

УДК 621.31  
AGRIS N20

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/121/21>

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ УСТРОЙСТВ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ**

**©Жолонов О., ORCID: 0009-0006-8228-0481, Курп-Сайская ГЭС,  
г. Кара-Куль, Кыргызстан, jolonovorozali@gmail.com**

## **PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF VARIOUS ELEMENTS OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF DEVICES OF THE EXCITATION SYSTEM OF HYDROGENATORS**

**©Zholonov O., ORCID: 0009-0006-8228-0481, Kurp-Sai Hydroelectric Power Station,  
Kara-Kul, Kyrgyzstan, jolonovorozali@gmail.com**

*Аннотация.* Рассмотрены физико-химические свойства прогнозирования элементов электротехнического оборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов. При работе элементов электротехнического электрооборудования происходит процесс постепенного старения изоляции электротехнических материалов. Основной функцией прогнозирования является определение остаточного ресурса элементов электротехнического электрооборудования. Износ или старение элементов электротехнического оборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов, это процессы, характеризующие изменение технического состояния работы элементов электротехнического электрооборудования во времени.

*Abstract.* In this article, the physical and chemical properties of the main elements of the electrical equipment of the devices of the excitation system of hydrogenators are considered. During the operation of the elements of electrical electrical equipment, the process of gradual aging of the insulation of electrical materials occurs. The main function of forecasting is to determine the residual resource of electrical components. Wear or aging of elements of electrical equipment, devices of the excitation system of hydrogenators, are processes that characterize a change in the technical condition of the elements of electrical electrical equipment over time.

*Ключевые слова:* элементы электротехнического электрооборудования, электротехнические материалы, техническое состояние, технические параметры, рабочие характеристики, износ, старение, процессы.

*Keywords:* elements of electrical electrical equipment, electrical materials, technical condition, technical parameters, performance characteristics, wear, aging, processes.

При эксплуатации технического состояния устройств системы возбуждения гидрогенераторов и элементов электротехнического электрооборудования электростанции происходит процесс изнашивания (износа) и постепенное старение изоляции электротехнических материалов в процессе работы электротехнического электрооборудования, при этом степени интенсивности изнашивания (износа) и старения зависит от различных факторов. Степени интенсивности износа и старения электротехнических материалов, а также элементы изоляционной конструкции устройств

системы возбуждения гидрогенераторов зависят не только продолжительности цикла работы и свойств электротехнических материалов, но также от механических воздействий, температуры окружающей среды и климатическое исполнения [1].

При этом на элементы электротехнического электрооборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов воздействуют определенные факторы, обусловленные скоростью потерь эксплуатационных свойств и рабочих характеристик, воздействия каждого фактора на потерю определенных свойств подчиняются определенному закону. Так, влияние на скорость процессов старения изоляции электротехнических материалов и рабочей температуры можно выразить зависимостью скорости химической реакций от температуры по уравнению Вант Гоффа-Аррениуса.

### *Материалы и методы исследования*

Элементы электротехнического электрооборудования в процессе работы подвергаются механическим напряжениям как в процессе изготовления изделий элементов электротехнического электрооборудования а также поддержании рабочих параметров при эксплуатации, которые приводят к постепенному старению изоляции электротехнических материалов. Срок службы электрооборудования — это календарная продолжительность эксплуатации системы возбуждения и ее элементов до момента возникновения предельного состояния, регламентированного технической документацией и техническим параметром завода – изготовителя, концерна – изготовителя, фирм – изготовителя данной продукции или изделия электротехнической отрасли промышленности [2].

Уменьшении минимального срока службы изоляции электротехнических материалов под воздействием механических напряжений а также изменение структуры элементов электротехнического материала должны подчиняться определенному закону.

В соответствии с формулой Жукова долговечность, напряжения материала и температура элементов изоляционного электротехнического материала должны иметь следующую зависимость:

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{U_0 - \gamma \sigma}{r \theta}}$$

где,  $\tau$  — долговечность;  $\tau_0$  — постоянная;  $\sigma$  — напряжение;  $\theta$  — абсолютная температура;  $\gamma$  — газовая постоянная;  $U_0$  — энергия активизации разрушения при отсутствии механических напряжений;  $\gamma$  — постоянная, характеризующая влияние структуры на распределение напряжений в материале.

Как показывает опыт эксплуатации элементов электротехнического электрооборудования, срок службы изоляции электротехнического материала значительно изменяется под воздействием механических напряжений и температуры окружающей среды, но также изменяется под воздействием других факторов. Происходящие в изоляции элементов электротехнического электрооборудования физические и химические процессы должны строго подчиняются определенному закону, что обуславливают возможность с определенной степенью точности заранее предсказать (прогнозировать) на основании полученных данных соответствующих измерений в процессе работы данных устройств системы возбуждения гидрогенераторов, а также техническое состояние изоляции элементов электротехнического электрооборудования.

Как показывает эксплуатационные характеристики и технические параметры устройств системы возбуждения гидрогенераторов. Износ элементов электротехнического электрооборудования, это износ данных элементов как произведения сил нормального давления на коэффициент трения и путь действия сил трения. Которые в свою очередь

каждый из множителей зависит от ряда факторов работы элементов электротехнического электрооборудования. Сила нормального давления зависит в основном от нагрузки гидрогенераторов или от режима работы электроэнергетической системы. Коэффициент трения зависит от состояния поверхности трения и качества материалов электротехнического электрооборудования гидрогенераторов. Путь действия сил трения в основном зависит от продолжительности работы гидрогенераторов при заданных режимах электроэнергетической системы. На положение должно распространяться и механические узлы, детали, блоков и суб-блоков элементов электротехнического электрооборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов.

Таким образом, физические и химические процессы изменения свойств и размеров узлов, деталей, блоков и суб-блоков механической части элементов электротехнического электрооборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов. Должны подчиняться определенному закону и их техническое состояние с определенной точностью можно прогнозировать для сохранения в рабочее способное состояние технических параметров и рабочих характеристики устройств системы возбуждения гидрогенераторов.

### *Результаты исследования*

Прогнозировать техническое состояние элементов электротехнического электрооборудования в устройстве системы возбуждения гидрогенераторов, то есть процесс предсказания изменения технических параметров и рабочих характеристик заранее определенное время неисправности и дефектов в процессе работы данного электротехнического электрооборудования в ближайшее период, является очень сравнительно трудной технической задачей в работе энергетической и электротехнической системы. Это связано с тем, что на элементов электротехнического электрооборудования и на их техническое состояние, рабочие характеристики влияет сочетание большого числа факторов, которые необходимо учесть в процессе эксплуатации рабочих параметров устройств системы возбуждения гидрогенераторов [3-6].

По условиям технологии изготовления в производстве электротехнической промышленности узлов, деталей, блоков, суб-блоков устройств системы возбуждения гидрогенераторов должны иметь определенные технические допуски по размерам, химическому и структурному составу электротехнических материалов. Все эти факторы оказывает влияние на этапы интенсивности износа или старения узлов, деталей, блоков, суб-блоков. При этом также необходимо учесть, процессы этапа проведения вида и периодичности технического обслуживания устройств системы возбуждения гидрогенераторов регламентированных заводом — изготовителем или фирм — изготовителем данной продукции, которые также влияют на этапы интенсивности износа или старения. Если виды и периодичности технического обслуживания устройств системы возбуждения гидрогенераторов проводятся нерегулярно или вообще не проводятся в организациях или на предприятиях электроэнергетической системы по обслуживанию долговечности, работоспособности гидрогенераторов, то скорость и темпы износа или старения узлов, деталей, блоков, суб-блоков устройств системы возбуждения гидрогенераторов в значительной мере увеличиваются и темпы износа, процессы старения могут быстро достигают своих предельных значений регламентируемых заводом — изготовителем или фирм — изготовителем данной электротехнической продукции. В результате этого все перечисленные выше факторы влияют на достоверность и получения истинных технических параметров прогнозирования работы элементов электротехнического электрооборудования.

При этом надо учесть те факторы, что разработанные до настоящего времени методы, средства прогнозирования не дают возможности достоверно предсказывать внезапные отказы, то есть отказы характеризующиеся скачкообразным изменением параметров состояния узлов, деталей, блоков, суб-блоков элементов электротехнического оборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов до предельного критического значения. Прогнозировать с определенной степенью точности можно только постепенные отказы, характеризующиеся постепенным изменением параметров технического состояния и обусловленными износом или старением элементов электротехнического материала в процессе функционирования и работы устройств системы возбуждения гидрогенераторов.

Износ или старение элементов электротехнического оборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов, это процессы, характеризующие изменение технического состояния работы элементов электротехнического электрооборудования во времени. Данные явления или процессы отражают изменения, происходящие в элементах электротехнического оборудования и приводящие к ухудшению свойств и рабочих характеристик. Данные ухудшения свойств и рабочих характеристик при эксплуатации обусловленные наличием детерминированной (определяющей) составляющей в процессах износа или старения узлов, деталей, блоков, суб-блоков элементов электротехнического электрооборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов. Влияние большого числа различных факторов приводят к ускорению или замедлению процессов износа или старения во времени, то есть накладывает на процесс случайную составляющую которую может быть образовано в процессе работы устройств системы возбуждения гидрогенераторов. Влияние каждой из составляющей для каждого конкретного случая может быть преобладающим, что должно отражаться на характере процесса износа или старения.

Основной задачей путей решения прогнозирования является определение остаточного ресурса элементов электротехнического электрооборудования. Задачами прогнозирования в процессе эксплуатации элементов электротехнического электрооборудования являются: сокращение трудоемкости и стоимости монтажных, наладочных а также проверочных работ, выполняемых при проведении профилактического восстановления, профилактического контроля согласно вида и периодичности технического обслуживания устройств системы возбуждения гидрогенераторов, так как оно проводится только при необходимости, то есть при исчерпании ресурсов деталей, узлов, блоков, суб-блоков; определение сроков монтажных, наладочных а также проверочных работ, а при полной выработке ресурсов то есть сроков замены элементов электротехнического электрооборудования; определение потребного числа запасных частей; сокращение сроков нахождения не реально элементов электротехнического электрооборудования в ремонте (так как требуется корректировка элементов, узлов, блоков, суб-блоков которые могут подлежать ремонту или замену исходя из непригодности для дальнейшей эксплуатации); установление сроков (вида и периодичности) проведения диагностирования находящихся в эксплуатации электрооборудования; проверка качества выполнения монтажных, наладочных а также проверочных работ.

В соответствии с ГОСТ 13377–75 «Надежность в электротехнике. Термины и определения» (<https://clck.ru/3QakcS>), ресурс — это наработка элементов электротехнического электрооборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов от начала эксплуатации или ее возобновления после проведения профилактического восстановления, профилактического контроля до наступления предельного состояния, то есть, когда дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена исходя из требований техники безопасности для электротехнического электрооборудования гидрогенераторов.

При достижении предельного состояния узлов, деталей, блоков, суб–блоков элементов электротехнического электрооборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов подлежат профилактического восстановления, профилактического контроля (то есть, ремонту согласно виду и периодичности технического обслуживания) или поэтапному списанию вышедшего из строя элементов электротехнического электрооборудования.

Ресурс работы элементов электротехнического электрооборудования, то их периоды отказа или угроза отказа наступает по вине одной или двух деталей, узлов, блоков, суб–блоков, что связано с нереальной прочностью и разной износостойкостью узлов, деталей, блоков, суб–блоков элементов электротехнического электрооборудования.

При создании конструкций элементов электротехнического электрооборудования должна быть предусмотрено меры для несложной замены части быстроизнашивающихся деталей, узлов, блоков, суб–блоков, например, щеток контактных колец гидрогенераторов, которые можно заменить при техническом обслуживании согласно виду и периодичности устройств системы возбуждения гидрогенераторов.

Для замены узлов, деталей, блоков, суб–блоков элементов электротехнического электрооборудования, которые полностью исчерпали свой ресурс работы электрооборудования требуется процесс разборки поэтапно исходя из пригодности данного устройства к дальнейшей эксплуатации. После процесса замены или проведения ремонта согласно вида и периодичности технического обслуживания узлов, деталей, блоков, суб–блоков исчерпавший свой ресурс работы элементов электротехнического электрооборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов. Данные устройства гидрогенераторов вновь становится работоспособной и имеют определенный запас времени работы элементов электротехнического электрооборудования до следующей угрозы потери работоспособности или выхода из строя элементов электротехнического электрооборудования.

В электроэнергетической системе при определении технического состояния и рабочих характеристик элементов электротехнического электрооборудования используется термины, как до ремонтный, межремонтный, остаточный и использованный ресурс. До ремонтный ресурс характеризуется наработкой нового электрооборудования электрической машины (гидрогенератора) от начала эксплуатации до первого ремонта (профилактического контроля), а межремонтный характеризуется наработкой между ремонтами (профилактическими контролями) для поддержания технических параметров. При прогнозировании должны учитываться остаточный ресурс, то есть наработка элементов электротехнического электрооборудования от момента диагностирования (контроля, предсказания событий) до предельного состояния, оговоренного технической документацией, определенной заводом — изготовителем или фирм — изготовителем данной электротехнической продукции или изделия. И использованный ресурс характеризуется наработкой элементов электротехнического электрооборудования после изготовления или ремонта (профилактического контроля) до момента диагностирования (контроля, предсказания событий) [4].

Определение остаточного ресурса элементов электротехнического электрооборудования позволяет объективно определить моменты необходимости ремонтного (профилактического контроля) воздействия, которые отвечают наиболее полному использованию ресурса узлов, деталей, блоков, суб – блоков, регламентированных заводом – изготовителем или фирм — изготовителем для конкретного электротехнической продукции или изделия.

Для ориентировочного сравнения технического состояния и рабочих характеристик элементов электротехнического электрооборудования диагностируемой гидрогенераторов, которые характеризуется различными диагностическими параметрами и рабочими характеристиками, можно использовать понятия коэффициента технического ресурса. С помощью этого коэффициента технического ресурса можно оценивать остаточный ресурс узлов, деталей, блоков, суб – блоков элементов электротехнического электрооборудования. Для параметров абсолютного значения, которые увеличиваются в процессе эксплуатации элементов электротехнического электрооборудования. Коэффициент технического ресурса вычисляются по формуле:

$$\text{Рост} = (\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{и}}) / (\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}})$$

где,  $\Pi_{\text{п}}$  — предельное значения параметра;  $\Pi_{\text{н}}$  — номинальное значения параметра;  $\Pi_{\text{и}}$  — измеренное значения параметра.

Если в процессе эксплуатации значение параметра уменьшается, то тогда коэффициент остаточного ресурса определяется выражением:

$$R_{\text{ост}} = (\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и}}) / (\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{п}})$$

Для нового элемента электротехнического электрооборудования узлов, деталей, блоков, суб–блоков электрической машины (гидрогенератора)  $\text{Рост}=1$ , а для полностью исчерпавших свои ресурсы  $\text{Рост}=0$ . С наибольшей точностью коэффициент ресурса характеризуется техническое состояние или рабочие характеристики элементов электротехнического электрооборудования диагностирования (контроля, предсказания событий), когда измеряемый диагностический параметр изменяется в процессе эксплуатации по линейному закону.

#### Выводы

1. Внедрения параметров средств диагностирования и мониторинга, а также необходимо для определения рабочих характеристик, а также технического состояния элементов (блоков, модулей, блок–модулей) электрооборудования в устройстве системы возбуждения гидрогенераторов находящихся в эксплуатации.

2. Выявление на ранней стадии признаков неисправности (дефекта) его масштабы разрушения, место нахождения и расположения, причины появления данных признаков неисправностей (дефектов). Все это необходимо для правильного (достоверного) анализа и принятия решения о последующей работе устройств находящихся в условиях эксплуатации оборудования (выводе в ремонт для проведения ремонтно-восстановительных работ, а также для дополнительного проведения обследования устройств и системы, а также для продления в эксплуатацию оборудования после получения заключения о техническом состоянии и рабочих характеристик).

#### Список литературы:

1. Жолонов О. М., Токоев М. П., Андаева З. Т. О задачах диагностики состояния электротехнического оборудования электростанции // Известия Ошского технологического университета. 2011. №2. С. 6-9.
2. Русан В. И., Шварц К. Ю. Диагностика электрооборудования. Минск, 2012. 296 с.
3. Жолонов О. М., Токоев М. П., Курстанов А. К. Критерии выбора типа автоматических регуляторов возбуждения сильного действия (АРВ-СД) при модернизации и технической перевооружении системы возбуждения гидрогенераторов в электроэнергетической системе // Research Focus. 2024. Т. 3. №1. С. 54-58.

4. Жолонов О. М. Расчетные значения токов трехфазного короткого замыкания в системе электроснабжения системы возбуждения синхронного генератора // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №2. С. 365-368. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/99/34>

5. Жолонов О. М., Токоев М. П., Турдуев И. Э. Эффективность функционирования цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики, а также надежность ее работы в условиях технологического процесса управления системы // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №5. С. 400-405. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/90/50>

6. Жолонов О. М. Методика расчета и определения токов короткого замыкания в особых условиях электроэнергетической системы // Известия Ошского технологического университета. 2016. №1. С. 8-10.

#### References:

1. Zholonov, O. M., Tokoev, M. P., & Andaeva, Z. T. (2011). O zadachakh diagnostiki sostoyaniya elektrotekhnicheskogo oborudovaniya elektrostantsii. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (2), 6-9. (in Russian).

2. Rusan, V. I., & Shvarts, K. Yu. (2012). Diagnostika elektrooborudovaniya. Minsk. (in Russian).

3. Zholonov, O. M., Tokoev, M. P., & Kurstanov, A. K. (2024). Kriterii vybora tipa avtomaticheskikh regulyatorov возбуждения sil'nogo deistviya (ARV-SD) pri modernizatsii i tekhnicheskoi perevooruzhenii sistemy возбуждения gidrogeneratorov v elektroenergeticheskoi sisteme. *Research Focus*, 3(1), 54-58. (in Russian).

4. Zholonov, O. (2024). Calculated Values of Three-phase Short-circuit Currents in the Power Supply System of the Synchronous Generator Excitation System. *Bulletin of Science and Practice*, 10(2), 365-368. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/99/34>

5. Zholonov, O., Tokoev, M. & Turduev, I. (2023). The Efficiency of the Functioning of the Digital Terminals of Relay Protection and Automation Devices, as Well as the Reliability of Its Operation in the Conditions of the Technological Control Process of the System. *Bulletin of Science and Practice*, 9(5), 400-405. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/90/50>

6. Zholonov, O. M. (2016). Metodika rascheta i opredeleniya tokov korotkogo zamykaniya v osobykh usloviyakh elektroenergeticheskoi sistemy. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (1), 8-10. (in Russian).

Поступила в редакцию  
10.11.2025 г.

Принята к публикации  
21.11.2025 г.

---

#### Ссылка для цитирования:

Жолонов О. Физико-химические свойства прогнозирования элементов электротехнического оборудования устройств системы возбуждения гидрогенераторов // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №12. С. 170-176. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/121/21>

#### Cite as (APA):

Zholonov, O. (2025). Physical and Chemical Properties of Various Elements of Electrical Equipment of Devices of the Excitation System of Hydrogenators. *Bulletin of Science and Practice*, 11(12), 170-176. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/121/21>