

К вопросу о методе диагностики преобразовательных трансформаторов предприятия по производству алюминия

В.А. Тихонов^{1а}, И.В. Игнатьев^{2б}

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

²ООО «РУС-Инжиниринг», промплощадка «РУСАЛ Братск», Братск, Россия

^аtikhonovva00@mail.ru, ^бignatiev-igore@yandex.ru

^а<https://orcid.org/0000-0003-3730-1694>, ^б<https://orcid.org/000-0001-8595-2841>

Статья поступила 25.10.2018, принята 8.11.2018

В статье исследован вопрос диагностики состояния преобразовательных трансформаторов ТДНП-40000/10 и ТДЦНП-50000/10 предприятия алюминиевой промышленности. В настоящее время развиваются методики диагностики на основе хроматографического анализа растворенных газов в трансформаторном масле. Также для контроля за температурой контактных поверхностей применяется метод термодиагностики с применением тепловизора. Предлагаемый метод, основанный на полученных данных о граничных концентрациях газов, температуре контактов и состоянии преобразовательного трансформатора, объединяет эти правила в структурные схемы, которые впоследствии применяются для определения причин возникновения дефектов и способов выполнения мелких и средних ремонтно-профилактических работ. Разработанный метод оценки эксплуатационных параметров трансформаторов позволяет получить достоверную информацию о возможности их дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: преобразовательный трансформатор; частичные разряды; тепловизионный контроль; диагностика; структурные схемы.

To the question of the diagnostic method of converter transformers of an aluminum production enterprise

V.A. Tikhonov^{1а}, I.V. Ignatiev^{2б}

¹Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

²"RUS-Engineering" Ltd; "RUSAL BRATSK" Industrial Zone, Bratsk, Russia

^аtikhonovva00@mail.ru, ^бignatiev-igore@yandex.ru

^а<https://orcid.org/0000-0003-3730-1694>, ^б<https://orcid.org/000-0001-8595-2841>

Received 25.10.2018, accepted 8.11.2018

The article studies the issue of diagnostics of the status of the TDNP-40000/10 and TDTSNP-50000/10 converter transformers of the aluminum industry. Currently, diagnostic methods are being developed based on chromatographic analysis of dissolved gases in transformer oil. Also, to control the temperature of the contact surfaces, a method of thermal diagnostics is applied using a thermal imager. The proposed method of forming rules based on the data obtained on the boundary concentrations of gases, the temperature of the contacts and the state of the converter transformer combines these rules into structural diagrams. The diagrams are subsequently used to determine the causes of defects and perform minor and medium repair and maintenance work. The developed method of evaluating the operating parameters of transformers allows to obtain reliable information about the possibility of their further operation.

Keywords: converter transformer; partial discharges; thermal imaging control; diagnostics; block diagrams.

Введение

На сегодняшний день продолжается эксплуатация высоковольтных трансформаторов ТДНП-40000/10 1960-70-х гг. выпуска и ТДЦНП-50000/10 1999 г. выпуска. Продолжительный срок эксплуатации снижает их надежность, часто возникают местные нагревы и повреждения бумажной изоляции.

Старение бумажной изоляции представляет большую опасность, которую невозможно оценить обычными методами. Аварии трансформаторов сопровождаются значительными нарушениями режима электро-

снабжения и большими материальными потерями, связанными с восстановлением оборудования.

Диагностика. Оптимальным решением сложной задачи по оценке остаточного ресурса преобразовательных трансформаторов является диагностика их состояния, проводимая под рабочим напряжением и рабочей нагрузкой. К примерам такой диагностики можно отнести методы хроматографического анализа растворенных газов в трансформаторном масле, измерения уровня частичных разрядов и тепловизионную диагностику.

Хроматографический анализ растворенных газов в трансформаторном масле. С помощью хроматографического анализа газов уверенно выявляются замыкания проводников в обмотках, дефекты соединения деталей с образованием искрения, дефекты скользящих и подвижных контактов, а также дефекты межлистовой изо-

ляции [1]. На рис.1 показана хроматограмма растворенных в масле газов, из которой видно, что в масле присутствуют опасные концентрации газов – этана и ацетилена. Это указывает на то, что внутри трансформатора имеется высокотемпературное дугообразование, затрагивающее твердую изоляцию.

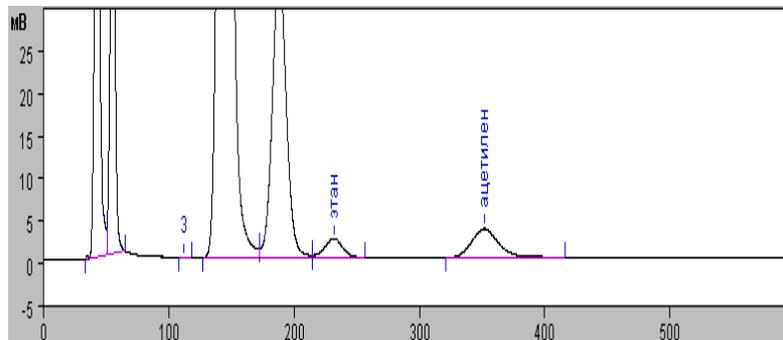


Рис. 1.Хроматограмма газов, растворенных в масле трансформатора

Измерение частичных разрядов. Измерения проводятся на работающем трансформаторе и позволяют выявить дефекты изоляции со снижением ее электрической прочности на ранней стадии их развития [2]. На рис. 2 представлены характеристики частичных разря-

дов (ЧР) трансформаторов. На гистограммах выявлены частичные разряды с зарядом единичного импульса выше допустимого, что указывает на наличие коронных разрядов и появление следов на картоне.

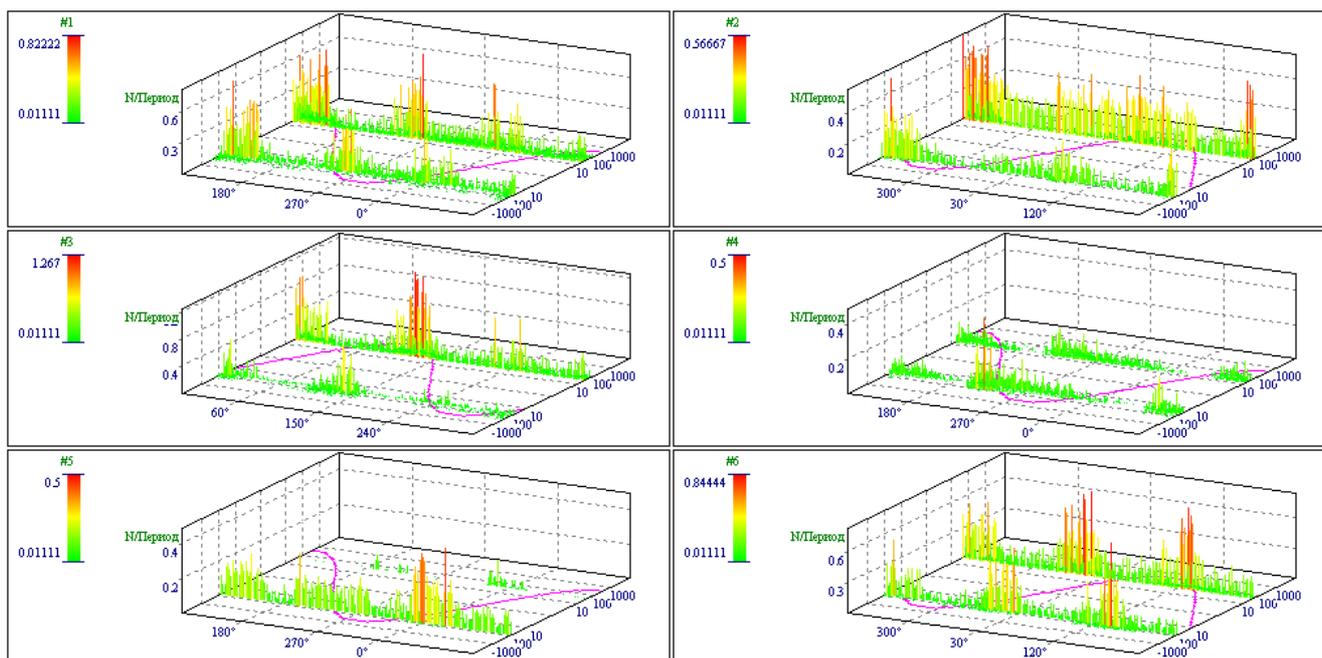


Рис. 2.Характеристики ЧР трансформаторов

Тепловизионное обследование трансформаторов. Не менее важным средством выявления развивающихся дефектов является тепловизионное обследование трансформаторов.

Контроль нагрева трансформатора позволяет выявить дефекты внешних контактных соединений, по-

вышенный нагрев отдельных участков поверхности бака и нагревы в баках контакторов и избирателей РПН [3]. С помощью тепловизора успешно выявляются нагревы внутри высоковольтных вводов. Особенно эффективно применение этого метода для обнаружения опасных перегревов контактных соединений.



Рис. 3. Термограмма трансформатора

Для примера на рис. 3 изображена термограмма трансформатора, на которой показан нагрев радиаторов системы охлаждения до 48 °С [4]. Используемые методы выявления дефектов оборудования на ранней стадии их развития, до того, как они перейдут в повреждение, показывают, что основными дефектами являются мелкие и средние повреждения, которые можно быстро устранить и предотвратить отказ основных узлов преобразовательного трансформатора.

Проведенный анализ показал, что с увеличением срока эксплуатации количество мелких и средних дефектов увеличивается. На рис. 4 представлена диаграмма зависимости количества таких дефектов от срока службы трансформаторов [5].

Система обслуживания высоковольтного оборудования и, в частности, трансформаторов, в зависимости от их состояния обеспечивает увеличение срока службы и организацию оптимальной эксплуатации «критического» оборудования.

Для оценки характера внутренних повреждений преобразовательного трансформатора составлены структурные схемы, позволяющие быстро систематизировать дефекты по их видам и качественно оценить характер повреждения для их скорейшего устранения.



Рис. 4. Анализ аварийности преобразовательных трансформаторов алюминиевого завода

Ниже приведены примеры таких структурных схем (рис. 5–7). Структурные схемы определяют вид дефекта по соотношению граничных концентраций газов в трансформаторном масле [6]. По виду дефектов

внутренних повреждений проводится анализ возможных причин, приводящих к появлению дефекта, и устанавливаются причины их возникновения.

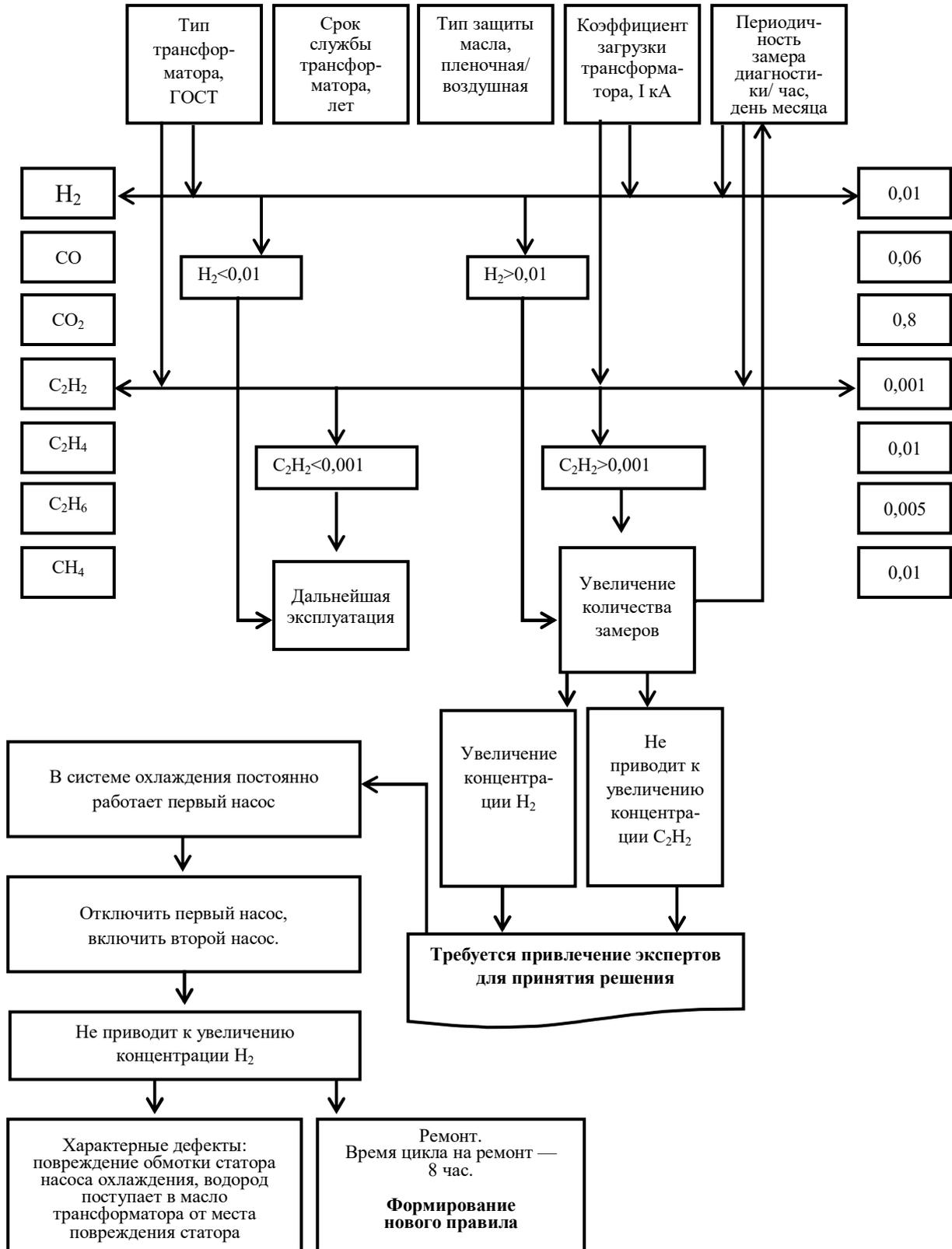


Рис.5. Структурная схема для анализа концентраций водорода H₂ и ацетилена C₂H₂

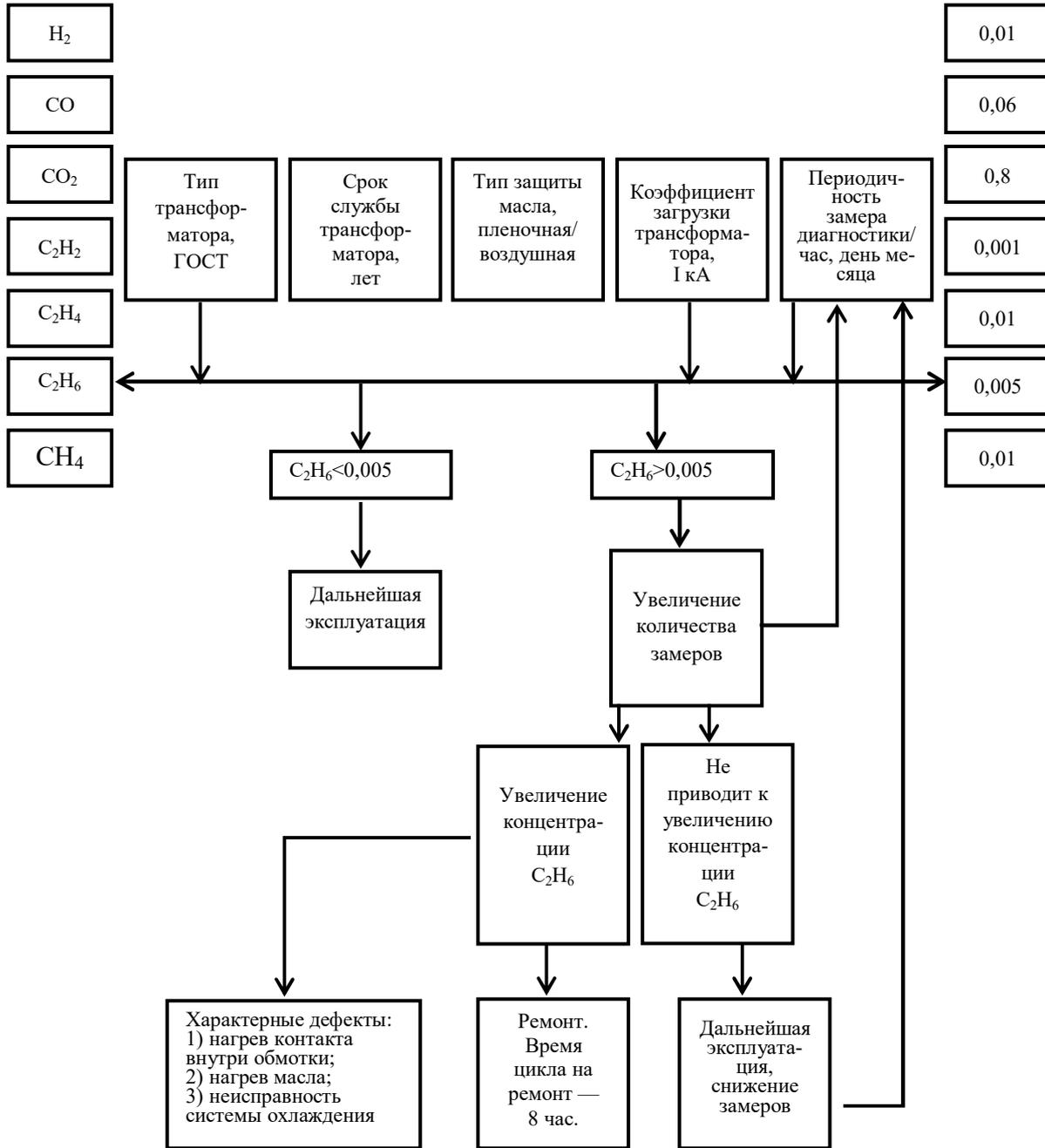


Рис. 6. Структурная схема для анализа концентраций этана C₂H₆

Для оценки достоверности результатов методом аппроксимации проведены исследования, подтверждающие высокую достоверность полученных результатов методами хроматографического анализа растворенных газов (ХАРГ) [7]. Для исследования были взяты пробы 36-ти преобразовательных трансформаторов. Данные, рассчитанные на основании взя-

тых проб, и построенные по ним тренды показывают, что при увеличении количества проб для анализа повышается качество результата в виде и характере дефектов, и при количестве проб более 100 единиц результат повторяемости достигает 90% [8]. Данные исследования приведены на рис. 8.

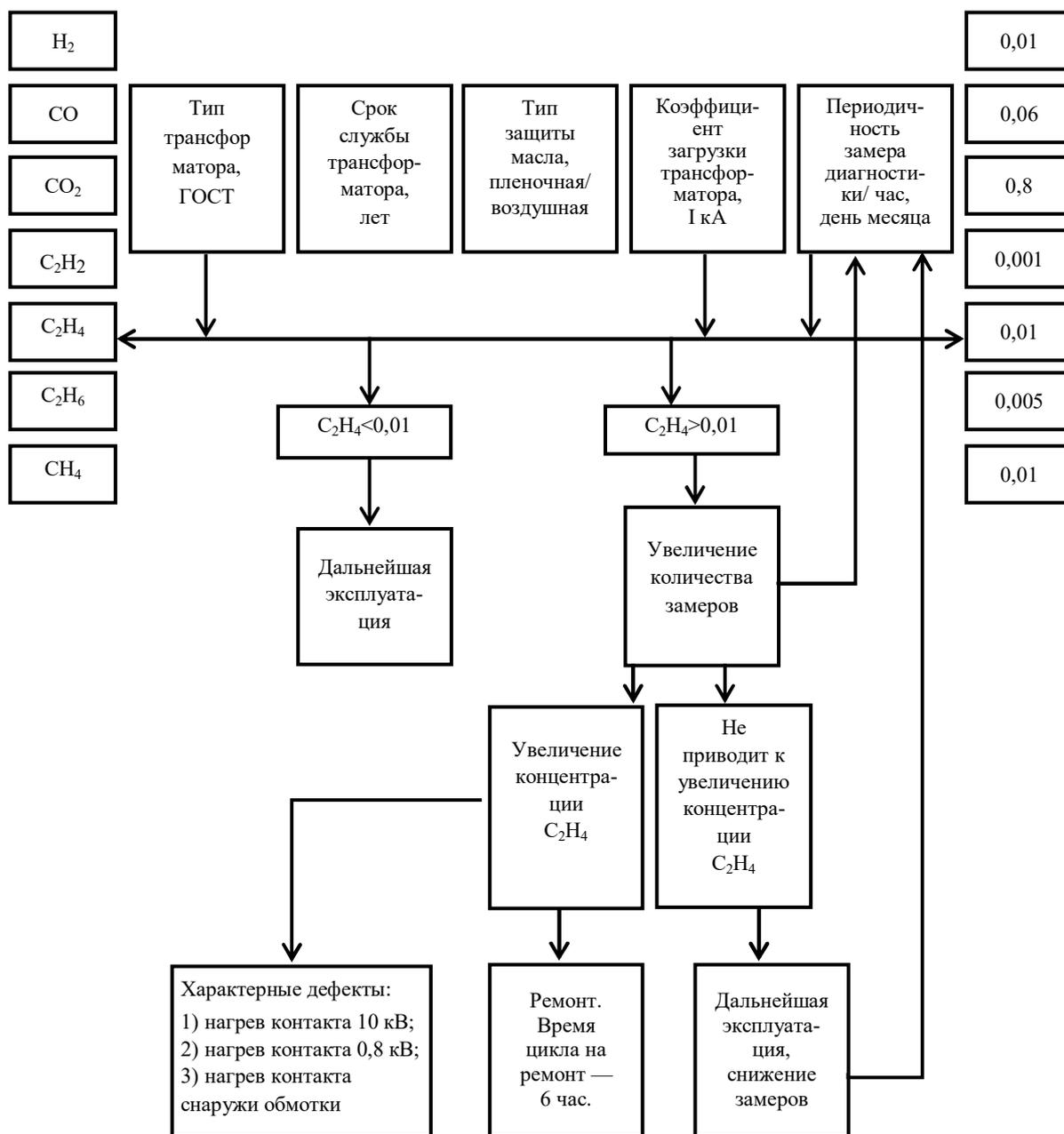


Рис. 7. Структурная схема для анализа концентраций этилена углерода C_2H_4

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день есть методы, позволяющие частично определить состояние работающего под нагрузкой оборудования [9]. Многие из этих методов эмпирически и теоретически многократно подтверждены, тем не менее, повреждения оборудования существуют, и беда здесь в том, что на проведение данных испытаний и построение модели развития дефектов оказывают влияние много субъективных факторов [10]. По-

этому основа сохранения и продолжения эксплуатации данного оборудования заключается в том, что необходимо разрабатывать, повсеместно внедрять и обновлять приборные парки диагностики, а сама диагностика должна выйти на новую стадию своего развития, которая позволит автоматически вести контроль работы оборудования и строить прогнозы, моделировать развитие ситуации, тем самым помогая рациональной работе.

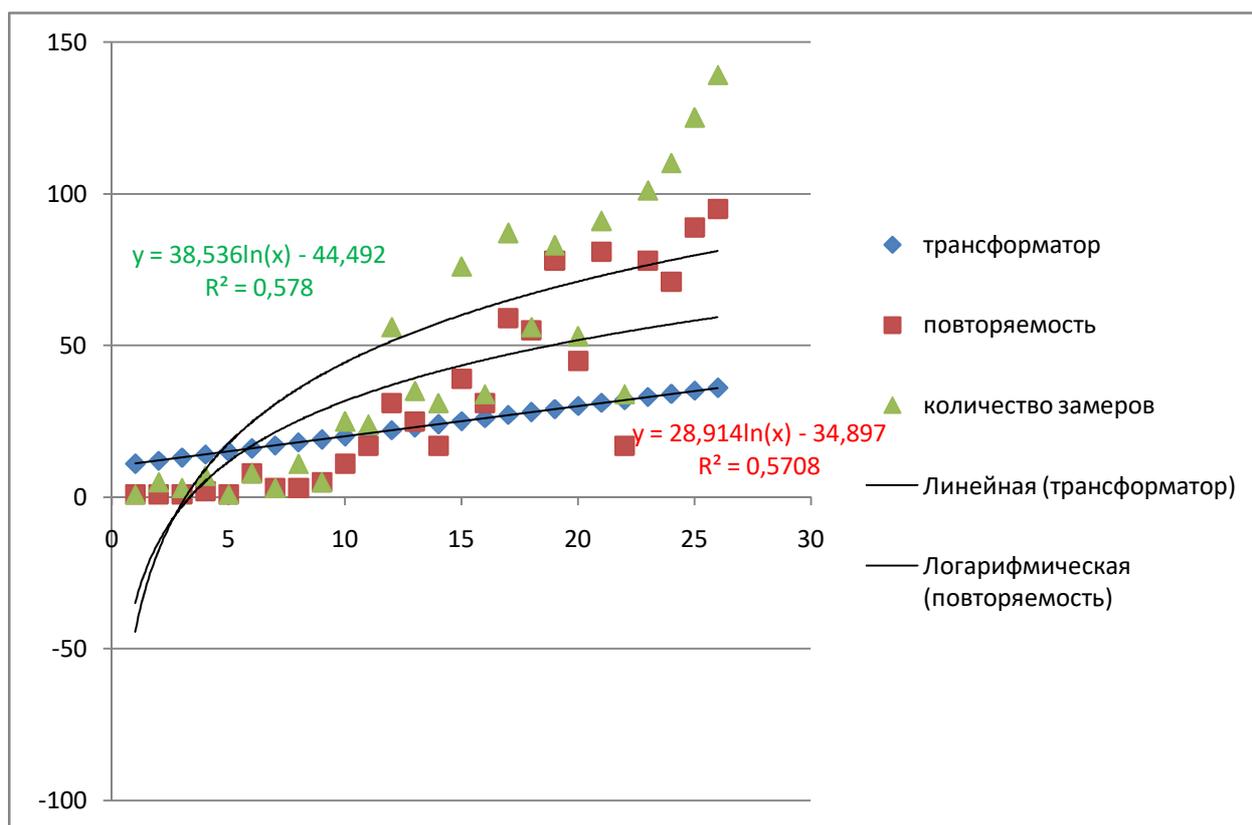


Рис. 8. Диаграммы зависимости количества измерений проб ХАРГ и повторяемости результатов исследований видов и характера дефектов

Литература:

1. РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. М.: РАО «ЕЭС РОССИИ», 2001.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). (по состоянию на 1 мая 2006 г.). Новосибирск: Изд-во Сиб. ун-та, 2006. Вып. 3.
3. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Все действующие разделы ПУЭ-7. стер., по состоянию на 1 января 2006 г. Новосибирск: Изд-во Сиб. ун-та, 2006.
4. Хренников А.Ю., Рубцов А.В., Щербakov В.В., Языков С.А. Тепловизионный контроль электротехнического оборудования и опыт диагностики силовых трансформаторов // Электрические станции. 2006. № 5. С. 23-26.
5. Вильданов Р.Г., Буланкин Е.И. Перспективы внедрения интеллектуальной электрической сети в России // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля: материалы междунар. науч.-методической конф. Уфа, 2016. С. 150-153.
6. Силакова В.В. Анализ общеэкономических факторов технологического риска предприятий непрерывного типа производства в России // Экономика и менеджмент систем управления. 2016. Т. 20, № 2. С. 54-62.
7. Power D. J., Sharda R., Burstein F. Decision support systems // John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
8. Добаев А.З. Использование методов математической статистики для анализа данных систем учета электроэнергии // Материалы VI междунар. конф. «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». Владикавказ: 2014. С. 37-41.
9. Остроух А.В. Интеллектуальные системы: Красноярск: Науч.-инновационный центр, 2015. 110 с.
10. Медведева М.Л., Кузьмин С.В., Кузьмин И.С., Шманев В.Д. Анализ и прогноз аварийности распределительных сетей и электроприемников 6-10кВ в горной отрасли // Надежность и безопасность энергетики. 2017. Т. 10, № 2. С. 120-124.

References

1. RD 153-34.0-46.302-00. Guidelines for the diagnosis of developing defects in transformer equipment according to the results of chromatographic analysis of gases dissolved in oil. M.: RAO «EES ROSSII», 2001.
2. Rules of technical operation of electrical installations of consumers.(ПТЭЭП). (po sostoyaniyu na 1 maya 2006 g.). Novosibirsk: Izd-vo Sib. un-ta, 2006. Vyp. 3.
3. Electrical Installation Rules. 7-e izd. Vse dejstvuyushchie razdely PUEH-7. ster., po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2006 g. Novosibirsk: Izd-vo Sib. un-ta, 2006.
4. Hrennikov A.YU., Rubcov A.V., Shcherbakov V.V., Yazykov S.A. Thermovision control of electrical equipment and experience in diagnosing power transformers // Elektricheskie stancii. 2006. № 5. P. 23-26.
5. Vil'danov R.G., Bulankin E.I. Prospects for the introduction of an intelligent electrical network in Russia // Integraciya nauki i obrazovaniya v vuzah neftegazovogo profilya: materialy mezhdunar. nauch.-metodicheskoy konf. Ufa, 2016. P. 150-153.
6. Silakova V.V. Analysis of general economic factors of technological risk of enterprises of continuous type of production in Russia // Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya. 2016. T. 20, № 2. P. 54-62.
7. Power D. J., Sharda R., Burstein F. Decision support systems // John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
8. Dobaev A.Z. The use of mathematical statistics methods for analyzing data from electricity metering systems // Materialy VI mezhdunar. konf. «Molodye uchenye v reshenii aktual'nyh problem nauki». Vladikavkaz: 2014. P. 37-41.
9. Ostrouh A.V. Intellectual systems: Krasnoyarsk: Nauch.-innovacionnyj centr, 2015. 110 p.
10. Medvedeva M.L., Kuz'min S.V., Kuz'min I.S., Shmanev V.D. Analysis and forecast of the accident rate of distribution networks and 6-10kV electric consumers in the mining industry // Safety & Reliability of Power Industry. 2017. T. 10, № 2. P. 120-124.