

И.В. Ившин*, **А.Р. Галяутдинова**, **О.В. Владимиров**, **М.Ф. Низамиев**

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

**Автор для корреспонденции: ivshini@mail.ru*

Система мониторинга и экспресс-анализа основного оборудования трансформаторной подстанции 35/6(10) КВ

Аннотация. В данной работе проведен анализ и выбор оборудования, необходимого для мониторинга и экспресс-анализа технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ. Предложены диагностические параметры для определения технического состояния оборудования и алгоритм определения коэффициента экспресс-анализа трансформаторной подстанции, который обеспечивает процесс удаленного наблюдения, контроль состояния действующего оборудования и прогнозирования изменения технического состояния. Разрабатываемая система мониторинга и экспресс-анализа технического состояния оборудования позволяет в онлайн режиме проводить мониторинг изменения контролируемых параметров, поддерживать в работоспособном состоянии оборудование. Данная система мониторинга позволит выявить дефекты на ранней стадии их развития, более эффективно эксплуатировать энергетическое оборудование подстанции, а также оценить комплексно техническое состояние всей подстанции. Вышеуказанные решения позволяют перейти к организации ремонта основного оборудования подстанции по фактическому состоянию, а также повысить надежность и качество передачи электрической энергии потребителям.

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, экспресс-анализ, основное оборудование, мониторинг, техническое состояние, надежность, ремонт, методика, прогнозирование, диагностика.

DOI:<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2021-134-1-100-108>

Введение

Цифровая трансформация в электроэнергетике позволяет повысить надежность и качество передачи электрической энергии потребителю, предъявляет повышенные требования к системе контроля и обеспечения надежности оборудования. Использование системы планово-предупредительных ремонтов для поддержания необходимой эксплуатационной готовности оборудования становится затратным и неэффективным[1]. Разработка и внедрение системы мониторинга и экспресс-анализа технического состояния оборудования трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ (ТП) позволит перейти к организации ремонта основного энергетического оборудования подстанции по фактическому состоянию.

Методы исследования

Для проведения экспресс-анализа рассматриваем основное оборудование действующей ТП 35/6(10) кВ: силовой трансформатор, высоковольтный выключатель, разъединитель, ОПН, кабельные линии. Для экспресс-анализа используются следующие документы:

- паспорт на опытную партию;
- методика мониторинга основного оборудования подстанции (ПС);
- нормативная документация на оборудование ПС;
- средства измерений (таблица 1).

Таблица 1

Перечень средств измерений для экспресс-анализа основного оборудования ПС

Тип оборудования	Диагностические параметры	Оборудование
Силовой трансформатор ТМН – 6300 35/6,3	Хроматографический анализ (ХАРГ)	Intellix GLA 100
	Влагосодержание	TDM-10/0,4
	Температуры бака/масла	TDM-S/ TDM-10/0,4
	Температура контактных соединений вводов	RFSens, WDM-T
	Частичные разряды	TDM-S, TDM-10/0,4
	Вибрация	Датчики вибрации ИВД-3Ц-3, TDM-10/0,4
ВВН – СЭЩ – 35	Коммутационный ресурс выключателей	BDM, БМРЗ - 100, АВМ
	Токи нагрузки по фазам выключателя	
	Форма графиков токов соленоидов управления выключателем	
Разъединители 35 кВ	Температура контактов	RFSens, WDM-T
ОПН 35 кВ	Информация о срабатывании	ОПН-2, WDM
	Импульсы тока	ОПН-2, WDM
Кабельные линии	Частичные разряды	CDM-15

Оценка технического состояния оборудования на основе экспресс-анализа основывается на сопоставлении фактических значений параметров оборудования с их нормативными значениями, в соответствии с требованиями, установленными нормативно-технической документацией (НТД) или конструкторской (проектной) документацией организаций-изготовителей. Результатом оценки служит коэффициент экспресс-анализа оборудования, который представляется в виде численной величины от 0 (наихудшее значение) до 100 (наилучшее значение). Данные диапазона приведены в таблице 2.

Таблица 2

Диапазоны коэффициента экспресс-анализа

Диапазон коэффициента экспресс-анализа	Вид технического состояния	Визуализация (цвет)
≤ 25	Критическое	Красный
$25 < \text{ и } \leq 50$	Неудовлетворительное	Оранжевый
$50 < \text{ и } \leq 70$	Удовлетворительное	Желтый
$70 < \text{ и } \leq 85$	Хорошее	Зеленый
$85 < \text{ и } \leq 100$	Очень хорошее	T-зеленый

Обсуждение

Расчет коэффициента экспресс-анализа электрооборудования осуществляется в следующей последовательности:

- оценка параметров экспресс-анализа оборудования;
- расчет коэффициента экспресс-анализа параметров оборудования;
- расчет коэффициента экспресс-анализа всей трансформаторной подстанции;
- сравнение коэффициента экспресс-анализа с диапазоном по 100-бальной шкале и определение технического состояния оборудования[2].

Методика анализа результатов измерений основывается на расчете коэффициента экспресс-анализа. Расчет коэффициента экспресс-анализа параметров оборудования осуществляется по формуле (1):

$$КЭА \doteq 100 \times \frac{\sum_i (KB_i \times ОГП_i)}{4}, \quad (1)$$

где KB_i - значение весового коэффициента выбранных параметров;

$ОГП_i$ - значение, определенное в соответствии с методикой балльной оценки параметров (таблица 3).

Каждый параметр технического состояния оценивается в соответствии с балльной шкалой оценки отклонения фактических значений от предельно-допустимых[3]. Балльная оценка характеризует качественную оценку параметров технического состояния узлов и уровень выполнения требуемых функций от «0» (наихудшая оценка) до «4» (наилучшая оценка).

Таблица 3

Определение балльной шкалы значений

№ п/п	Балльная шкала	Характеристики диапазонов значений параметров
1.	Балл 4	Отсутствует отклонение измеряемых параметров от НТД, оборудование выполняет требуемые функции в полном объеме
2.	Балл 3	Параметры состояния оборудования находятся в пределах НТД, но появилась тенденция ухудшения значения контролируемого параметра
3.	Балл 2	Параметры состояния оборудования находятся в пределах НТД, но возникает угроза наступления отказов, появляются первые признаки отклонения от выполнения требуемых функций оборудования
4.	Балл 1	Означает предельно-допустимое состояние - параметры находятся близко к критическим значениям, оборудование выполняет требуемые функции не в полном объеме
5.	Балл 0	Означает неудовлетворительное состояние - параметры состояния оборудования не соответствуют НТД, находятся в критичном значении. Дальнейшая эксплуатация оборудования недопустима

Весовые коэффициенты параметров технического состояния отражают их важность и характеризуют степень влияния на надежность и работоспособность оборудования. Для определения весовых коэффициентов применяется метод парных сравнений (метод Саати). Идея метода состоит в том, что попарно сравниваются каждые два объекта и определяется первенство одного из них, отсюда название — «попарное (или парное) сравнение». При парном сравнении параметров оборудования степень важности определяется экспертно в соответствии со следующими факторами:

- степень влияния значения параметров экспресс-анализа на общее состояние оборудования;

- последствия отказа оборудования в результате выхода значения по параметру оборудования, за допустимые нормативными пределами.

Далее проводится расчет совокупного коэффициента экспресс-анализа основного технологического оборудования (КЭАСЭ), который осуществляется по формуле (2):

$$КЭАСЭ \doteq 100 \times \frac{\sum i(N_{прі} \times КЭАі)}{\sum i N_{прі}} \quad (2)$$

где КЭА_і – коэффициент экспресс-анализа *i*-ого объекта электроэнергетики субъекта электроэнергетики или его обособленного подразделения, входящего в оцениваемую группу объектов электроэнергетики;

$N_{прі}$ – приведенная мощность *i*-ого объекта электроэнергетики субъекта электроэнергетики или его обособленного подразделения, входящего в оцениваемую группу объектов электроэнергетики в соответствии с нормативно-технической документацией.

Результаты

Результатом оценки экспресс-анализа основного технологического оборудования является коэффициент экспресс-анализа, который ранжируются по убыванию [4]. Качественная оценка вида технического состояния формируется в зависимости от соответствия полученного значения коэффициента экспресс-анализа одному из диапазонов, представленных на рисунке 1.

Критическое оо (красный)	Плохое (оранжевый)	Удовлетворительное оо (желтый)	Хорошее (зеленый)	Очень хорошее (Т-зеленый)
--------------------------------	-----------------------	--------------------------------------	----------------------	------------------------------

Рисунок 1. Диапазоны коэффициента экспресс-анализа в цвете

На рисунке 2 представлен алгоритм определения коэффициента экспресс-анализа.

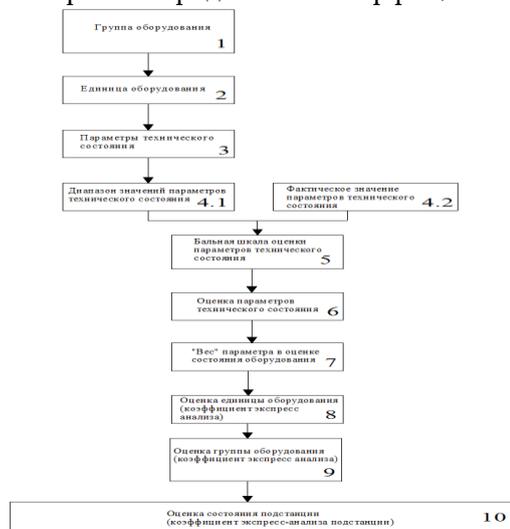


Рисунок 2. Алгоритм определения коэффициента экспресс-анализа

Данный алгоритм включает в себя следующие операции:

- 1) Определение группы оборудования (установка, технологическая схема) для проведения экспресс-анализа.
- 2) Определение единицы оборудования (установка, технологическая схема) для проведения экспресс-анализа.
- 3) Определение параметров технического состояния для выбранного оборудования.
- 4) Определение контролируемых значений параметров технического состояния оборудования:
 - 4.1 определение диапазона значений параметров технического состояния оборудования согласно НТД;
 - 4.2 определение фактических значений параметров технического состояния оборудования с помощью системы мониторинга.
- 5) Составление балльной шкалы оценки технического состояния для оборудования.
- 6) Оценка параметров технического состояния оборудования.
- 7) Определение «веса» параметров в оценке состояния оборудования.
- 8) Оценка единицы оборудования (определение коэффициента экспресс-анализа единицы оборудования).
- 9) Оценка группы оборудования (определение коэффициента экспресс-анализа группы оборудования)
- 10) Определение шкалы технического состояния оборудования
- 11) Определение текущего технического состояния оборудования.

Приведенный алгоритм реализуется на ТП 35/6(10) кВ, где в настоящее время организована передача диагностической информации и информации самодиагностики системы из ТП на web-сервер ФГБОУ ВО «КГЭУ» (рисунки 3, 4). По полученным данным рассчитывается коэффициент экспресс-анализа и производится оценка технического состояния оборудования и всей ТП.

Можно оценить техническое состояние трансформатора №1 по формуле (1), определив баллы параметра из диапазона границ НТД:

$$KЭА_{тр} = 25 \times (0,136 \times x_1 + 0,295 \times x_2 + 0,295 \times x_3 + 0,07 \times x_4 + 0,136 \times x_5 + 0,048 \times x_6 + 0,02 \times x_7) = 25 \times (0,136 \times 4 + 0,295 \times 4 + 0,295 \times 2 + 0,07 \times 4 + 0,136 \times 4 + 0,048 \times 4 + 0,02 \times 1) = 83,75.$$

Коэффициент экспресс-анализа трансформатора - 83,75, который попадает в диапазон $70 < \leq 85$ (рис. 1). Отсюда делаем вывод, что трансформатор №1 ТМН – 6300 35/6,3 находится в хорошем состоянии.

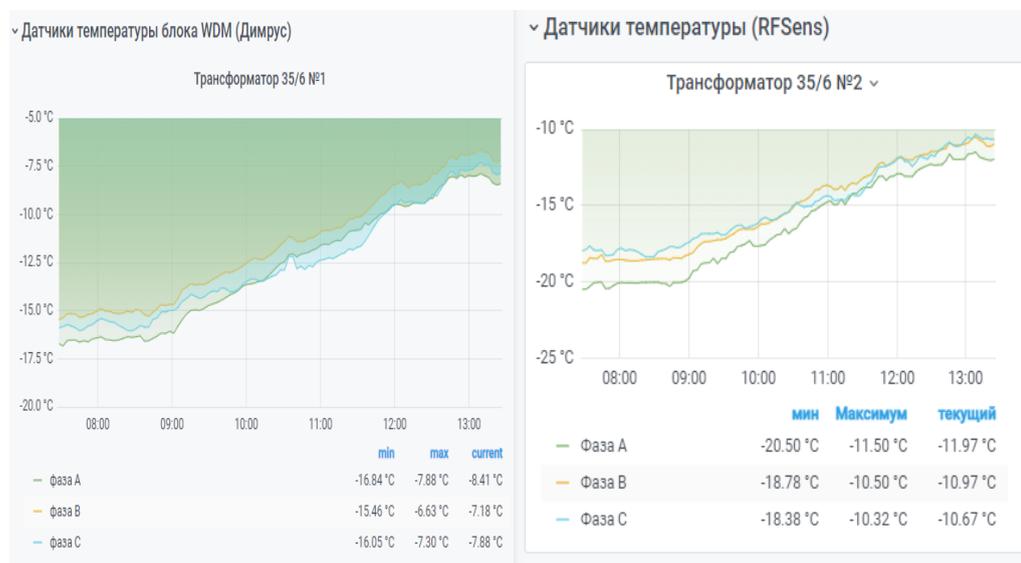


Рисунок 3. Датчики температуры, установленные на трансформаторах №1 и №2

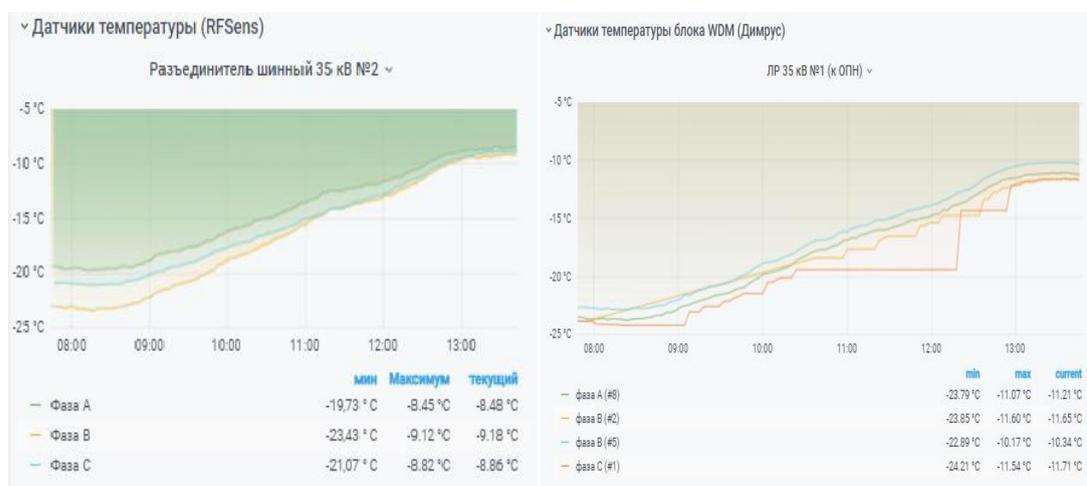


Рисунок 4. Показания с датчиков разъединителей

Выводы

Таким образом, большинство систем контроля технического состояния на сегодняшний день работают отдельно друг от друга и позволяют оценить техническое состояние каждого элемента подстанции индивидуально. Разработка и внедрение системы мониторинга и экспресс-анализа технического состояния оборудования подстанции позволяют проводить дистанционное обследование в процессе эксплуатации в режиме онлайн, а также позволяют установить связи между различными параметрами, провести качественную оценку технического состояния всей трансформаторной подстанции, основываясь на данных, полученных со всех датчиков. Предложен алгоритм определения коэффициента экспресс-анализа оборудования трансформаторной подстанции.

Список литературы

1. Денисова А.Р., Спасов Д.П., Галяутдинова А.Р., Иванова В.Р. «Исследование работоспособности и качества функционирования трансформаторного оборудования электротехнических систем» // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики Т22. – 2020. - № 3. - С.23-35.
2. Ившин И. В., Владимиров О.В., Загретдинов А.Р., Низамиев М.Ф. «Исследование влияния дефектов на собственные частоты колебаний деталей энергетических установок» // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики Т22. -2015. - № 5-6. - С.66-74.
3. Rozhentcova N.V., Galyautdinova A.R., Khayaliev R.A., Udaratin A.V., Pyashenko S. «Automated Diagnostic System for Power Transformers using a QR Code» // International Journal of Technology. – 2020. - №11(8). - P.1519-1527.
4. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. «Оценка работоспособности трансформаторной подстанции по результатам экспресс-мониторинга ее элементов» // Материалы конференций VI Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. - Казань, 2020. - Т.2 - С.33-35.

И. Г. Ившин, А. Р. Галяутдинова, О. В. Владимиров, М. Ф. Низамиев

Казан Мемлекеттік энергетикалық университеті, Казан, Ресей

35/6(10) КВ трансформаторлық қосалқы станцияның негізгі жабдығын мониторингілеу және экспресс-талдау жүйесі

Аңдатпа. Бұл жұмыста 35/6(10) кВ трансформаторлық қосалқы станцияның техникалық жай-күйін бақылау және жедел талдау үшін қажетті жабдықты талдау және таңдау жүргізілді. Жабдықтың техникалық жай-күйін анықтау үшін диагностикалық параметрлер және қашықтықтан бақылау процесін, жұмыс істеп тұрған жабдықтың жай-күйін бақылауды және техникалық жай-күйдің өзгеруін болжауды қамтамасыз ететін трансформаторлық қосалқы станцияның жедел-талдау коэффициентін айқындау алгоритмі ұсынылды. Өзірленіп жатқан жабдықтың техникалық жай-күйін мониторингтеу және экспресс-талдау жүйесі онлайн режимде бақыланатын параметрлердің өзгеруіне мониторинг жүргізуге, жабдықты жұмысқа қабілетті күйде ұстап тұруға мүмкіндік береді. Мониторингтің бұл жүйесі ақауларды олардың дамуының бастапқы кезеңінде анықтауға, қосалқы станцияның энергетикалық жабдығын неғұрлым тиімді пайдалануға, сондай-ақ барлық қосалқы станцияның кешенді техникалық жай-күйін бағалауға мүмкіндік береді. Жоғарыда көрсетілген шешімдер шағын станцияның негізгі жабдығын нақты жай-күйі бойынша жөндеуді ұйымдастыруға көшуге, сондай-ақ тұтынушыларға электр энергиясын берудің сенімділігі мен сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: трансформаторлық қосалқы станция, экспресс-талдау, негізгі жабдық, мониторинг, техникалық жай-күйі, сенімділігі, жөндеу, әдістемесі, болжау, диагностика.

И. Г. Ivshin, A. R. Galyautdinova, O. V. Vladimirov, M. F. Nizamiev

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

The system for monitoring and express analysis of main equipment of transformer substation 35/6 (10) kv

Abstract. There is carried out an analysis and selection of equipment necessary for monitoring and express analysis of the technical condition of a 35/6 (10) kV transformer substation. The authors propose diagnostic parameters for determining the technical condition of equipment and an algorithm for determining the coefficient of express analysis of a transformer substation, which ensures the process of remote monitoring, monitoring the state of operating equipment and predicting changes in the technical condition. The system for monitoring and express analysis of the technical condition of the equipment under development allows online monitoring of changes in the monitored parameters, keeping the equipment in serviceable condition. This monitoring system will make it possible to detect defects at an early stage, to operate the substation's energy equipment more efficiently, and to assess the technical condition of the entire substation in a comprehensive way. The above solutions make it possible to switch to organizing repairs of the substation's main equipment according to the actual state, as well as to increase the reliability and quality of electricity transmission to consumers.

Keywords: transformer substation, express analysis, main equipment, monitoring, technical condition, reliability, repair, methodology, forecasting, diagnostics.

References

1. Denisova A.R., Spasov D.P., Galyautdinova A.R., Ivanova V.R. Issledovanie rabotosposobnosti i kachestva funkcionirovaniya transformatornogo oborudovaniya elektrotekhnicheskikh system [Investigation of the serviceability and operational quality of transformer equipment of electrical engineering systems], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy energetiki* [Proceedings of Higher Education Institutions. Problems of Energy], 2020. No. 3. P.23-35, [in Russian].
2. Ivshin I. V., Vladimirov O.V., Zagretdinov A.R., Nizamiev M.F. Issledovanie vliyaniya defektov na sobstvennye chastoty kolebanij detalej energeticheskikh ustanovok [Investigation of the effects of defects on the natural frequencies of power plant components], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy energetiki* [Proceedings of Higher Education Institutions. Problems of Energy], 2015. No. 5-6. P.66-74, [in Russian].
3. Rozhentcova N.V., Galyautdinova A.R., Khayaliev R.A., Udaratin A.V., Ilyashenko S. «Automated Diagnostic System for Power Transformers using a QR Code», *International Journal of Technology*. 2020. No. 11(8). P.1519-1527.
4. Ivshin I.V., Galyautdinova A.R., Vladimirov O.V., Nizamiyev M.F. Ocenka rabotosposobnosti transformatornoj podstancii po rezul'tatam ekspress-monitoringa ee elementov [Assessment of the operability of a transformer substation based on the results of express monitoring of its elements], *Materialy konferencij VI Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii «Priborostroenie i avtomatizirovannyj elektroprivod v toplivno-energeticheskom komplekse i zhilishchno-kommunal'nom hozyajstve* [Proceedings of the VI National Scientific-Practical Conference -Instrumentation and Automated Electric Drive in the Fuel and Energy Sector and Housing and Communal Services], Kazan. 2020. P.33-35, [in Russian].

Информация об авторах:

Ившин Игорь Владимирович - д-р техн. наук, профессор, директор Института электроэнергетики и электроники, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета, Казань, Россия.

Галляутдинова Алсу Ренатовна - аспирантка 1 курса кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета, Казань, Россия.

Владимиров Олег Вячеславович - канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета, Казань, Россия.

Низамиев Марат Фердинатович - канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета, Казань, Россия.

Ivshin Igor Vladimirovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Galyautdinova Alsu Renatovna - The 1st year postgraduate student in the Department of Electricity Supply of Industrial Enterprises at Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Vladimirov Oleg Vyacheslavovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electricity Supply of Industrial Enterprises at Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Nizamiev Marat Ferdinatovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electricity Supply of Industrial Enterprises at Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.