

В. В. Грабко, Д. О. Березницький

**ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ
ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТА СИСТЕМ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХИСТІВ ЕНЕРГОБЛОКА
ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. В. Грабко, Д. О. Березницький

**ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ ВЛАСНИХ
ПОТРЕБ ТА СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХИСТІВ
ЕНЕРГОБЛОКА ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 621.314

ББК 31.261.8

Г 75

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (проткол № 10 від 28.05.2009 р.)

Рецензенти:

М. В. Гребченко, доктор технічних наук, професор

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

Гرابко, В. В.

Діагностування трансформаторів власних потреб та систем технологічних захистів енергоблока теплової електростанції : монографія / В. В. Грабко, Д. О. Березницький. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 124 с.

ISBN 978-966-641-345-4

В роботі розглянуто існуючі методи і засоби діагностування трансформаторів власних потреб та систем технологічних захистів теплової електростанції. Описано нові математичні моделі діагностування обладнання та побудовано на їх основі пристрої, які дозволяють визначати технічний стан об'єкта дослідження за результатами вимірювань певної сукупності параметрів.

Книга розрахована на інженерно-технічних працівників електротехнічної промисловості та електроенергетики, що займаються експлуатацією електричного обладнання, а також студентів та аспірантів ВНЗ.

УДК 621.314

ББК 31.261.8

ISBN 978-966-641-345-4

© В. Грабко, Д. Березницький, 2010

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ З ПИТАНЬ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕНЕРГО- БЛОКА	8
1.1. Методи і засоби діагностування силових трансфор- маторів власних потреб як допоміжного електрообладнання енер- гоблока теплової електростанції	11
1.2. Методи і засоби діагностування технологічних захис- тів як керуючого електрообладнання енергоблока теплової е- лектростанції	24
1.3. Класифікація методів та засобів для діагностування силових трансформаторів	31
1.4. Висновки та постановка задачі дослідження	33
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ДІАГНОСТУ- ВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОПОМІЖНОГО ТА КЕРУЮЧОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	34
2.1. Математична модель для побудови ресурсних харак- теристик силового сухого трансформатора власних потреб, що працює в режимі перевантаження	34
2.1.1. Приклад визначення тривалості роботи силового сухого трансформатора власних потреб в режимі переван- таження	40
2.2. Математична модель для діагностування силового су- хого трансформатора власних потреб	41
2.3. Математична модель для діагностування системи за- хисту зниження вакууму турбіни	47
РОЗДІЛ 3. СИНТЕЗ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОПОМІЖНОГО ТА КЕРУЮЧОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТ- РОСТАНЦІЇ	52
3.1. Вибір математичного апарату, придатного для розв'язання задачі синтезу структури діагностування допоміж- ного та керуючого електрообладнання теплової електростанції	52

3.2. Синтез структури пристрою для діагностування силового сухого трансформатора власних потреб	53
3.3. Синтез структури пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни.....	62
РОЗДІЛ 4. МІКРОПРОЦЕСОРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ПОХИБКИ СИНТЕЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ	73
4.1. Мікропроцесорний засіб для діагностування стану ізоляції силового сухого трансформатора власних потреб з врахуванням його роботи в режимі перевантаження.....	74
4.2. Мікропроцесорний засіб для діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни.....	78
4.2.1. Мікропроцесорний засіб для діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни з використанням мікроконтролера фірми Atmel.....	78
4.2.2. Мікропроцесорний засіб для діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни з використанням мікроконтролера LOGO фірми Siemens.....	80
4.3. Оцінка похибок вимірювальних каналів пристрою для діагностування стану ізоляції силового сухого трансформатора власних потреб	81
4.3.1. Вибір сенсорів температури та їх похибки	83
4.3.2. Вибір сенсорів струму та напруги і їх похибки.....	85
4.3.3. Похибка перетворювачів синусоїдального сигналу в сигнал постійного струму.....	87
4.3.4. Оцінювання похибки квантування АЦП.....	90
4.4. Оцінювання вірогідності контролю стану ізоляції обмоток силового сухого трансформатора власних потреб з помилок першого і другого роду	92
ВИСНОВКИ	96
ЛІТЕРАТУРА.....	98
Додаток А. Математична модель для побудови ресурсних характеристик силового сухого трансформатора власних потреб, що працює в режимі перевантаження	116

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АГП	автомат гасіння поля
АСУ ТП	автоматизована система управління технологічним процесом
АЦП	аналого-цифровий перетворювач
ЖЕН	живильний електронасос
ЖТН	живильний турбонасос
МНК	метод найменших квадратів
ПВЗ	пристрій вибірки-зберігання
ПЗП	постійно запам'ятовуючий пристрій
ПЗП1	ПЗП для зберігання комбінацій тестових сигналів
ПЗП2	ПЗП комбінацій прогнозованих результатів тесту
пристрій РПН	пристрій регулювання під навантаженням
ЦВТ	циліндр високого тиску
ЦСТ	циліндр середнього тиску

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасних умовах економічного розвитку нашої держави однією із основних задач господарювання постає питання продовження експлуатації понад встановлений термін служби обладнання та устаткування, зокрема електроенергетичного, із забезпеченням надійності роботи. Ті капіталовкладення, що здійснюються на цей час в електроенергетичну галузь, є незначними і не вирішують загальної проблеми надійної експлуатації електрообладнання, яке в переважній більшості було введено в роботу ще у 70–80 роках минулого століття.

Саме тому за умови обмеженого фінансування здійснюється перехід на експлуатацію обладнання за технічним станом. Це особливо актуально, коли нормативний термін експлуатації вже вичерпано, а обладнання знаходиться ще у робочому стані. Але такий підхід вимагає застосування надійних засобів діагностування, ігнорування яких може мати важкі наслідки при виникненні аварійних ситуацій.

Як відомо, не існує єдиних підходів до визначення технічного стану різних видів електрообладнання, а тому для виявлення діагностичних ознак адаптуються відомі рішення. Слід зазначити, що в деяких випадках необхідна інформація подається в технічному паспорті на відповідне обладнання, що частково спрощує аналіз його функціонування та можливість автоматизації процесу діагностування.

До електрообладнання та устаткування теплової електростанції ставляться особливі вимоги з надійності роботи. Нормою стало виведення всіх параметрів режиму та технічного стану обладнання на екран комп'ютера автоматизованої системи керування технологічним процесом. Якщо параметри режиму роботи вимірювати та передавати порівняно просто, то інформацію про технічний стан обладнання в багатьох випадках отримати дуже складно. Важливу роль в генеруванні електроенергії має не тільки основне обладнання, але і допоміжне та керує, яке забезпечує надійність функціонування основного.

Так, до силових трансформаторів власних потреб електростанції (в тому числі і сухих трансформаторів) ставляться високі вимоги з надійності роботи. Їх особливістю є короткотривала робота в режимі пе-

ревантаження, що пов'язано з частими пусками енергоблоків теплових електростанцій. Але якщо з питань діагностування силових трансформаторів в нормальному режимі роботи є багато публікацій, то підходи до визначення ступеня спрацювання технічного ресурсу ізоляції обмоток силових трансформаторів в режимі перевантаження розроблені недостатньо.

Не менша відповідальність за функціонування обладнання теплової електростанції покладається на засоби автоматизації. Наприклад, турбіна енергоблока містить дев'ять основних систем захисту і вихід будь-якої з них з ладу призводить до її аварійної зупинки. Тому діагностування технологічних систем автоматики займає одне з чільних місць в плані надійного функціонування компонент енергоблока.

Вказані проблеми обумовлюють актуальність наукової задачі – підвищення надійності функціонування елементів допоміжного та керуючого електрообладнання енергоблока теплової електростанції шляхом їх діагностування.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ З ПИТАНЬ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕНЕРГОБЛОКА

Відомо, що роботоздатність електрообладнання визначається його технічним станом і пов'язана із залишковим робочим ресурсом.

В сучасних умовах в експлуатації електрообладнання здійснено перехід від системи планово-попереджувальних ремонтів, яка передбачала технічне обслуговування і ремонт електричного обладнання через визначені терміни, до системи обслуговування за технічним станом електрообладнання [1].

Переваги такого підходу очевидні, оскільки відпадає необхідність виконання комплексу профілактичних робіт на обладнанні, яке має задовільний технічний стан. Відомо, що будь-яке втручання в електрообладнання, проведене навіть фахівцями високого рівня, призводить до зниження надійності і зменшення терміну служби, оскільки при цьому порушуються з'єднання і відбувається нова приробка деталей, що супроводжується інтенсивним спрацюванням елементів конструкції. Крім того, в процесі виконання робіт можливе ушкодження окремих деталей та вузлів.

Експлуатація електрообладнання за технічним станом вимагає отримання додаткової інформації, з якої можливо з'ясувати реальний технічний стан електрообладнання та прогнозувати можливість і час його подальшої експлуатації в умовах зміни інтенсивності зовнішніх впливів. Такий підхід передбачає встановлення на обладнання додаткових сенсорів, за інформацією з яких можливе пряме або опосередковане визначення залишкового робочого ресурсу, що і передбачається в процесі діагностування електрообладнання.

Метою технічного діагностування електрообладнання є забезпечення найбільш економічної його експлуатації при заданому рівні надійності і скороченні до мінімуму витрат на технічне обслуговування і ремонт. Ця мета досягається шляхом відслідковування технічного стану електрообладнання в процесі експлуатації, що дозволяє своєчасно запобігати відмовам, скорочувати простой через пошкодження, проводити комплекс заходів для підтримки його роботоздатності відповідно до даних діагностування [2, 3].

Задачі технічної діагностики в системі експлуатації електрообладнання полягають у встановленні необхідності заміни змінних деталей і вузлів, проведенні регулювання, виконанні поточних та капітальних ремонтів, якості їх виконання, встановленні причин можливих відмов електрообладнання [4].

Очевидно, що будь-яка відмова електрообладнання, що викликає створення аварійної ситуації, призводить до значних втрат, пов'язаних із призупиненням електропостачання, псуванням обладнання та продукції тощо. Особливо ця проблема гостро стосується електростанцій, аварія на якій призводить до недовідпуску електричної або теплової енергії з усіма можливими наслідками.

Відомо, що високі вимоги з надійності роботи ставляться до силових трансформаторів електростанцій, які забезпечують перетворення та передачу електроенергії від генераторів до споживачів. Не менш високі вимоги ставляться і до трансформаторів власних потреб електростанцій, які забезпечують надійну роботу допоміжного електрообладнання і працюють не тільки в режимі великих навантажень, але й і в режимі перевантаження, особливо в моменти запусків потужних електродвигунів, в періоди живлення власних потреб інших енергоблоків тощо.

Особливої уваги у живленні власних потреб заслуговують силові трансформатори сухого виконання, які хоч і не дешевші від маслonaповнених, але мають переваги з позицій пожежобезпеки та впливу на навколишнє середовище.

Не менш важливою є проблема надійної роботи систем автоматичної теплової електростанції. Наявне устаткування, складні технологічні схеми при великому обсязі автоматизації й теплотехнічного контролю ускладнюють проведення персоналом виконання правильних і своєчасних операцій у моменти аварій. В той же час характер протікання ряду процесів таких, що найменша затримка у відключенні устаткування приводить до серйозних його ушкоджень.

В зв'язку з цим виникає необхідність виконання цілого ряду операцій з управління обладнанням за допомогою автоматичних пристроїв, які діють при порушенні режиму роботи чи виникненні несправності технологічного обладнання. Автоматичне керування в таких режимах здійснюється пристроями технологічних захистів та блокувань.

Однією з найбільш важливих вимог до пристроїв технологічних захистів та блокувань є забезпечення надійної дії в аварійних випадках. При цьому надійність пристроїв визначається як кількістю відмов при своєчасному спрацюванні, так і кількістю хибних спрацювань. Тому показники надійності кожного з захистів значною мірою визначаються схемою ввімкнення й надійністю приладів, що в ній використовуються.

Наприклад, на Ладижинській ТЕС енергоблок містить 27 різноманітних систем захистів, що забезпечують його роботоздатність. Перед введенням енергоблока в роботу тривалість перевірки роботоздатності систем захистів складає понад 9 годин [5]. Це пов'язано з великою кількістю захистів, значною кількістю сигналів з сенсорів технологічного обладнання, великою кількістю виконавчих механізмів та складністю технологічних схем. Як правило, перевірка роботоздатності кожної із систем захистів в процесі роботи енергоблока не здійснюється.

Впровадження нових методів, які дозволяють діагностувати системи захистів в процесі їх експлуатації за допомогою сучасних засобів автоматизації та прийняття рішень і відповідних їм технічних засобів, створює можливість переходу до більш економічної і ефективної стратегії технічного обслуговування систем захистів за їх станом.

Останнім часом в енергогосподарствах проводиться заміна застарілого обладнання сучасним, створеним з використанням новітніх досягнень науки і техніки, наприклад, використанням елегазового обладнання [6, 7]. Але такий підхід вимагає значних капіталовкладень і тривалого часу для здійснення повного переоснащення підприємств.

Тому постає питання пошуку нових шляхів для визначення та прогнозування технічного стану електрообладнання з метою підвищення надійності його експлуатації.

Очевидно, що в межах однієї роботи неможливо приділити увагу всім видам обладнання енергоблока, а тому ми зосередимо зусилля на питаннях підвищення надійності роботи силових трансформаторів власних потреб та систем технологічного захисту.

1.1. Методи і засоби діагностування силових трансформаторів власних потреб як допоміжного електрообладнання енергоблока теплової електростанції

Силові трансформатори займають ключову позицію в плані забезпечення генерування, передачі та розподілу електричної енергії, а тому до них ставляться високі вимоги щодо надійності функціонування. Слід підкреслити, що з питань підвищення надійності роботи силових трансформаторів існує багато робіт, в тому числі і з напрямку їхнього діагностування в процесі роботи.

Не менш важлива роль в плані генерації електроенергії відводиться трансформаторам власних потреб електростанції, які забезпечують роботу допоміжного електрообладнання.

Задачі, які розв'язуються в процесі діагностування, можна сформулювати так [8]:

- виявлення факту дефектного стану трансформатора;
- визначення характеру дефекту та його локалізація при найбільшій можливій глибині діагностування;
- оцінка роботоздатності трансформатора, прогноз його залишкового ресурсу та визначення обсягів необхідного ремонту.

Статистика пошкоджень, що виникають в потужних силових трансформаторах, свідчить, що 48 % з них викликані пробоем внутрішньої ізоляції ввідів, 14 % – недостатньою стійкістю при коротких замиканнях, 12 % – через спрацювання ізоляції обмоток, 7 % – через пошкодження ізоляції обмоток, 5 % – через пошкодження пристрою регулювання під навантаженням (РПН) [9, 10]. Тому енергосистеми ставлять вимоги до укомплектування силових трансформаторів діагностичними системами [9].

Режими роботи блочних трансформаторів відрізняються від режимів роботи мережевих трансформаторів по навантаженню, струмах короткого замикання, участі в регулюванні активної потужності тощо. Оскільки завантаження таких трансформаторів підвищене, то і старіння їх ізоляції протікає інтенсивніше, ніж у мережевих трансформаторів. 24 % виниклих внутрішніх коротких замикань обумовлені спрацюванням ізоляції обмоток [11].

В роботі [12] зазначається, що старіння ізоляції суттєво залежить від режимів роботи трансформатора. Ключова роль при цьому відводиться зволоженню ізоляції.

Спеціалісти закордонних енергетичних компаній вважають економічно доцільним проведення неперервного контролю стану силових трансформаторів, а, отже, і створення різноманітних діагностичних та експертних систем [13].

Згідно з [14] в теперішній час для силових трансформаторів застосовується 21 вид випробувань та контролю. В роботі [15] зазначається про необхідність розширених випробувань силових трансформаторів, враховуючи новітні досягнення в області науки.

З аналізу літератури випливає, що діагностування силових трансформаторів здійснюється в різних ракурсах, тобто різні підходи передбачають перевірку та прогнозування терміну роботоздатності різних складових об'єкта дослідження.

Так, в роботі [16] охарактеризовано набір традиційних типових процедур перевірки роботоздатності силових трансформаторів. Підкреслюється, що відомі підходи не виключають необхідності створення нових методів та засобів діагностування електрообладнання, в т. ч. трансформаторів.

Зокрема в роботах [17–19] пропонуються методи, які передбачають виявлення залишкової деформації обмоток трансформатора внаслідок впливу електродинамічних зусиль, що виникають в обмотках під дією струмів короткого замикання. В статті [17] пропонується залишкову деформацію обмоток трансформатора виявляти методом низьковольтних імпульсів. Цей метод передбачає вимірювання нормограм при введенні в роботу нового трансформатора (або після проведення капітального чи відновлювального ремонтів) та їх порівняння з дефектограмами, знятими після протікання струмів короткого замикання в трансформаторі. Зі спектрального аналізу робляться висновки щодо появи нових гармонічних складових, з яких з'ясовують ступінь деформації обмоток. В ряді робіт [20–22] показано, що поява деформацій не перешкоджає подальшій експлуатації трансформатора, але в місці деформацій виникають процеси розвитку часткових розрядів і, як наслідок, погіршуються результати хроматографічного аналізу ма-

сла. В разі появи чергового короткого замикання з аперіодичною складовою можливий аварійний вихід з ладу трансформатора з важкими можливими наслідками.

В роботі [18] пропонується оцінювати рівень ослаблення опресованих обмоток з вібраційного портрету працюючого трансформатора з подальшим порівнянням амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик до і після виникнення аварійної ситуації.

Аналіз появи показників погіршення стану ізоляції на основі фізико-хімічних процесів, що протікають в ній, зроблено в роботі [19]. Показано, що внаслідок погіршення стану ізоляції можливе виникнення внутрішніх коротких замикань. До причин, що погіршують стан ізоляції, відносяться: підвищення вологості трансформаторного масла, наявність домішок в твердій та рідкій ізоляціях, розвиток іонізаційних процесів в ізоляції тощо. Як виявлено [23], негативний вплив вологи в ізоляції трансформатора пов'язаний з утворенням газових та парових кульок, що виділяються з ізоляції в трансформаторне масло при перегріванні ізоляції від струмів навантаження в обмотках.

Вказані методи є ефективними, але вони мають великий рівень складності для здійснення дослідження об'єкта, який до того ж необхідно виводити з експлуатації. Крім того, зазначений підхід передбачає наявність бази даних щодо технічного стану трансформаторів в різних режимах роботи.

В ряді робіт опубліковані результати наукових досліджень, пов'язані з перевіркою роботоздатності силових трансформаторів, обмотки яких мають підвищений рівень вмісту вологи. В роботі [24] показано, що надійність роботи трансформатора визначається станом його ізоляції, значна частина пошкоджень якої залежить від вологовмісту. Вважається, що для нових трансформаторів та трансформаторів після капітального ремонту допускається зволоження ізоляції до 2 %, а для трансформаторів, що знаходяться в експлуатації – до 4 % [14]. Тому для визначення вмісту вологи в ізоляції найчастіше використовують метод вимірювання відновлювальної на ізоляції напруги після її заряду та короткочасного розряду, аналіз кривих струму заряду та розряду ізоляції або аналіз залежностей ємності та тангенса кута діелектричних втрат ізоляції від частоти, на якій здійснюються вимірюван-

ня. Для підвищення достовірності досліджень застосовують композиції зазначених методів.

Як показано в [25], процеси деградації целюлозної ізоляції обмоток викликають зниження міцності паперу та розвиток дегідратації. З рівня полімерізації паперової ізоляції обмоток, що викликає виникнення виткових замикань при зниженні механічної міцності паперу та місцевого підвищення концентрації вологи, можна зробити висновок про рівень роботоздатності ізоляції обмоток трансформатора, а отже таким чином відслідковувати спрацювання робочого ресурсу [26].

Слід зазначити, що останнім часом для продовження терміну експлуатації запроваджується підхід, який передбачає регенерацію целюлозної ізоляції обмоток шляхом її відмивання із застосуванням поверхнево-активних речовин [27]. Аналогічним чином в закордонній практиці застосовують періодичні очищення трансформаторного масла від кислих та окислених продуктів старіння паперово-масляної ізоляції, а також використовують спеціальні регенераційні масла для очищення ізоляції від продуктів старіння, що прискорюють шлакоутворення та дегідратацію целюлозної ізоляції обмоток [28, 29].

Широко застосовується в теперішній час хроматографічний аналіз розчинених в трансформаторному маслі газів, який є ефективним засобом діагностування силових трансформаторів [30], але через високу чутливість методу можуть бути хибні оцінки діагностування при наявності внутрішніх термічних дефектів трансформатора, наприклад, пошкодження ізоляції остова трансформатора, пошкодження магнітопроводу тощо.

В теперішній час вологовміст твердої ізоляції силових трансформаторів визначається перед введенням їх в експлуатацію за зразками використовуваної ізоляції. В процесі експлуатації трансформатора допускається оцінка вологовмісту ізоляції розрахунковим шляхом, але в системі нормативних документів відсутня методика визначення вологості твердої ізоляції з результатів діелектричних характеристик [31]. Ця методика пропонується у вказаній роботі, але вона має певні обмеження, що характеризуються специфікою умов проведення вимірювань.

Значна увага в плані дослідження роботоздатності обмоток силового трансформатора приділяється питанням визначення впливу часткових розрядів. В роботі [32] викладені основні підходи, які передбачають можливість виявлення та контролювання інтенсивності часткових розрядів, які мають місце при роботі електрообладнання і викликані впливом багатьох факторів. В теперішній час для виявлення часткових розрядів в ізоляції найбільше поширення отримали електричний та акустичний методи.

Відомий підхід [33], який передбачає відслідковування зміни індуктивного опору трансформатора, за яким прогнозується поява пошкоджень в обмотках силового трансформатора. Для його реалізації необхідно проведення висококваліфікованих вимірювань на виведеному з експлуатації обладнанні при наявності статистики зміни контрольованого параметра.

Важливим елементом силових трансформаторів є пристрої РПН, надійність роботи яких також суттєво впливає на роботоздатність трансформаторів в цілому. В роботі [34] запропоновано спосіб оцінки параметрів перемикачів контактів пристрою РПН без часткового розбирання трансформатора. Цей спосіб передбачає осцилографування сигналів по кожному каналу керування з подальшим аналізом цих осцилограм по характерних точках. Підкреслимо, що такий підхід можливий для застосування лише при виведенні об'єкта дослідження з експлуатації.

Іншим відомим підходом до діагностування пристрою РПН силового трансформатора є застосування нейро-нечіткої моделі для перевірки його роботоздатності в процесі експлуатації силового трансформатора [35].

Для підвищення надійності роботи пристрою РПН силового трансформатора застосовують складні автоматизовані контрольні-діагностичні системи [36, 37].

В ряді випадків доцільним є застосування методів та засобів тепловізійного дослідження технічного стану електрообладнання [38–41], проте таким чином можливо виявлення лише пошкоджень, що розвиваються, або на ранній стадії, або в передаварійному стані експлуатації і зовсім не дозволяють прогнозувати вичерпання робочого ресурсу

ізоляції або вузлів трансформатора в процесі експлуатації під дією різноманітних чинників.

Не менш ефективним є тепловізійне діагностування систем охолодження силових трансформаторів. Тільки такий підхід дозволяє виявляти на працюючому обладнанні неефективність охолодження через забруднення ребер радіаторів, дефект циркуляційного маслососа, внаслідок чого температура підвищується, та ступінь забруднення фільтрів і патрубків, що призводить до перекосу в теплових полях системи охолодження [42–44].

Значна увага приділяється технічному стану високовольтних вводів силових трансформаторів. Охарактеризуємо основні методи діагностування високовольтних ввідів [45].

1. Метод контролю стану ввідів, що ґрунтується на вимірюванні опору ізоляції [46], дозволяє сформувавши загальну уяву про стан ізоляції ввідів.

2. Метод контролю якості ущільнень ввідів лише дозволяє запобігти витіканню масла.

3. Метод індикації часткових розрядів забезпечує виявлення появи часткових розрядів.

4. Метод контролю ввідів, що базується на вимірюванні тангенса кута діелектричних втрат ($\text{tg } \delta$) і ємності ізоляції. Вимірювання $\text{tg } \delta$ дозволяє відслідковувати погіршення ізоляції за винятком локальних дефектних місць.

За вимірними значеннями $\text{tg } \delta$ ізоляції можливе виявлення дефектів на ранній стадії розвитку з кривих іонізації [47].

Вимірювання ємності ізоляції сприяє виявленню місцевих дефектів, наприклад, пробій частини ізоляції.

5. Методом дослідження трансформаторного масла визначаються в лабораторних умовах електрична міцність, тангенс кута діелектричних втрат, колір масла, механічні домішки, температура спалаху, кислотне число, вологовміст [48].

6. Метод дефектоскопії, оснований на хроматографічному аналізі розчинених в маслі газів, дозволяє за певними концентраціями розчинених газів спрогнозувати розвиток дефекту [49]. Для підвищення до-

стовірності виявлення дефектів доцільно контролювати вміст іонулу в трансформаторному маслі [50] та вміст фуранових речовин [51].

Вказаний метод передбачає високу кваліфікацію працівників та наявність спеціального обладнання.

7. Метод постійного контролю ізоляції вводів [52] полягає у вимірюванні ємнісного струму (струму небалансу) у нульовому проводі зірки, яка утворена з'єднанням вимірювальних відводів усіх трьох вводів силового трансформатора.

Відомі інші методи діагностування стану ізоляції маслонаповненого електрообладнання, які базуються на різних явищах, – фіксація струму і імпульсів розряду, акустичний шум і електромагнітне випромінювання, вимірювання магнітної індукції на стінках баку трансформатора тощо [53–57].

Разом з тим існує широке різноманіття засобів контролю технічного стану силових трансформаторів.

В роботі [58] запропоновано пристрій для вимірювання опору постійного струму обмоток силового трифазного трансформатора, який застосовується при пусконаладжувальних, профілактичних та періодичних випробуваннях, а також при комплексних обстеженнях трансформаторів. Пристрій дозволяє автоматизувати з високою точністю режим вимірювання опору постійному струму обмоток трифазних силових трансформаторів.

Подібний підхід до вимірювання опору обмоток трифазного трансформатора викладено в роботі [59].

Для вимірювання струму та втрат холостого ходу силових трансформаторів на стадії досліджень застосовується пристрій, в якому, за рахунок одночасної фіксації значень струму, напруги, частоти та потужності втрат холостого ходу з автоматичним виключенням впливу похибок втрат вимірювальної схеми, а також за рахунок виключення впливу складових струму та напруги кратних частот основної гармоніки, підвищується точність вимірювань [60].

Відомий пристрій для діагностування замикань в трансформаторі, принцип роботи якого полягає у подачі у вимірювальний контур високочастотного синусоїдального сигналу з наступним порівнянням виміряного сигналу з еталонним [61].

Подібну функцію виконує пристрій для випробування виткової ізоляції електричних обмоток, в якому формується випробувальна напруга у вигляді суми гармонічних складових, реакція об'єкта дослідження на яку, у вигляді амплітуди сигналу певної частоти, порівнюється з еталонним значенням [62].

В роботах [63, 64] описано пристрої для контролю технічного стану обмоток трансформатора, що дозволяють діагностувати пошкодження обмоток, викликані впливом струмів короткого замикання. Принцип їх роботи полягає у вимірюванні частотних характеристик струму в обмотках трансформатора, які є реакцією на тестовий сигнал.

Відомий спосіб для контролю технічного стану обмоток трансформатора [65], що передбачає поточні вимірювання напруг та струмів обмоток, а також частоти напруги електричної мережі та температури навколишнього середовища з подальшим порівнянням значень параметрів контролю з еталонними значеннями. Спосіб передбачає контроль роботоздатності трансформатора в нормальному режимі роботи.

Пристрій для контролю і захисту силових трансформаторів від деформацій обмоток при коротких замиканнях в процесі експлуатації опубліковано в [66]. Неперервний контроль стану обмоток досліджуваного силового трансформатора забезпечується постійним визначенням значення відхилення індуктивності від базової.

Відключення силового трансформатора від електричної мережі в разі виникнення режиму його роботи, що може призвести до появи деформації обмоток, запропоновано в пристрої, який опубліковано в [67].

В роботі [68] запропонований пристрій неперервного контролю стану обмоток силового трансформатора, принцип роботи якого полягає в наступному. Вимірюється струм в нейтралі силового трансформатора, напруга нульової послідовності на шинах, до якої підключена обмотка із заземленою нейтраллю. За допомогою виміряної напруги нульової послідовності формується струм, пропорційний струму нульової послідовності трансформатора в початковому стані, який віднімається від струму нейтралі трансформатора. Отримана різниця являє собою струм нульової послідовності від подовжньої несиметрії,

обумовленої різними опорами короткого замикання обмоток фаз трансформатора. Якщо при протіканні зовнішнього струму короткого замикання виникла деформація обмотки однієї з фаз трансформатора, то змінюється опір короткого замикання та струм нульової послідовності обмотки із заземленою нейтраллю, а, отже, з'являється результуючий струм, який по фазі колінеарний зі струмом деформованої обмотки, що є ознакою для виявлення фази трансформатора з деформованою обмоткою. Значення результуючого струму пропорційне відхиленню опору короткого замикання від початкового, а тому діленням модуля результуючого струму на модуль струму деформованої фази знаходиться відносно відхилення опору обмотки.

Аналогічним чином здійснюється контроль деформації обмоток силового трансформатора за допомогою пристрою, викладеного в [69].

Шляхом порівняння виміряного опосередковано фактичного значення опору короткого замикання обмоток трансформатора з еталонним в пристрої, що опублікований [70], реалізується висновок про ступінь деформації обмоток досліджуваного силового трансформатора.

В роботі [71] реалізовано спосіб виявлення короткозамкнутих витків електричної обмотки, яким передбачається підключення до обмоток напруги змінної частоти з наступним вимірюванням параметрів резонансного контуру обмоток. З частотного максимуму вимірюваного параметра приймається рішення про наявність коротких замикань.

Відомий переносний пристрій для контролю ізоляції силових трансформаторів [72], принцип роботи якого базується на явищі, що при погіршенні стану ізоляції обмоток трансформатора нелінійні частотні характеристики зміщуються в напрямку зменшення частоти. За допомогою ширококутового генератора синусоїдальних імпульсів сигнали подаються на обмотки трансформатора і з відклику, опрацьованому за математичною моделлю, робиться висновок про динаміку стану ізоляції.

В роботах [73, 74] викладені матеріали щодо пристроїв контролю стану ізоляції силових трансформаторів в процесі їх роботи. Особливістю реалізації зазначених пристроїв є відслідковування зміни число-

вих величин ємнісних та активних провідностей схеми заміщення контролюваного трансформатора, за якими формується висновок про передаварійну стадію експлуатації об'єкта дослідження, обумовлену, наприклад, зволоженням ізоляції. Додаткова функція оцінювання рівня інтенсивності часткових розрядів в ізоляції силового трансформатора реалізована в пристрої [74].

Для діагностування несправностей пристрою РПН силових трансформаторів використовується підхід, яким передбачається вимірювання по кривій струму тривалості процесу перемикавання та визначення тривалості знаходження в замкнутому та розімкнутому положеннях основних контактів контактора. Матеріали щодо реалізації пристрою опубліковані в роботі [75].

В іншій роботі [76] пропонується контролювати роботоздатність пристрою РПН шляхом вимірювання опору контактів в кожному положенні перемикача. При відхиленні виміряного значення опору від нормованого приймається рішення про можливу несправність. Така процедура здійснюється на стадії ремонту силових трансформаторів.

В ряді робіт передбачається здійснення діагностування стану силового трансформатора шляхом відслідковування зміни ряду параметрів, які визначаються опосередковано через вимірювання інших параметрів. Так, в роботі [77] визначається динамічна стійкість обмоток трансформатора з вимірюваних значень напруги та струму трансформатора. В іншій публікації [78] запропоновано вимірювати діючі значення та фази векторів струмів та напруги в обмотках в різні моменти часу, за якими визначається опір та втрати короткого замикання, а також значення струму та втрат холостого ходу. Формування підходів до визначення опору та втрат короткого замикання, струму та втрат холостого ходу, активних та індуктивних опорів кожної обмотки, коефіцієнта трансформації трансформатора, опору нульової послідовності розглядаються в роботі [79].

Крім того, існує підхід, який передбачає діагностування опресування обмоток трансформатора за спектральною густиною потужності наведеної в обмотках електроорушійної сили внаслідок появи вібраційних процесів при механічних впливах на трансформатор [80].

Значна увага в багатьох публікаціях приділяється побудові пристроїв для вимірювання робочого ресурсу силових трансформаторів.

В роботі [81] здійснена реалізація пристрою, який контролює старіння ізоляції опосередковано через вимірювання навантаження трансформатора. Більш досконала реалізація подібного пристрою запропонована в роботі [82], в якій при визначенні робочого ресурсу трансформатора враховується не тільки рівень завантаження, але і температура верхніх шарів трансформаторного масла. Інша реалізація пристрою діагностування силових трансформаторів з використанням аналогічних параметрів контролю здійснена в роботі [83].

Пристрій для вимірювання спрацювання силового трансформатора з врахуванням спрацювання робочого ресурсу обмоток шляхом вимірювання температури найбільшої нагрітої точки обмоток та рівня завантаження трансформатора, а також з визначенням залишкового робочого ресурсу високовольтних вводів з опосередкованого прогнозування рівня інтенсивності часткових розрядів, що призводять до ослаблення ізоляції, опубліковано в роботі [84].

Технічне вирішення, яке дозволяє як і в попередньому випадку відслідковувати спрацювання робочого ресурсу обмоток трансформатора, а також спрогнозувати момент виходу з ладу герметичних маслонаповнених вводів через появу та кількісне накопичення осаду на нижніх фарфорових покриттях вводів, викладено в [85].

Вимірювання ресурсу ізоляції обмоток силового трансформатора, а також прогнозування старіння його високовольтних вводів з рівня інтенсивності часткових розрядів та швидкістю її наростання реалізовано в пристрої, опублікованому в [86].

Структурна схема пристрою для діагностування силового трансформатора зображена на рис. 1.1.

На схемі: 1 – сенсор температури навколишнього середовища; 2, 6, 34, 35, 45 – перетворювачі сигналу; 3, 14, 36 – суматори; 4, 11, 12, 13 – підсилювачі; 5 – сенсор напруги; 7 – пристрій вибірки-зберігання; 8, 9, 10, 37 – функціональні перетворювачі; 15 – блок множення; 16 – АЦП; 17, 20, 25 – регістри; 18, 19 – цифрові суматори; 21, 22 – блоки задання ресурсу; 23, 24 – цифрові компаратори; 26, 41, 50 – елементи І; 27, 28, 47, 51 – індикатори; 29, 40 – генератори імпульсів; 30, 42, 49 – лічиль-

ники імпульсів; 31 – дешифратор; 32 – сенсор найвищої температури обмотки; 33 – сенсор струму; 38, 46 – компаратори; 39 – тригер; 43 – ЦАП; 44 – сенсор тиску; 48 – блок установки нуля; 52 – елемент АБО.

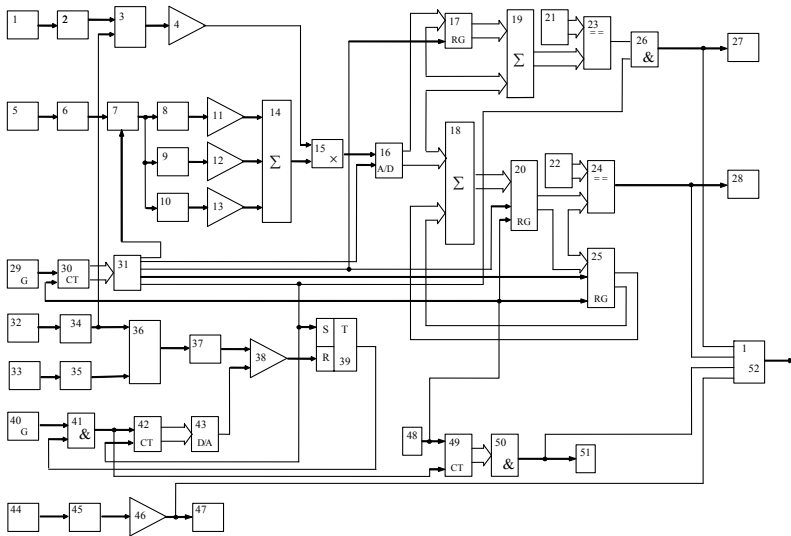


Рис. 1.1. Структурна схема пристрою для діагностування силового трансформатора

Принцип роботи пристрою полягає в обробці за математичною моделлю сигналів, що надходять від сенсорів напруги 5, струму трансформатора 33, найвищої температури обмотки 32, температури навколишнього середовища 1, тиску 44, з подальшим прийняттям рішення про спрацювання робочого ресурсу обмоток трансформатора з теплового старіння ізоляції, про спрацювання робочого ресурсу високовольтних ввідів з інтенсивності часткових розрядів та швидкості їх наростання. Залишковий робочий ресурс ізоляції записується в лічильнику імпульсів 49, а залишковий робочий ресурс високовольтних ввідів записується в регістрі 20.

В роботі [87] запропонований пристрій для моніторингу силових трансформаторів, який дозволяє в процесі експлуатації контролювати робочі параметри трансформатора та керувати його системами. Пристрій забезпечує вимірювання миттєвих, середніх та діючих значень

струмів, напруги і температури обмоток, температури навколишнього середовища, температур в системі охолодження трансформатора, рівень та тиск масла, його вологість і концентрацію розчинених газів, пристрій РПН, тиск масла у вводах, струми витоку ізоляції.

Пристрій дозволяє аналізувати зміну параметрів трансформатора в процесі експлуатації для попередньої оцінки дефектів, що розвиваються. На жаль, в роботі не вказано ні за якими математичними моделями здійснюється моніторинг, ні особливості технічної реалізації пристрою.

Аналогічним чином здійснюється комплексне діагностування силового трансформатора за допомогою систем, опублікованих в [88–90]. Основний акцент зроблено на процедуру діагностування з результатів хроматографічних досліджень трансформаторного масла.

Відома інша робота [91], в якій пропонується здійснювати моніторинг реального стану електрообладнання з допомогою вимірювальної системи, інформація в яку надходить зі спеціальних розроблених сенсорів, завдяки яким можливий контроль стану ізоляції, контроль рівня часткових розрядів, активності розрядних процесів, встановлення зони виявленого дефекту. В роботах [92, 93] постулюється теза про створення систем діагностування трансформаторного обладнання, яким контролюється температурний режим роботи, робота РПН, рівні навантаження по обмотках, перенапруги, газо- та вологовміст масла, системи охолодження, технологічні захисти тощо.

З проаналізованих публікацій випливає, що значна частина як викладених підходів, так і реалізованих засобів діагностування силових трансформаторів, непридатні для застосування при неперервному оцінюванні технічного стану трансформаторів. Ті технічні засоби та використовувані підходи, що реалізуються на працюючому обладнанні, не перекривають весь спектр проблем, що виникають в процесі роботи силових трансформаторів.

Наприклад, в роботах [94, 95] звертається увага на необхідність досконалішого визначення залишкового ресурсу силових трансформаторів, які працюють в режимі перевантаження.

Очевидно, що, застосовуючи інші підходи і розроблюючи математичні моделі, можливо розв'язувати інші актуальні задачі діагностування силових трансформаторів.

1.2. Методи і засоби діагностування технологічних захистів як керуючого електрообладнання енергоблока теплової електростанції

Як зазначалось вище, технологічне обладнання теплових електростанцій працює в особливо важких умовах. В багатьох роботах [96–99] наведені дані, в тому числі із закордонних джерел, згідно з якими робочий ресурс більшості одиниць обладнання теплових електростанцій вичерпано і в теперішній час пропонуються різноманітні підходи до продовження терміну експлуатації такого обладнання. Від надійності його роботи залежить не тільки обсяг відпущеної електричної або теплової енергії, але й безпека обслуговуючого персоналу. Тому для забезпечення стабільності роботи такого обладнання застосовуються системи технологічних захистів, які при найменшому відхиленні параметрів від допустимих значень миттєво реагують на ситуацію і здійснюють або відключення окремого вузла, чи енергоблока в цілому, або забезпечують плавне виведення контрольованого об'єкта з експлуатації. Це означає, що самі системи технологічних захистів повинні бездоганно функціонувати протягом всього часу експлуатації обладнання.

Як приклад, на Ладижинській ТЕС технологічними захистами обладнано як основне, так і допоміжне обладнання, дія яких спрямована на відключення як окремих агрегатів, так і блока в цілому, в залежності від можливих наслідків.

Залежно від причини, що викликала виникнення аварійної ситуації, у результаті дії захистів повинні виконуватися [5]:

- 1) зупинка енергоблока;
- 2) зупинка турбіни;
- 3) переведення енергоблока в режим холостого ходу;
- 4) зниження навантаження енергоблока;
- 5) зупинка котла;
- 6) переведення котла на розпалювальне навантаження;
- 7) виконання захисних операцій по окремих механізмах і пристроях;
- 8) дії локальних захистів.

- Як приклад, проілюструємо захисти, що діють на зупинку турбіни:
- захист при аварійному падінні вакууму;
 - захист при неприпустимому осьовому зсуві ротора;
 - захист при падінні тиску масла в системі змащення турбіни й на упорний підшипник;
 - захист при зниженні рівня масла в демпферному баку системи ущільнення вала генератора;
 - захист при відключенні маслонасоса ущільнення вала генератора;
 - захист при спрацьовуванні захисту ротора генератора;
 - захист при підвищенні температури пари перед стопорними клапанами циліндра високого тиску (ЦВТ) турбіни;
 - захист при підвищенні температури пари перед стопорними клапанами циліндра середнього тиску (ЦСТ) турбіни;
 - захист при зниженні температури перед стопорними клапанами ЦСТ турбіни;
 - захист при підвищенні обертів турбіни;
 - захист при падінні тиску рідини в системі регулювання турбіни;
 - захист при одночасному відкритті стопорних і регулювальних клапанів турбіни;
 - захист при зниженні витрати охолоджувальної води через газоохолоджувач;
 - захист при ручній зупинці турбіни;
 - захист від зниження тиску в імпульсній лінії системи регулювання турбіни;
 - захист від розвитку пожежі маслосистеми турбогенератора.

Проаналізуємо роботу технологічного захисту, коли відбувається, наприклад, аварійна зупинка турбіни. Такі операції виконуються у випадку спрацьовування кожного з показаних на рис. 1.2 захистів турбіни або генератора, а також у випадку аварійного переведення на розпалювальне навантаження котла з одночасним відключенням його від турбіни.

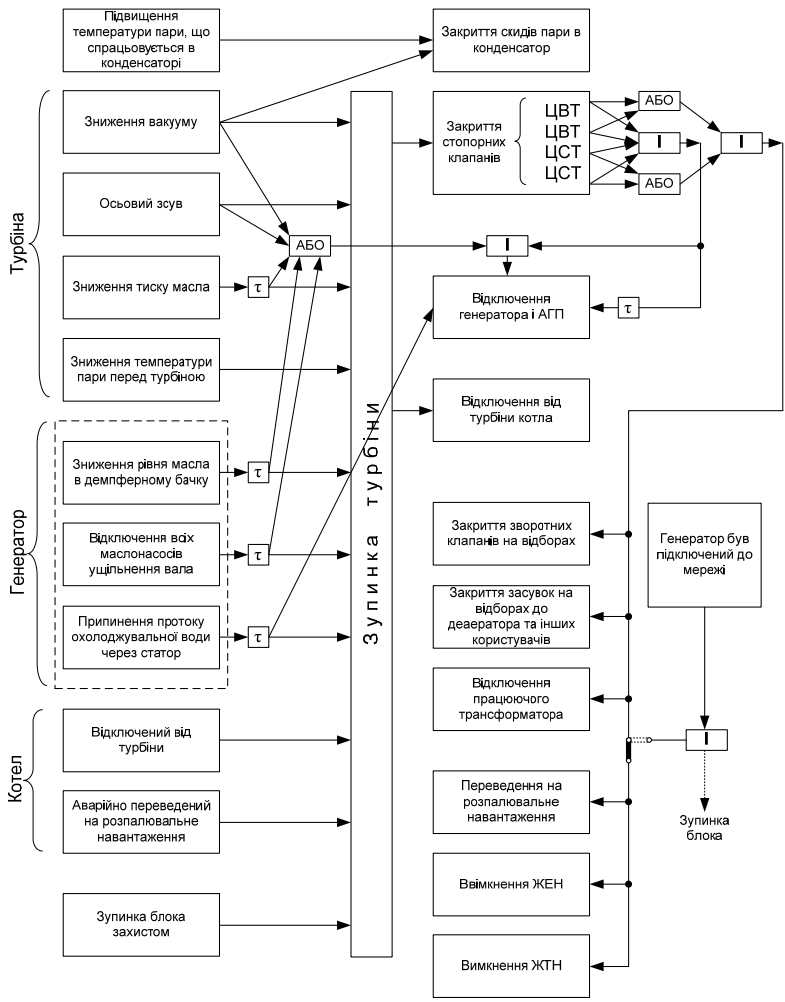


Рис. 1.2. Структурна схема дії захистів на аварійну зупинку турбіни

Крім того, системою регулювання турбіни забезпечується її відключення (закриття стопорних клапанів) автоматом безпеки при підвищенні швидкості обертання ротора турбіни вище припустимої й при зниженні тиску робочої рідини в системі регулювання.

Основними операціями, які виконуються при аварійній зупинці турбіни, є відключення турбіни (закриття стопорних клапанів) і відк-

лючення від турбіни котла (закриття засувок на паропроводах свіжої й удруге перегрітої пари перед турбіною).

Після закриття всіх стопорних клапанів ЦВТ і ЦСТ виконується відключення генератора й автомата гасіння поля (АГП). При цьому, якщо причиною, що викликала зупинку турбіни, є спрацьовування захисту щодо зниження тиску масла, осьового зсуву, зниження вакууму, зниження рівня в демпферному бачку або відключення всіх маслососів ущільнення вала генератора, відключення генератора й автомата гасіння поля здійснюються негайно після закриття всіх стопорних клапанів.

Якщо ж аварійна зупинка турбіни сталася через аварійну зупинку котла або в результаті зниження температури пари перед турбіною, то відключення генератора виконується після закриття всіх стопорних клапанів з витримкою часу, достатньою для закриття головних парових засувок.

Після закриття одного стопорного клапана ЦВТ і одного стопорного клапана ЦСТ виконується примусове закриття зворотних клапанів на відборах турбіни, закриття засувок на відборах до різних споживачів, а також подається команда на відключення блочного трансформатора власних потреб.

Якщо аварійна зупинка турбіни не супроводжується одночасною зупинкою блока, то після закриття стопорних клапанів котел переводиться на розпалювальне навантаження, що зберігає можливість швидкого включення турбіни після усунення причин, що викликали її відключення. Одночасно з переведенням котла на розпалювальне навантаження відключається живильний турбонасос (ЖТН), включається живильний електронасос (ЖЕН) і відключаються регулятори продуктивності живильних насосів.

Якщо при дії захистів переведення котла на розпалювальне навантаження з певних причин не може бути здійснене, то після закриття стопорних клапанів (за умови, що генератор уже був підключений до мережі) виконується повна зупинка блока.

У випадку дії захисту щодо зниження вакууму в конденсаторі додатково до перерахованих вище операцій здійснюється закриття всіх скидів середовища в конденсатор, що захищає конденсатор від ушко-

дження при втраті вакууму. Закриття всіх скидів у конденсатор здійснюється також у випадку підвищення температури пари, що скидається в конденсатор, вище припустимого значення.

Зазначимо, що в переважній більшості випадків системи технологічних захистів знаходяться в режимі очікування і лише в надзвичайних ситуаціях вони спрацьовують. Саме тому у обслуговуючого персоналу повинна бути впевненість в роботоздатності таких захистів, особливо коли вони знаходяться в стані готовності досить тривалий час.

Для цього необхідно забезпечити періодичну перевірку роботоздатності вказаних технологічних захистів, а в разі виникнення нештатних ситуацій негайно реагувати на них відповідним чином.

Слід зазначити, що в теперішній час не існує запроваджених засобів до перевірки роботоздатності систем технологічних захистів в процесі експлуатації технологічного обладнання. Саме тому, як зазначалось вище, передпускова перевірка систем технологічних захистів енергоблока теплової електростанції триває досить довгий період (наприклад, на Ладижинській ТЕС, понад 9 годин), а в процесі роботи енергоблока така перевірка не здійснюється. Такий стан справ підвищує небезпеку експлуатації основного обладнання.

В роботі [100] зазначається, що до теперішнього часу більшість автоматичних систем регулювання турбінами енергоблоків досліджується без застосування сучасних засобів автоматизації.

Саме тому з метою підвищення експлуатаційної економічності, надійності та довговічності обладнання необхідно використовувати при модернізації систем контролю та управління котло- і турбоагрегатів сучасні мікропроцесорні та комп'ютерні засоби зі створенням автоматизованих систем управління технологічними процесами агрегатів (АСУ ТП) [101, 102]. Як зазначається в [103] технологічні захисти обладнання необхідно реалізовувати на засобах, що здійснюють самодіагностування в процесі роботи. Загальні вимоги до побудови систем технологічних захистів викладені в [104].

В роботі [105] підкреслюється, що системи технологічного контролю енергоблока відносяться до окремо виділених задач, які розв'язуються в межах локальних АСУ ТП, що говорить про високий

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазыкин В. Г. Организационные аспекты эксплуатации изношенного электрооборудования / В. Г. Сазыкин // Промышленная энергетика. – 2000. – №4. – С.28–35.
2. Техническая диагностика. Термины и определения: ГОСТ 20911–89. – [Введ. 1991-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 13 с.
3. Кутин В. М. Диагностирование электрооборудования электрических систем / В. М. Кутин, В. И. Брейтбурд. – К. : УМК ВО, 1991. – 104 с.
4. Техническое диагностирование устройств промышленной энергетики после длительной эксплуатации / С. В. Сафронов, О. К. Прохода, В. А. Медеров, А. В. Никитин // Промышленная энергетика. – 1992. – №10. – С.33–36.
5. Инструкция по эксплуатации технологических защит основного и вспомогательного оборудования энергоблоков 1–6 Ладыжинской ТЭС. – Ладыжин, 2003. – 30 с.
6. Макаров О. Н. Опыт эксплуатации элегазового оборудования 220 кВ на ТЭЦ-27 Мосэнерго / О. Н. Макаров, Д. Ю. Вавилов // Электрические станции. – 2002. – № 10. – С. 41–43.
7. Аракелян В. Г. Метод оперативной физико-химической диагностики элегазовых электротехнических аппаратов / В. Г. Аракелян, В. Н. Демина // Электротехника. – 2002. – № 8. – С. 22–29.
8. Таран В. П. Диагностирование электрооборудования / В. П. Таран. – К. : Техника, 1983. – 200 с.
9. Макаревич Л. В. Современные тенденции в создании и диагностике силовых трансформаторов больших мощностей / Л. В. Макаревич, Л. Н. Шифрин, М. Е. Алпатов // Известия Академии наук. Энергетика. – 2008. – № 1. – С. 45–69.
10. О надежности силовых трансформаторов и автотрансформаторов электрических сетей / М. Ю. Львов, Ю. Н. Львов, Ю. А. Дементьев и др. // Электрические станции. – 2005. – № 11. – С. 69–75.
11. Вопросы повышения надежности работы блочных трансформаторов / Б. В. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов и др. // Электрические станции. – 2003. – № 7. – С. 38–42.

12. Алексеев Б. А. Продление срока службы силовых трансформаторов. Новые виды трансформаторного оборудования. СИГРЭ-2002 / Б. А. Алексеев // Электрические станции. – 2003. – № 7. – С. 63–69.
13. Алексеев Б. А. Обследование состояния силовых трансформаторов. СИГРЭ-2002 / Б. А. Алексеев // Электрические станции. – 2003. – № 6. – С. 74–80.
14. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования / Под общей редакцией Б. А. Алексеева, Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамикоянца. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 1998.
15. Попов Г. В. Алгоритм комплексной диагностики масляных трансформаторов / Г. В. Попов, Ю. Ю. Рогожников // Электрические станции. – 2003. – № 8. – С. 54–59.
16. Голоднов Ю. М. Контроль за состоянием трансформаторов / Ю. М. Голоднов. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 88 с. – (Б-ка электрика: Вып. 603).
17. Хренников А. Ю. Диагностика силовых трансформаторов в Самарэнерго методом низковольтных импульсов / А. Ю. Хренников, О. М. Киков // Электрические станции. – 2003. – № 11. – С. 47–51.
18. Осотов В. Н. Оценка механического состояния обмоток крупных трансформаторов без их разборки / В. Н. Осотов, В. Н. Рущинский, В. В. Рущинский и др. // Электрические станции. – 2003. – № 6. – С. 51–57.
19. Показатели состояния изоляции для оценки возникновения внутренних коротких замыканий в силовых трансформаторах / В. Б. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов, Б. Н. Неклепаев // Электрические станции. – 2003. – № 2. – С. 65–69.
20. Monitoring of Winding Displacement in HV Transformer in Service / R. Malewski, A. Yu. Khrennikov, O. A. Shlegel, A. G. Dolgopopolov CIGRE, Italy, Padua, 1995, 4-9 Sept.
21. Khrennikov A. Yu. Short-circuit performance of power transformers. LVI Test experience at Samaraenergo Co and at Power Testing Station in Togliatti, including fault diagnostics / A. Yu. Khrennikov CIGRE, Hungary, Budapest, 1999, 14-17 June.
22. Lapworth J.A. Transformer Winding Movement Detection by Frequency Response Analysis (FRA) / J.A. Lapworth, A.J. McGrail - Sixty-Sixth Annual International Conference of Doble Clients, 1999, April.

23. Oommen T.V. Bubble generation in transformer windings under overload conditions / T. V. Oommen, E. M. Pertie, S. R. Lidgren - Sixty-Second International Conference of Doble Clients, 1995, March.

24. Алексеев Б.А. Контроль влажности изоляции силовых трансформаторов. Использование поляризационных явлений / Б.А. Алексеев // Электрические станции. – 2004. – № 2. – С. 57–63.

25. Нормирование показателей для оценки износа изоляции обмоток силовых трансформаторов / М. Ю. Львов, М. И. Чичинский, Ю. Н. Львов и др. // Электрические станции. – 2002. – № 7. – С. 51–54.

26. Эксплуатация силовых трансформаторов при достижении предельно допустимых показателей износа изоляции обмоток / В. Б. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов, Л. Н. Шифрин // Электрические станции. – 2004. – № 2. – С. 63–65.

27. О регенерации целлюлозной изоляции обмоток силовых трансформаторов с длительным сроком эксплуатации / В. Б. Комаров, М. Ю. Львов, Ю. Н. Львов и др. // Электрические станции. – 2004. – № 6. – С. 63–67.

28. Experiences from on-site transformers oil reclaiming/ O. Berg, K. Herdlevær, M. Dahlung a.o. – Session 2002 CIGRE.

29. Pantic V.A. Extension of the lifetime and increase of the transformer operation safety on the grid / V.A. Pantic, D.V. Pantic, V. Microsavljjevic. – Session 2002 CIGRE.

30. Шинкаренко Г. В. Методы выявления дефектов силовых трансформаторов / Г. В. Шинкаренко, В. А. Карачун, М. А. Юхименко // Электрические станции. – 2005. – № 9. – С. 52–62.

31. Ванин В. Б. Оценка влагосодержания изоляции обмоток силовых трансформаторов по диэлектрическим характеристикам / В. Б. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов // Электрические станции. – 2004. – № 9. – С. 61–63.

32. Кучинский Г. С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г. С. Кучинский. – Л. : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979. – 244 с.

33. Хренников А. Ю. Контроль изменения индуктивного сопротивления трансформатора для определения повреждений в обмотках / А. Ю. Хренников, О. А. Шлегель // Энергетик. – 2004. – № 2. – С. 27–30.

34. Диагностика устройств регулирования напряжения силовых трехфазных трансформаторов / Г. М. Михеев, Ю. А. Федоров, В. М. Шевцов, С. М. Баталыгин // Электрические станции. – 2006. – № 4. – С. 54–61.
35. Лежнюк П. Д. Діагностування РПН силових трансформаторів з використанням нечітких множин / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, М. І. Пиріжок // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2005. – № 15. – С. 64–69.
36. Lewand I. Effective means of the control – the analysis of particles in oil of the transformer / I. Lewand, E. Finnan // Electrical World. – 2001. – Vol. 215, № 1. – P.16–18.
37. The continuous control of power transformer over the tendencies, the new development, the first experience of the control transformers 300 MVA / W. Knorr, T. Liebfried, K. Wiereck et al. // Доклад СИГРЭ 12-211. – 1998.
38. Тепловизионный контроль электротехнического оборудования и опыт диагностики силовых трансформаторов / А. Ю. Хренников, А. В. Рубцов, В. В. Щербаков, С. А. Языков // Электрические станции. – 2006. – № 5. – С. 63–67.
39. Маслова В. А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле / В. А. Маслова, В. А. Стороженко. – Харьков : Компания СМІТ, 2004. –160 с.
40. Хренников А. Ю. Диагностика состояния электрооборудования электростанций и подстанций с помощью средств инфракрасной техники / А. Ю. Хренников, В. В. Щербаков // Электро. – 2006. – №2. – С. 15–20.
41. Малов А. А. Тепловизионное обследование силовых трансформаторов / А. А. Малов, А. Ю. Снетков // Энергетик. – 2000. – №2. – С. 34–35.
42. Новоселов О. О. О тепловизионном контроле систем охлаждения мощных силовых трансформаторов / О. О. Новоселов, В. Н. Осотов // Электрические станции. – 2000. – №6. – С. 63–65.
43. Анцинов А. В. Контроль исправности систем охлаждения силовых трансформатора с помощью тепловизора / А. В. Анцинов // Энергетик. – 2003. – №1. – С. 25.

44. Анцинов А. В. Использование тепловизора для контроля равномерности систем охлаждения силовых трансформаторов / А. В. Анцинов // Электро. – 2003. – №2. – С. 24–26.
45. Мокин Б. И. Математические модели и информационно-измерительные системы для технической диагностики трансформаторных вводов / Б. И. Мокин, В. В. Грабко, Динь Тхань Вьет. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1997. – 130 с.
46. Бажанов С. А. Монтаж и эксплуатация маслонаполненных вводов / С. А. Бажанов, В. Ф. Воскресенский. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 104 с. - (Б-ка электромонтера. Вып. 518).
47. Шинкаренко Г. В. Использование рабочего напряжения для измерения диэлектрических характеристик трансформаторов тока и вводов / Г. В. Шинкаренко // Электрические станции. – 2000. – № 3. – С. 58–64.
48. Липштейн Р. А. Трансформаторное масло / Р. А. Липштейн, М. И. Шахнович. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.
49. РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. – М., 2001.
50. Бузаев В. В. Газохроматографический анализ трансформаторного масла на содержание в нем ионола / В. В. Бузаев, Ю. Н. Львов, Н. Ю. Смоленская, Ю. М. Сапожников // Электрические станции. – 1996. – № 1. – С. 51–53.
51. Львов Ю. Н. Об оценке состояния изоляции маслонаполненного оборудования по наличию фурановых веществ в масле / Ю. Н. Львов, Н. А. Писарева, Я. В. Ланкау // Электрические станции. – 1999. – № 11. – С. 54–55.
52. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П. М. Сви. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
53. Abe Kei-ichi, Umemura Tokihiro Method of diagnosing aged degradation of oil-filled electrical equipments // Pat. 5258310 USA; K.K. Toshiba.- № 692663; 1993.
54. Ozari Tamon, Abe Kei-ichi, Umemura Tokihiro Partial discharge detection using ferrite antenna // Conf. Rec. IEEE Int. Symp. Elec. Insul., Baltimore, Md, June 7-10, 1992. – Piscataway (N.J.), 1992. – P. 371–374.

55. Levi Rake, Rivers Mark On-site power equipment insulation evaluation using an expert system // Conf. Elec. Insul. And Dielec. Phenom., Knoxville, Tenn., Oct. 20-23, 1991, IEEE Annu.Rept. – Piscataway (N.J.), 1991. – P. 621–625.

56. Pandey S.B., Lin Chiming Estimation for a life model of transformer insulation under combined electrical and thermal stress // IEEE Trans. Reliab. – 1992. – Vol. 41, № 3. – P. 466–468.

57. Долин А. П. Диагностика развивающихся дефектов силовых трансформаторов / А. П. Долин, А. Ю. Ленков // Электрические станции. – 2005. – № 5. – С. 49–53.

58. Пат. 2281523 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/06. Устройство для измерения сопротивления постоянному току обмоток трехфазного силового трансформатора с выведенной на корпус нейтралью / Михеев Г. М., Федоров Ю. А., Баталыгин С. Н., Шевцов В. М.; заявитель и патентообладатель Михеев Г. М., Федоров Ю. А., Баталыгин С. Н., Шевцов В. М. – № 2004135447/28 ; заявл.03.12.04 ; опубл. 10.08.06, Бюл. № 22.

59. А.с. 788032 СССР, МКИ G 01 R 27/00. Способ измерения сопротивления обмоток трехфазного трансформатора / Б. А. Антонов (СССР). – № 2432911/18-21 ; заявл. 24.12.76 ; опубл. 15.12.80, Бюл. № 46.

60. Пат. 2282862 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/06. Устройство для измерения тока и потерь холостого хода силовых трансформаторов при малом напряжении / Михеев Г. М., Федоров Ю. А., Баталыгин С. Н.; заявитель и патентообладатель Михеев Г. М., Федоров Ю. А., Баталыгин С. Н. – № 2005104639/28 ; заявл.21.02.05 ; опубл. 27.08.06, Бюл. № 24.

61. А.с. 1691788 СССР, МКИ G 01 R 31/06. Способ диагностики замыканий в трансформаторе / Ю. В. Суходолов, А. А. Шилов, А. И. Мельников (СССР). – № 3987107/63 ; заявл. 03.12.85 ; опубл. 15.11.91, Бюл. № 42.

62. А.с. 1723538, МКИ G 01 R 31/02. Способ испытания витковой изоляции электрических обмоток / В. Г. Тихобаев, Ю. К. Горбунов, В. А. Грязин и др. (СССР). – № 4456472/21 ; заявл. 06.07.88 ; опубл. 30.03.92, Бюл. № 12.

63. А.с. 1760476, МКИ G 01 R 31/00. Способ контроля технического состояния обмоток трансформатора / П. М. Сви, В. В. Смекалов (СССР). – № 4825928/21 ; заявл. 20.04.90 ; опубл. 07.09.92, Бюл. № 33.

64. Пат. 2240571 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/06. Устройство для контроля технического состояния обмоток трансформатора / Баширов З. А., Рыбаков Е. Р., Тюрин А. Н., Волошановский А. Ю.; заявитель и патентообладатель Казанский госуд. энергетич. ун-т. – № 2003109299/09 ; заявл.02.04.03 ; опубл. 20.11.04, Бюл. № 32.

65. А.с. 1742750 СССР, МКИ G 01 R 31/02. Способ контроля состояния обмоток трансформатора / А. М. Гиновкер (СССР). – № 4847370/21 ; заявл. 11.05.90 ; опубл. 23.06.92, Бюл. № 23.

66. Пат. 2063050 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/02. Устройство контроля и защиты силовых трансформаторов от деформаций обмоток при коротких замыканиях в процессе эксплуатации / Лурье А. И., Шлегель О. А., Хренников А. Ю.; заявитель и патентообладатель филиал Всероссийского электротехнического института им. В. И. Ленина. – № 92003460/28 ; заявл.02.11.92 ; опубл. 27.06.96, Бюл. № 18.

67. Пат. 2136099 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/02. Устройство контроля и защиты обмоток трансформаторов от деформаций обмоток при коротких замыканиях / Хренников А. Ю. ; заявитель и патентообладатель учебно-научно-производственный комплекс УНПК «Энергия». – № 94037905/09 ; заявл.06.10.94 ; опубл. 27.08.99, Бюл. № 24.

68. Пат. 2059257 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/02. Способ контроля деформации обмоток силовых трансформаторов / Засыпкин А. С., Гармаш В. А., Дорожко С. В.; заявитель и патентообладатель Новочеркасский политехнический институт им. Орджоникидзе. – № 93025872/28 ; заявл.30.04.93 ; опубл. 27.04.96, Бюл. № 12.

69. А.с. 1613977 СССР, МКИ G 01 R 31/06. Способ контроля деформации обмоток силовых трансформаторов / А. С. Засыпкин, В. А. Гармаш, В. В. Ильиничнин (СССР). – № 4217204/24-21 ; заявл. 27.03.87 ; опубл. 15.12.90, Бюл. № 46.

70. А.с. 1221620 СССР, МКИ G 01 R 31/06. Способ контроля внутренних обмоток силовых трансформаторов / Ю. С. Конов, С. В. Цурпал (СССР). – № 3790086/24-21 ; заявл. 12.07.84 ; опубл. 30.03.86, Бюл. № 12.

71. Пат. 2305291 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/06. Способ определения короткозамкнутых витков в электрических обмотках / Афонасов А. А., Корнеев А. В., Пригоркин Е. С.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н. А. Доллежалея. – № 206113407/28 ; заявл.21.04.06 ; опубл. 27.08.07, Бюл. № 24.

72. Пат. 2245559 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/14. Переносное устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов / Рыбаков Л. М., Ахметшин Р. С.; заявитель и патентообладатель Марийский государственный университет. – № 2003133332/28 ; заявл.17.11.03 ; опубл. 27.01.05, Бюл. № 3.

73. А.с. 1357886 СССР, МКИ G 01 R 31/06. Устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов / Р. С. Ахметшин, И. М. Беремжанов, Л. М. Рыбаков (СССР). – № 3988814/24-21 ; заявл. 05.11.85 ; опубл. 07.12.87, Бюл. № 45.

74. А.с. 1465831 СССР, МКИ G 01 R 31/06. Устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов / Р. С. Ахметшин, И. М. Беремжанов (СССР). – № 4302143/24-21 ; заявл. 31.08.87 ; опубл. 15.03.89, Бюл. № 10.

75. Пат. 2290653 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/333. Способ оценки в силовых трехфазных трансформаторах параметров процесса переключения контактов контактора быстродействующего регулятора под нагрузкой без его вскрытия и устройство для его осуществления / Федоров Ю. А., Михеев Г. М., Шевцов В. М., Баталыгин С. Н.; заявитель и патентообладатель Федоров Ю. А., Михеев Г. М., Шевцов В. М., Баталыгин С. Н. – № 2004137182/28 ; заявл.20.12.04 ; опубл. 27.12.06, Бюл. № 36.

76. А.с. 1737378 СССР, МКИ G 01 R 31/02. Устройство для выявления дефектов переключающих устройств силовых трансформаторов / В. И. Якименко, А. К. Расторгуев, А. И. Полянчиков (СССР). - № 4691442/21 ; заявл. 03.04.89 ; опубл. 30.05.92, Бюл. № 20.

77. А.с. 1622842 СССР, МКИ G 01 R 27/26. Способ определения динамической стойкости обмоток трансформатора / А. М. Гиновкер, А. Н. Вшивцев, М. В. Лимонов (СССР). – № 4432532/21 ; заявл. 30.05.88 ; опубл. 23.01.91, Бюл. № 3.

78. Пат. 2069371 Российская Федерация, МПК G 01 R 35/02. Способ диагностики силовых трансформаторов / Бутырин П. А., Алексейчик Л. В., Алпатов М. Е.; заявитель и патентообладатель Бутырин П. А., Алексейчик Л. В., Алпатов М. Е. – № 93033648/28 ; заявл.29.06.93 ; опубл. 20.11.96.

79. Пат. 2237254 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/02. Способ диагностики силовых трансформаторов / Алюнов А. Н., Бабарушкин В. А., Булычев А. В., Гуляев В. А.; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный технический университет. – № 2003100586/09 ; заявл.08.01.03 ; опубл. 27.09.04, Бюл. № 27.

80. Пат. 2117955 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/06. Способ диагностики трансформатора / Белолапатко А. И., Васильев А. Ф., Горлов В. П. и др.; заявитель и патентообладатель Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ технической физики. – № 97105740/09 ; заявл.10.04.97 ; опубл. 20.08.98.

81. А.с. 625168 СССР, МКИ G 01 R 21/06. Устройство для измерения ресурса работы силовых трансформаторов / В.Я. Синельников, М.Л. Ланда (СССР). - № 1905954/24-7; заявл. 17.04.73; опубл. 25.09.78, Бюл. № 35.

82. А.с. 691787 СССР, МКИ G 01 R 31/06. Устройство для измерения износа силовых трансформаторов / М. Л. Ланда, В. Я. Синельников, Р. Ф. Стасенко, И. М. Шишков (СССР). – № 2371184/18-21 ; заявл. 14.06.76 ; опубл. 15.10.79, Бюл. № 38.

83. А.с. 864158 СССР, МКИ G 01 R 19/26. Устройство для измерения износа силовых трансформаторов / А. В. Бегнева, Ж. П. Гейдерман, Г. В. Краснов и др. (СССР). – № 2844851/18-21 ; заявл. 20.11.79 ; опубл. 15.09.81, Бюл. № 34.

84. Пат. 21813 Україна, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів / Мокін Б. І., Грабко В. В., Дінь Тхань В'єт; заявник та патентоутримувач Вінницький державний технічний університет. – № 95052359 ; заявл. 16.05.95 ; опубл. 30.04.98, Бюл. № 2.

85. Пат. 23192 Україна, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів / Мокін Б. І., Грабко В. В., Дінь Тхань В'єт; заявник та патентоутримувач Вінницький державний

технічний університет. – № 96083226 ; заявл. 12.08.96 ; опубл. 31.08.98, Бюл. № 4.

86. Пат. 34253 Україна, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів / Мокін Б. І., Грабко В. В.; заявник та патентоутримувач Вінницький державний технічний університет. – № 99063415; заявл. 18.06.99 ; опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.

87. Пат. 2242830 Российская Федерация, МПК H 02 H 07/04. Устройство для мониторинга силовых трансформаторов / Рассальский А. Н.; заявитель и патентообладатель Рассальский А. Н. - № 2003120735/28 ; заявл.10.07.03 ; опубл. 20.12.04, Бюл. № 35.

88. Заболотный И. П. Компьютерная система диагностирования трансформаторов / И. П. Заболотный // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – № 4/2005(33). – С. 129–133.

89. Chang W.Y. Expert system for transformer faults diagnosis / W. Y. Chang // Monthly Journal of Taipower's Engineering. – 1994. – No. 551. – P. 71–86.

90. Lin C. E. An expert system for transformer fault diagnosis and maintenance using dissolved gas analysis / C. E. Lin, J. M. Ling, C. L. Huang // IEEE Trans. on PWRD. – 1993. – Vol. 8, No. 1. – P. 231–238.

91. Ляпин А. Г. Комплексный подход к диагностике и оценке технического состояния энергетического оборудования / А. Г. Ляпин, Б. Г. Певчев, А. А. Пимошин // Электрические станции. – 2005. – № 8. – С. 64–67.

92. Мордкович А. Г. О построении подсистем мониторинга, управления и диагностики оборудования подстанций сверхвысокого напряжения и их интеграция в АСУ ТП ПС / А. Г. Мордкович, П. А. Горожанкин // Электрические станции. – 2007. – № 6. – С. 44–54.

93. Kim J. B. Development of the Remote Monitoring and Diagnosis System for High Voltage Substation / J. B. Kim, M. S. Kim, J. R. Jung a.o. Cigre Session, Paris, 2004, Paper B5 – 108.

94. Стжалка-Голушка К. Зміни принципів визначення перенавантажень трансформаторів за нормою PN-EN 60345: 1999 / К. Стжалка-Голушка, Я. Стжалка // Електроінформ. – 2008. – № 2. – С. 14–17.

95. PN-IEC 60345: 1999. Przewodnik obciążalność transformatorów o naturalnym obiegu oleju.

96. Дубов А. А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования / А. А. Дубов // Теплоэнергетика. – 2003. – № 11. – С. 54–57.

97. Попов А. Б. Проблема продления ресурса теплоэнергетического оборудования ТЭС / А. Б. Попов, Е. К. Первалова, А. Ю. Сверчков // Теплоэнергетика. – 2003. – № 4. – С. 29–36.

98. Никджу А. Д. Некоторые вопросы долговечности стареющего оборудования ТЭС / А. Д. Никджу, Э. М. Фархадзаде, А. З. Мурадалиев // Теплоэнергетика. – 2003. – № 10. – С. 72–77.

99. Тумановский А. Г. Стратегия продления ресурса и технического перевооружения тепловых электростанций / А. Г. Тумановский, В. Ф. Резинских // Теплоэнергетика. – 2001. – № 6. – С. 3–10.

100. Проведение компьютерного контроля автоматических систем регулирования / О. А. Юланов, В. В. Леснов, В. М. Гладченко, И. В. Леснов // Электрические станции. – 2005. – № 9. – С. 14–19.

101. Опыт формирования концепции модернизации АСУТП мощных энергоблоков тепловых электростанций / Ю. С. Тверской, В. К. Крайнов, В. Н. Шамко и др. // Электрические станции. – 2002. – № 8. – С. 4–11.

102. Опыт создания информационно-вычислительных систем при модернизации традиционных информационных систем котло- и турбоагрегатов ТЭС / Ю. В. Сенягин, В. И. Щербич, В. И. Чижонков, Ю. А. Шмаков // Электрические станции. – 2003. – № 10. – С. 49–53.

103. Фельдман В. Г. Создание АСУ ТП энергоблока 200 МВт с ПТК «Торнадо» / В. Г. Фельдман, О. В. Сердюков // Электрические станции. – 2005. – № 3. – С. 20–26.

104. РД 153-34.1-35.127-2002. Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых электростанций. – М. : СПО ОРГРЭС, 2003.

105. Биленко В. А. Модернизация систем контроля и управления ТЭС / В. А. Биленко, В. В. Лыско, А. Г. Свищерский // Электрические станции. – 2004. – № 1. – С. 28–31.

106. Невзгодин В. С. Алгоритмические основы автоматизации пуска парогазовых установок большой мощности / В. С. Невзгодин,

Ю. А. Радин, М. А. Панько // Теплоэнергетика. – 2007. – № 10. – С. 46–51.

107. Информационно-вычислительные системы на ТЭС в КНР / В. А. Дементьев, А. Я. Френкель, В. В. Глухов и др. // Теплоэнергетика. – 2002. – № 6. – С. 47–56.

108. Баляев Д. В. Диагностирование технического состояния теплообменных аппаратов на основе математического моделирования / Д. В. Баляев, Б. П. Башуров // Теплоэнергетика. – 2001. – № 5. – С. 69–72.

109. Диагностика информационной подсистемы АСУ ТП с использованием технологий искусственного интеллекта / А. И. Репин, В. Р. Сабанин, Н. И. Смирнов, С. Н. Андреев // Теплоэнергетика. – 2006. – № 6. – С. 63–68.

110. Пат. 2325685 Российская Федерация, МПК G 05 В 23/02. Диагностика технологического устройства с использованием датчика технологического параметра / Эриурек Эврен, Каваклиоглу КаDIR, Эсболд Стивен Р.; заявитель и патентообладатель РОУЗМАУНТ, Инк. (US). – № 2005141148/09 ; заявл.03.06.04 ; опубл. 27.05.08, Бюл. № 15.

111. Пат. 2223532 Российская Федерация, МПК G 05 В 23/02. Способ и устройство для проверки работоспособности устройства защиты / Винчком Джон, Хегстрем Карл-Кристиан.; заявитель и патентообладатель НЕЛЕС ФИЛД КОНТРОЛЗ ОЙ (FI). – № 2000112092/09 ; заявл.07.10.98 ; опубл. 10.02.04, Бюл. № 4.

112. Пат. 2313815 Российская Федерация, МПК G 05 В 23/02. Устройство и способ для контроля технической установки, содержащей множество систем, в частности установки электростанции / Фик Вольфганг, Аппель Мирко, Герк Уве. ; заявитель и патентообладатель СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE). – № 2005112459/09 ; заявл.04.07.03 ; опубл. 27.12.07, Бюл. № 36.

113. Пат. 2279703 Российская Федерация, МПК G 05 В 23/02. Устройство контроля технического состояния объекта диагностики по остаточному ресурсу / Старшинов Б. С., Романюк Н. И., Фролов М. В.; заявитель и патентообладатель Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого. – № 2004133495/09 ; заявл.17.11.04 ; опубл. 10.07.06, Бюл. № 19.

114. Пат. 2239869 Российская Федерация, МПК G 07 С 11/00. Способ диагностирования объектов и устройство для его осуществления /

Зюба Т. В., Кирилкин В. С., Шидловский В. И.; заявитель и патентообладатель Академия гражданской авиации. – № 2002106590/09 ; заявл.03.06.02 ; опубл. 10.11.04, Бюл. № 31.

115. Пат. 2252453 Российская Федерация, МПК G 06 N 1/00. Способ моделирования аварии, диагностики и восстановления работоспособности сложной технологической структуры и информационная система для его реализации / Смирнов Д. П. ; заявитель и патентообладатель Смирнов Д. П. – № 2004124501/28 ; заявл.12.08.04 ; опубл. 20.05.05, Бюл. № 14.

116. Пат. 2156493 Российская Федерация, МПК G 05 B 23/02. Автоматизированная система контроля / Пономарев Н. Н., Гоев Н. В., Иванов В. Д. и др.; заявитель и патентообладатель Рязанское конструкторское бюро «Глобус». – № 99103989/09 ; заявл.24.02.99 ; опубл. 20.09.00.

117. А.с. 1339503 СССР, МКИ G 05 B 23/02. Устройство для диагностики систем автоматического управления / А. Л. Лынов (СССР). – № 4020038/24-24 ; заявл. 06.02.86 ; опубл. 23.09.87, Бюл. № 35.

118. Технический каталог. Трансформаторы. – ОАО “Укрэлектр-аппарат”, 2007. – 82 с.

119. Турчак Л. И. Основы численных методов: учеб. пособие / Л. И. Турчак. – М. : Наука, Гл.ред. физ.-мат. лит., 1987. – 320 с.

120. Ивахненко А. Г. Помехоустойчивость моделирования / А. Г. Ивахненко, В. С. Степашко. – К. : Наук. думка, 1985. – 216 с.

121. Дьяконов В. П. MathCAD 7.0 в математике, физике и в Internet / В. П. Дьяконов, И. В. Абраменкова. – М. : Нолидж, 1998. – 352 с.

122. Грабко В. В. Математична модель для побудови ресурсних характеристик силового трансформатора, який працює в режимі перевантаження / В. В. Грабко, Д. О. Березницький // Вісник ВПІ. – 2008. – №1. – С. 55–58.

123. Грабко В. В. Математична модель для діагностування силових трансформаторів в режимі перевантаження / В. В. Грабко, Д. О. Березницький // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – № 4/2008 (51). Частина 2. – С. 164–166.

124. Отчёт по наладке технологических защит блока №1 300 МВт Ладжинской ГРЭС часть 2. – Львов, 1971. – 48 с.

125. Овсяк В. К. Алгоритми: аналіз методів, алгебра впорядкувань / В. К. Овсяк. – Львів. – 1996. – 24 с.
126. Грабко В. В. Синтез структури пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни / В. В. Грабко, Д. О. Березницький // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – № 4/2005(33). – С.101–105.
127. Грабко В. В. Мікропроцесорна реалізація пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни / В. В. Грабко, Д. О. Березницький // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2005. – № 45. – С.430–431.
128. Иванов В. Н. Проектирование аналоговых систем на специализированных БИС / В. Н. Иванов, В. В. Иванов.– Л.: ЦНИИ «Румб», 1988. – 139 с.
129. Тетельбаум И. М. Практика аналогового моделирования динамических систем : Справочное пособие / И. М. Тетельбаум, Ю. Р. Шнейдер. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.
130. Захаров В. Н. Системы управления – Задание. Проектирование. Реализация / В. Н. Захаров, Д. А. Поспелов, В. Е. Хазацкий. – М. : Энергия, 1977. – 424 с.
131. Захаров В. Н. Автоматы с распределенной памятью / В. Н. Захаров. – М. : Энергия, 1975. – 136 с.
132. Шило В. Л. Популярные цифровые микросхемы : справочник / В. Л. Шило. – М. : Радио и связь, 1987. – 352 с.
133. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы : справочник / [Якубовский С. В., Ниссельсон Л. И., Кулешова В. И. и др.]; под ред. С. В. Якубовского. – М. : Радио и связь, 1990. – 496 с.
134. Щербаков В. И. Электронные схемы на операционных усилителях : справочник / В. И. Щербаков, Т. И. Грездов. – К.: Тэхніка, 1983. – 213 с.
135. Хоровиц П. Искусство схемотехники : в 2-х томах / П. Хоровиц, У. Хилл ; пер. с англ. – М. : Мир, 1983. – 598 с. – (т.1).
136. Синельников В. Я. Микропроцессорные системы диагностики состояния электроустановок / В. Я. Синельников, С. В. Казанский // Обзорная информация. – М. : Информэнгеро, 1989. – 32 с.

137. Грабко В. В. Синтез структури пристрою для діагностування силового трансформатора з врахуванням роботи в режимі перевантаження / В. В. Грабко, Д. О. Березницький // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – 2008. – № 1(9). – С.197–203.

138. Пат. 16643 Україна, МПК G 05 В 23/02. Пристрій для діагностування системи захисту технологічного об'єкта / Грабко В. В., Березницький Д. О. ; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u200602160 ; заявл. 27.02.2006 ; опубл. 01.08.2006, Бюл. № 6.

139. Пат. 26971 Україна, МПК G 05 В 23/00. Пристрій для діагностування системи захисту технологічного об'єкта / Грабко В. В., Березницький Д. О. ; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u200706536 ; заявл. 11.06.2007 ; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.

140. Пат. 26977 Україна, МПК G 05 В 23/02. Пристрій для діагностування системи захисту технологічного об'єкта / Грабко В. В., Березницький Д. О. ; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u200706554 ; заявл. 11.06.2007 ; опубл. 10.10.2007, Бюл. №16.

141. Березницький Д. До питання діагностування систем захисту енергоблока електростанції / Д. Березницький // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005) : VIII-а міжнар. наук.-техн. конф. : тези доп. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – С. 137.

142. Вершинин О. Е. Применение микропроцессоров для автоматизации технологических процессов / О. Е. Вершинин. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 208 с.

143. Вишняков Н. Г. Применение микропроцессорной техники для регулирования напряжения в электрических сетях / Н. Г. Вишняков, В. И. Кочкин, В. К. Стрюцков // Обз. инф. Сер. Средства и системы управления в энергетике. Информэнерго. – 1990. – №2. – С. 1–58.

144. Чумаченко І. В. Мікроконтролерні прилади: структура і використання: навч. посібник / І. В. Чумаченко, М. Д. Кошовий, В. В. Лопатин. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “ХАІ”, 2001. – 277 с.

145. Шевкопляс Б. В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения : справочник / Б. В. Шевкопляс. – М. : Радио и связь, 1990. – 512 с.
146. Микропроцессоры и микропроцессорные комплекты интегральных микросхем : справочник / Б. Б. Абрайтис, Н. Н. Аверьянов, А. И. Белоус и др. – М. : Радио и связь, 1988. – 368 с.
147. Федорков Б. Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение / Б. Г. Федорков, В. А. Телец. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
148. Siemens. Поддержка. Документация : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.automation-drives.ru/as/support/documentation/>
149. Schneider Electric. Оборудование для систем малой автоматизации. Общая документация : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.schneider-electric.ru/catalog.aspx?ob_no=3223
150. Moeller. Визуализация, управление и контроль: [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.moeller.ru/industry/automation>
151. Atmel. Документация : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.atmel.ru/Documents/Documents.htm>
152. Грабко В. В. Мікропроцесорна система для діагностування силового трансформатора з врахуванням роботи в режимі перевантаження / В. В. Грабко, Д. О. Березницький // Вимірювальна та обчислювальна техніка. – 2008. – №1. – С.101–104.
153. АСК ТП Ладжинської ТЕС : досвід, рішення, перспективи / Д. О. Березницький, С. А.Лапайко, М. У. Онищенко, Ю. В. Тимчик // Енергетика та електрифікація. – 2006. – № 3. – С. 34–40.
154. Siemens. LOGO! Manual. Edition 02/2005. – 325 p.
155. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинград. отделение, 1985. – 248 с.
156. Виглеб Г. Датчики / Г. Виглеб : пер. с нем. – М. : Мир, 1989. – 196 с.
157. Вимірювання температури: теорія і практика / Я. Т. Луцик, О. П. Гук, О. І. Лах, Б. І. Стадник. – Львів : Видавництво Бескид Біт, 2006. – 560 с.
158. Вовк П. Температурные датчики Dallas Semiconductor / П. Вовк // CHIP NEWS. – 2001. - №4. – С.23–25.

159. Шитиков А. Цифровые датчики температуры от Dallas Semiconductor / А. Шитиков // Компоненты и технологии. – 2001. – № 2.
160. Шитиков А. Цифровые датчики температуры от Dallas Semiconductor / А. Шитиков // Компоненты и технологии. – 2001. – № 3.
161. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель и др. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
162. Трансформаторы тока. Общие технические условия : ГОСТ 7746-89. – [введ. 1989-03-27]. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 42 с.
163. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия : ГОСТ 1983-89. – [введ. 1989-03-27]. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 40 с.
164. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов, В. А. Фабричев. – К. : Наук. думка, 1987. – 280 с.
165. Стационарные датчики измерения тока. – М. : НИИЭМ “Вектор”, 1999.
166. Сучасні високовольтні перетворювачі струму та напруги / Б. С. Стогній, Є. М. Танкевич, В. В. Масляник та ін. // Енергетика і електрифікація. – 2006. – № 6. – С. 40–43.
167. Назаров В. В. Распределительная электрическая сеть (ресурсо- и энергосбережение) / В. В. Назаров // Енергетика та електрифікація. – 2008. – № 5. – С. 35–39.
168. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические сети / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1978. – 528 с.
169. Резисторы : справочник / [Дубровский В. В., Иванов Д. М., Пратусевич Н. Я. и др.] ; под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – [2-е изд.]. – М. : Радио и связь, 1991. – 528 с.
170. Титце У. Попроводниковая схемотехника : справочное руководство / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. – М. : Мир, 1982. – 512 с.
171. Мяртенс О. И. Сравнительный анализ преобразователей средневыпрямленного значения переменного тока / О. И. Мяртенс, Т. А. Пунгас // Радиотехнические измерения. – 1990. – №3. – С. 45–47.
172. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. – М. : Советское радио, 1966. – 728 с.
173. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1982. – 624 с.

174. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. Под ред. В. С. Королюка. – К. : Наукова думка, 1978. – 584 с.
175. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи : учеб. пособие для вузов / Э. И. Гитис, Е. А. Пискунов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 360 с.
176. Моисеев В. С. Системное проектирование преобразователей информации / В. С. Моисеев. – Л. : Машиностроение, 1982. – 255 с.
177. Интегральные микросхемы : микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа. Выпуск №2. – М. : ДОДЭКА, 1996. – 384 с.
178. Биргер И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
179. Кузьмин И. В. Основы теории информации и кодирования / И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус. – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 238 с.
180. Мокин Б. И. Методические указания по изучению курса «Специальные вопросы энергосистем» / Б. И. Мокин. – Винница : ВПИ, 1982. – 60 с.
181. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М. : Наука, 1971. – 576 с.
182. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
183. Хаушильд В., Мош В. Статистика для электротехников в приложении к технике высоких напряжений / В. Хаушильд, В. Мош : пер. с нем. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 312 с.
184. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: справочное изд. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

Наукове видання

**Грабко Володимир Віталійович
Березницький Дмитро Олександрович**

**ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ
ТА СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХИСТІВ ЕНЕРГОБЛОКА
ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

Монографія

Редактор С. Малишевська

Оригінал-макет підготовлено авторами

Підписано до друку 9.03.2010 р.
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний Ум. др. арк. 7,16
Наклад 100 прим. Зам № 2010-039

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.