів ізоляції та дозволяють отримати кількісні характеристики, які відображають стійкість ізоляції до механічних навантажень та впливу зовнішніх факторів. Встановлені коефіцієнти є важливими для подальшого аналізу та прогнозування терміну служби ізоляційних систем у реальних умовах експлуатації.

Метод удосконалення методики розрахунку ізоляції базуватиметься на комплексному підході, що включає кілька ключових етапів:

– Виготовлення дослідних зразків з ізоляційних матеріалів українського виробництва (табл.2);

– Високовольтні випробування дослідних зразків;

– Виведення аналітичної залежності строків експлуатації з наступним порівнянням прогнозованих строків експлуатації систем ізоляції.

Виготовлення дослідних зразків. Для удосконалення ізоляції обмотки статорів буде запропоновано кілька прототипів стрижнів обмоток(по два стрижня кожної системи ізоляції та два стрижня заводського виконання вимотаних зі статору ЕД), виготовлених з використанням різних видів ізоляційних стрічок (табл. 2) українського виробництва. Ці макети дозволять оцінити ефективність різних ізоляційних матеріалів та систем

ізоляції.

Технологія Resin Rich [12,13] включає використання заздалегідь просочених стрічок. Після ізоляції стрижнів обмотки статора з використанням машинного методу на ізолювальних верстатах типу ЛУС-6 обмотка піддається запіканню в спеціальних пресформах при температурі 150-160°C протягом

двох годин. Цей час є достатнім для пластифікації сполучного матеріалу. Після охолодження стрижнів з готовою ізоляцією необхідно провести перевірку геометричних розмірів перерізу стрижня та підготувати стрижні до наступних випробувань.

Таблиця 2

Електроізоляційні стрічки для виготовлення дослідних зразків

№ з/п	Тип ізоляційної стрічки	Завод виробник ізоляції	Технічний стандарт на виготовлення стрічки
1.	Стрічка слюдинітова просочена Елізтерм 155 ТПЛ 0,13x20	ТОВ НВК «Укрпромвпровадження», м. Київ	ТУ У 26.8-35141676-002:2009
2.	Стрічка слюдинітова просочена ЛСМ 0,14x20		ТУ 16-89 И79.0168.001ТУ
3.	Стрічка слюдяна просочена ЛС-ФК-ТПЛ 0,13x20	ТОВ «Сонар», м. Миколаїв	ТУ У 25.2-24790030-005:2011
4.	Стрічка слюдинітова просочена Елмікатерм 529029 0,13x20		ТУ У 23.9-24790030-011:2013

Випробування дослідних зразків.

Випробуванням було піддано 8 раніше виготовлених зразка табл.3 (4 системи ізоляції). Для обчислення терміну експлуатації ізоляції стрижнів ВА3215 згідно з формулою (1) для ізоляції типу Resin Rich необхідно провести високовольтні випробування та з'ясувати запас міцності. Випробування кожного зразка проводитиметься за такою програмою:

- Вимірювання опору ізоляції відносно корпусу (R_{60})
- Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат в ізоляції ($\operatorname{tg}\delta$)
- Вимірювання запасу міцності (напруги пробою ізоляції) ($U_{пр.}$).

Вимірювання опору ізоляції обмоток електричних машин входить до програми операцій з перевірки якості ізоляції.

Для визначення якісних характеристик ізоляції нас більше цікавить відношення показань R_{60}/R_{15} – називають коефіцієнтом абсорбції, його значення характеризує ступінь зволоження ізоляції. Коефіцієнт абсорбції має бути не менше 1,3.

Тангенс кута діелектричних втрат (δ) характеризує втрати енергії електричного поля, що розсіюється в електроізоляційному матеріалі. Він визначається ставленням активної потужності до реактивної при синусоїдальній напрузі певної частоти. Значення тангенса кута втрат діелектрика залежить від його якості, температури навколишнього середовища та від частоти змінного струму, на якій він вимірюється. Вимірювання кута діелектричних втрат роблять у холодному стані ізоляції стрижня не раніше 24 год після закінчення всього технологічного процесу виготовлення стрижня при напругах $0,5U_{ном.}$, $1,0U_{ном.}$, $1,5U_{ном.}$ (У даному випадку при 3, 6 і 9 кВ). Тобто, тангенс кута діелектричних втрат – показник якості обпресування

ізоляції.

У контексті даного дослідження опір ізоляції та тангенс кута діелектричних втрат є ка безсумнівним показником якості ізоляції стрижнів обмотки статора після виготовлення і результати цих вимірювань слугуватимуть основою для майбутніх досліджень.

Таблиця 3

Дані випробувань ізоляції стрижнів статору ВА3215

Система ізоляції	Вимірний параметр	Дані випробувань і вимірювань для дослідного зразка	
		№1	№2
Reasin Rich Елізтерм 155 ТПЛ	R_{60} , ГОм	1870	1900
	R_{60}/R_{15}	2,32	2,43
	$\operatorname{tg}\delta U_{ном.}$	0,07903	0,07475
	$\Delta \operatorname{tg}\delta$	0,01732	0,01856
	$U_{пр.}$, кВ	58	56
Reasin Rich ЛСМ	R_{60} , ГОм	826	735
	R_{60}/R_{15}	2,05	2,01
	$\operatorname{tg}\delta U_{ном.}$	0,05470	0,05652
	$\Delta \operatorname{tg}\delta$	0,0477	0,0562
	$U_{пр.}$, кВ	44	48
Reasin Rich ЛС-ФК- ТПЛ	R_{60} , ГОм	2070	1500
	R_{60}/R_{15}	2,95	2,70
	$\operatorname{tg}\delta U_{ном.}$	0,01497	0,01705
	$\Delta \operatorname{tg}\delta$	0,952	0,982
	$U_{пр.}$, кВ	49	52
Reasin Rich Елмікатерм 529029	R_{60} , ГОм	2070	1800
	R_{60}/R_{15}	2,95	2,55
	$\operatorname{tg}\delta U_{ном.}$	0,01385	0,01343
	$\Delta \operatorname{tg}\delta$	0,00984	0,01247
	$U_{пр.}$, кВ	54	50
Зразок зав. виконання Б/В	R_{60} , ГОм	450	370
	R_{60}/R_{15}	1,45	1,35
	$\operatorname{tg}\delta U_{ном.}$	0,03742	0,04052
	$\Delta \operatorname{tg}\delta$	0,01837	0,01924
	$U_{пр.}$, кВ	20	24

Порівняльний аналіз даних дослідження.

Для того, щоб дізнатися час експлуатації при температурі класу ізоляції, ґрунтуючись на формулі Вант-Гоффа-Арреніуса [7] з урахуванням виконаних раніше зносостійких випробувань для ізоляції виконаної за технологією Resin Rich, та наступними електричними випробуваннями - виведемо формулу строку експлуатації:

$$T_e = T_1 e^{\frac{B(\frac{1}{\theta_e} - \frac{1}{\theta_1})}{\alpha}}, \quad (2)$$

де T_e – прогнозований строк експлуатації електричної ізоляції;

T_1 - термін служби при θ_1 -(звичайно обирають

20000 годин при температурі класу нагрівостійкості);

θ_e - температура експлуатації, К;

B – коеф. (Див. [5]).

Виразимо з формули (2) T_1 і замінимо T_e в формулі, що вийшла, і отримаємо та замінимо T_e з формули – то отримаємо (3):

$$T_1 = \left(\frac{\ln U_{пр.} - \ln U_{ном.}}{\alpha} \right) \cdot e^{\frac{B(\frac{1}{\theta_e} - \frac{1}{\theta_1})}{\alpha}}, \quad (3)$$

Таким чином, було проведено розрахунок часу експлуатації для восьми зразків, виготовлених за технологією Resin Rich, а також визначено залишковий час експлуатації для ізоляції стрижнів заводського виконання.

Таблиця 4

Результати розрахунків терміну експлуатації дослідних зразків.

№ з/п	Тип ізоляційної стрічки (клас нагрівостійкості)	Номер дослідного зразка	Напруга пробою ізоляції, $U_{пр.}$, кВ	Прогнозований строк експлуатації ізоляції, годин при 180 °С	Прогнозований строк експлуатації ізоляції, годин при 155 °С	Прогнозований строк експлуатації при 130 °С (згідно з технічним завданням)	Прогнозований строк експлуатації при 130 °С по формулі Вант-Гоффа-Арреніуса
1.	Елізтерм 155 ТПЛ (F)	№1	58	4051	20834	131282	126025
		№2	56	3989	20512	129251	
2.	ЛСМ (F)	№1	44	3558	18297	115296	
		№2	48	3713	19096	120331	
3.	ЛС-ФК-ТПл (F)	№1	49	3750	19286	121524	
		№2	52	3856	19831	124963	
4.	Елмікатерм 529029 (F)	№1	54	3924	20178	127147	20000
		№2	50	3786	19471	122693	
5.	Зразок зав.виконання Б/В (В)	№1	20	78	343	1280	
		№2	24	90	395	1475	

На основі отриманих даних можна зробити висновок, що система ізоляції, виготовлена зі стрічки Елізтерм 155 ТПЛ, повністю відповідає вимогам ГОСТ 8865, що підтверджується прогнозованим терміном експлуатації, який перевищує 20,000 годин при температурі, що відповідає класу нагрівостійкості.

Система ізоляції, виготовлена на основі стрічки Елмікатерм 529029, загалом задовольняє вимогам стандартів, але потребує певного доопрацювання для підвищення її експлуатаційних характеристик. У свою чергу, системи ізоляції, виготовлені зі стрічок ЛСМ та ЛЗ-ФК-ТПл, не відповідають вимогам ГОСТ 8865 через короткий термін експлуатації в

порівнянні із системами, виготовленими зі стрічок Елізтерм 155 ТПЛ та Елмікатерм 529029.

Додатково, після проведення випробувань стержнів заводського виконання можна буде всебічно оцінити ресурс, який відпрацювала ізоляція, а також визначити залишковий термін експлуатації системи ізоляції при температурі 130 °С. Ця температура є номінальним температурним режимом для електродвигуна ВА3215 відповідно до технічного завдання на виготовлення ізоляції.

Висновки

Експериментально було підтверджено, що використання технології Resin Rich забезпечує покращені електричні та механічні характеристики

обмоток, оскільки смола заповнює всі пори, що підвищує стійкість до вологості і зносостійкість в цілому. Це, в свою чергу, підвищує загальну надійність електричних машин та їх експлуатаційні характеристики, що є критично важливим для сучасних промислових застосувань.

Було виведено закон старіння ізоляційних матеріалів (3) та визначено коефіцієнт старіння (α) дозволить уникнути проведення тривалих зносостійких випробувань, обмежившись лише кількома експериментальними зразками. Це значно зменшить витрати часу та ресурсів на дослідження, зберігаючи при цьому точність отриманих результатів.

Проведення випробувань цих зразків на пробій, з подальшим обчисленням терміну експлуатації за відповідною формулою, надасть комплексну картину стійкості системи ізоляції під час її експлуатації. Такий підхід дозволяє не лише оцінити надійність ізоляційних матеріалів, але й сприяє розробці рекомендацій щодо їх оптимізації для підвищення експлуатаційних характеристик.

Це дозволить більш точно оцінити надійність ізоляційних матеріалів у різних умовах експлуатації. Визначення цієї залежності є важливим для розробки рекомендацій щодо вибору матеріалів та конструкцій ізоляції, що забезпечують триваліший термін служби електричних систем, а також для підвищення їхньої безпеки та ефективності в умовах підвищених електричних навантажень.

Література

1. Ravindra Arora, Wolfgang Mosch, "High Voltage and Electrical Insulation Engineering", Wiley-IEEE Press, 2011, ISBN: 9780470609613, 9780470947906
2. Stefan A. Busoi, Petru V. Notingher, Laurentiu M. Dumitran, Gabriel Tanasescu. The influence of temperature and electric field frequency on the dielectric properties of electrical machines insulation systems. 2010 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE). DOI: 10.1109/ISEEE.2010.5628478
3. Artem Hordiienko, Oleksiy Iegorov, Natalia Potryvaieva. Heat Resistance Class Selection for the Stator Winding Insulation in the Circulation Pumps Induction Motors. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). DOI: 10.1109/MEES61502.2023.10402481
4. Artem Hordiienko, Oleksiy Iegorov. Study of the Ionizing Radiation Influence on the Induction Motor Main Circulation Pumps Electrical Insulation. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). 10.1109/MEES61502.2023.10402475
5. Guastavino, F., Cordano, D., Torello, E., & Secondo, G.. "Electrical aging tests on different kind of insulating systems adopted for induction stator motor", 2015 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP). DOI: 10.1109/ceidp.2015.7352068
6. Leuzzi, R., Monopoli, V. G., Rovere, L., Cupertino, F., & Zanchetta, P. "Analysis and Detection of Electrical Aging Effects on High-Speed Motor Insulation", IEEE Transactions on Industry Applications, 2019, 1-1.

DOI:10.1109/tia.2019.2929013.

7. Єрмолін Н.П., Жеріхін І.П. "Надійність електричних машин". Енергія, 1975. с. 71-83
8. Dakin, T. W. (1948). Electrical Insulation Deterioration Treated as a Chemical Rate Phenomenon. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 67(1), 113–122. doi:10.1109/t-aiee.1948.5059649
9. Дьяков Е. Д., Гаряжа В. Н., Воронай В. Г. Конспект лекцій з курсу «Електротехнічні Матеріали», Харків, ХНУМГ, 2015, с 6.
10. Серебряков А. С. «Електротехнічне матеріалознавство. Електротехнічні матеріали Навчальний посібник». Маршрут, 2005 ISBN 5-89035-210-5 с. 112-116
11. Харламенков А. С. Нагрівостійкість ізоляції електроустановок// Пожежобезпека/ Fire and Explosion Safety. - 2019. - Т. 28, № 1. - С. 77-79.
12. Безпрозваних Г. В. Конструктивно-технологічні рішення підвищення електричних характеристик високовольтної композитної електроізоляційної системи електричних машин : монографія / Г. В. Безпрозваних, О. В. Рогинський. Харків : Друкарня Мадрид, 2023. с. ISBN 978-617-8254-06-3
13. VonRoll ISOLA. Electrical Insulation Material. Resin-Rich Insulation Systems for high voltage rotating machines . V.R.I. 2003.- 27 p.
14. Brandes, H., Hillmer, T., Frost, N., & Mesrobian, A. "Class H insulation system for rotating equipment". In Conference Record of the 2006 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, (pp. 346-349). IEEE. DOI: 10.1109/ELINSL.2006.1665329

References

1. Ravindra Arora, Wolfgang Mosch, "High Voltage and Electrical Insulation Engineering", Wiley-IEEE Press, 2011, ISBN: 9780470609613, 9780470947906
2. Stefan A. Busoi, Petru V. Notingher, Laurentiu M. Dumitran, Gabriel Tanasescu. The influence of temperature and electric field frequency on the dielectric properties of electrical machines insulation systems. 2010 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE). DOI: 10.1109/ISEEE.2010.5628478
3. Artem Hordiienko, Oleksiy Iegorov, Natalia Potryvaieva. Heat Resistance Class Selection for the Stator Winding Insulation in the Circulation Pumps Induction Motors. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). DOI: 10.1109/MEES61502.2023.10402481
4. Artem Hordiienko, Oleksiy Iegorov. Study of the Ionizing Radiation Influence on the Induction Motor Main Circulation Pumps Electrical Insulation. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). 10.1109/MEES61502.2023.10402475
5. Guastavino, F., Cordano, D., Torello, E., & Secondo, G.. "Electrical aging tests on different kind of insulating systems adopted for induction stator motor", 2015 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP). DOI: 10.1109/ceidp.2015.7352068
6. Leuzzi, R., Monopoli, V. G., Rovere, L., Cupertino, F., & Zanchetta, P. "Analysis and Detection of Electrical Aging Effects on High-Speed Motor Insulation", IEEE Transactions on Industry Applications, 2019, 1-1. DOI:10.1109/tia.2019.2929013.
7. Ermolin N.P., Zherikhin I.P. "Reliability of electrical machines". M.: Energy, 1975. p. 71-83
8. Dakin, T. W. (1948). Electrical Insulation Deterioration Treated as a Chemical Rate Phenomenon.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 67(1), 113–122. doi:10.1109/t-aiee.1948.5059649

9. Dyakov E. D., Garyazha V. N., Voropai V. G. Synopsis of lectures on the course "Electrotechnical Materials", Kharkiv, KhNUMG, 2015, p. 6.

10. Serebryakov A. S. "Electrotechnical materials science. Electrical engineering materials Study guide". Route, 2005 ISBN 5-89035-210-5 p. 112-116

11. Kharlamenkov A. S. Heat resistance of insulation of electrical installations// Fire and Explosion Safety/ Fire and Explosion Safety. - 2019. - T. 28, No. 1. - P. 77-79.

12. Bezprozvannykh H. V. Constructive and technological solutions for improving the electrical characteristics of the high-voltage composite electrical insulation system of electric machines: monograph / G. V. Bezprozvannykh, O. V. Rogynskyi. Kharkiv: Madrid Printing House, 2023. p. ISBN 978-617-8254-06-3

13. VonRoll ISOLA. Electrical Insulation Material. Resin-Rich Insulation Systems for high voltage rotating machines. V.R.I. 2003.- 27 p.

14. Brandes, H., Hillmer, T., Frost, N., & Mesrobian, A. "Class H insulation system for rotating equipment". In Conference Record of the 2006 IEEE International Symposium

on Electrical Insulation, (pp. 346-349). IEEE. DOI: 10.1109/ELINSL.2006.1665329

Рецензент: ПЕТРЕНКО Олександр Миколайович
д-р техн. наук, професор кафедри Електричного транспорту ХНУМГ ім О.М.Бекетова

Автор: ГОРДІЄНКО Артем Валерійович
начальник відділу якості ТОВ «ОСК-Технолоджі»,
аспірант кафедри АЕіЕ Харківського національного
університету міського господарства ім. А. М. Бекетова.
E-mail- artemgordienko1791@gmail.com

INNOVATIVE APPROACH TO ASSESSMENT OF INSULATION DURABILITY OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

A. Hordiienko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

A new method has been developed to assess the insulation durability of the VAZ 215/109-6АМО5 asynchronous electric motor, which is used to drive the circulating pumps of the VVER-1000 reactor. The application of this calculation method significantly simplifies and speeds up the process of designing and analyzing insulation systems, as well as electric motors in general. This can contribute to increasing their reliability and efficiency in operational conditions, which is especially important for ensuring the safe operation of nuclear installations.

The article describes in detail all stages of experimental research, including the manufacture of test samples, their testing and comparative analysis of the obtained data. This consistent approach allows not only to check the compliance of the samples with the specified characteristics, but also to evaluate their effectiveness in real operating conditions.

In addition, the results of the comparative analysis can serve as a basis for further research aimed at improving manufacturing technologies and increasing the reliability of materials. An important aspect is also the study of the influence of various factors on the test results, which can help in the formation of recommendations for the practical application of the obtained data in industry.

The study was conducted with the aim of developing an innovative method for calculating the service life, which will contribute to the acceleration of the process of designing the insulation systems of the stator windings of the VAZ 215/109-6АМО5 electric motor. This technique also lays the foundations for the further development of insulation systems in electric motors in general. The results of the conducted research can become an important step in creating reliable and durable insulation systems for the main circulation pumps of nuclear power plants (NPP). This, in turn, will contribute to ensuring the safety of their operation in the conditions typical for work at nuclear power plants, where the reliability and stability of systems are critically important for preventing emergency situations. Improvements in insulation systems and technologies can reduce the risks associated with overheating and electrical breakdown, which is particularly relevant in the context of modern requirements for the insulation of installations in general.

Keywords: asynchronous motor, high-voltage insulation systems, heat resistance class, insulation service life