

УДК 621.31

https://doi.org/10.33619/2414-2948/90/50

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ  
УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ,  
А ТАКЖЕ НАДЕЖНОСТЬ ЕЕ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ**

©**Жолонов О. М.**, Курп-Сайская ГЭС каскада Токтогульских ГЭС филиала  
ОАО «Электрические станции», г. Кара-Куль. Кыргызстан

©**Токоев М. П.**, ORCID: 0009-0000-9155-4591, SPIN-код: 8798-8901, канд. техн. наук,  
Ошский технологический университет им. акад. М.М. Адышева,  
г. Ош, Кыргызстан, tokoev1965@mail.ru

©**Турдыев И. Э.**, ORCID: 0000-0002-3168-9635, SPIN-код: 1247-0259, канд. техн. наук,  
Ошский технологический университет им. акад. М.М. Адышева,  
г. Ош, Кыргызстан, ilyaz\_turduev@mail.ru

**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**

©**Zholonov O.**, Kurp-Sai HPP, Toktogul HPP cascade of the branch  
of Electric Stations JSC, Kara-Kul, Kyrgyzstan

©**Tokoev M.**, ORCID: 0009-0000-9155-4591, SPIN-code: 8798-8901, Ph.D., Osh Technological  
University named by M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, tokoev1965@mail.ru

©**Turduev I.**, ORCID: 0000-0002-3168-9635, SPIN-code: 1247-0259, Ph.D., Osh Technological  
University named by M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, ilyaz\_turduev@mail.ru

*Аннотация.* Рассматривается эффективность функционирования цифровых терминалов для устройств релейной защиты и автоматики, а также надежность системы, определяемая критериями показателей эффективности в заданных пределах эксплуатации ее элементов. Основной причиной нарушения устойчивости технологических установок (ТУ) являются провалы напряжения при действии релейной защиты и автоматики (РЗА) после КЗ во внутренней и внешней частях системы электроснабжения (СЭС), поэтому на многих предприятиях разворачиваются работы по техперевооружению (ТПР). Обоснованные рекомендации должны повысить технико-экономическую эффективность принимаемых решений.

*Abstract.* This article discusses the effectiveness of the functioning of digital terminals for relay protection and automation devices, as well as the reliability of the system determined by the criteria for performance indicators within the specified operating limits of its elements. The main reason for the violation of the stability of technological installations (TU) are voltage failures under the action of relay protection and automation (RPA) after a short circuit in the internal and external parts of the power supply system (SES), therefore, technical re-equipment (TPR) is being deployed at many enterprises. Sound recommendations should increase the technical and economic efficiency of the decisions taken.

*Ключевые слова:* цифровые терминалы, релейная защита и автоматика, коэффициент.

*Keywords:* digital terminals, relay protection and automation, coefficient.

Одним из важнейших свойств цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики является, обеспечение эффективности функционирования системы то есть ее надежности. Исследования обусловлены значительным уровнем технико-экономических и экологических ущербов на предприятиях непрерывного производства из-за провалов напряжения. Существует много способов повышения устойчивости работы технологических установок. Возникает актуальный вопрос, как выбрать необходимую и достаточную комбинацию мероприятий по изменению структуры и параметров релейной защиты и автоматики, которая обеспечит устойчивость технологических установок и минимизирует затраты? *Целью работы* по надежности повышения эффективности функционирования РЗА необходимо применение МП РЗА. Новые системы и аппараты РЗА должны обеспечивать: - снижение времени отключения токов короткого замыкания на основе повышения быстродействия устройств релейной защиты; - повышение надежности функционирования устройств РЗА в результате применения встроенной в устройства непрерывной диагностики.

Под надежностью цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики понимают способность системы выполнять заданные защитные характеристики и функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей и параметров, определенных в заданных пределах при заданных условиях эксплуатации. Надежность цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики является комплексным свойством, включающим безотказность, ремонтпригодность и долговечность. Безотказность цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики — свойство системы сохранять работоспособность в течение некоторого периода времени (наработки) без вынужденных перерывов. Ремонтпригодность цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики — приспособленность системы к предупреждению, обнаружению и ликвидации отказов. Для безотказности характерным являются закономерности возникновения отказов, в то время как для ремонтпригодности - закономерности их устранения.

Долговечность цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики — свойство системы сохранять работоспособность до некоторого предельного состояния (с перерывами типы, виды периодичности технического обслуживания цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики). Показателями цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики является ресурс функционирования надежности и срок службы, то есть суммарная наработка и циклическая продолжительность защитных, эксплуатационных характеристик до предельного состояния.

Важнейшими показателями является отказ цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики в работе системы, происходящий в результате нарушения нормального функционирования одного или нескольких ее элементов, блоков и узлов.

Цифровые терминалы устройств релейной защиты и автоматики тесно связаны с увеличением количество и качество выполняемых ею функций, что приводит к усложнению системы и повышает надежность функционирования при отказе в работе системы. При этом в цифровых терминалах устройств релейной защиты и автоматики увеличивается количество элементов, что приводит к существенному уменьшению ее надежности, если ее элементы увеличивают процесс функционирования потокоотказа в работе устройства.

Как показывает анализ работы элементов и опыты эксплуатации цифровых терминалов

устройств релейной защиты и автоматики должны быть составлены критерии надежности системы включающие следующие значения:

- сбор и анализы данных о режимах и условиях работы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики, изучение видов и периодичности технического обслуживания и надежности технологического объекта управления, изучение видов коротких замыканий, ненормальных режимов и последствий отказов функционирования устройств, определение технологических требований к надежности системы;

- анализы функций цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики и определение критериев отказов во каждом случаях и по электроэнергетической системы в целом;

- определение требований к надежности цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики и выбор методов оценки надежности системы;

- изучение цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики и оценка показателей надежности;

- разработка основных правил технической характеристики эксплуатации и уточнение расчета показателей надежности цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики;

- сбор данных о надежности в условиях эксплуатационных характеристик, оценка надежности и разработка рекомендаций по ее повышению на стадии анализа функционирования цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики;

- системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики могут быть ремонтируемыми и не ремонтируемыми.

Цифровые терминалы устройств релейной защиты и автоматики, являясь ремонтируемыми системами, имеют срок службы (ресурс), который определяются физическим износом и старением ее элементов, узлов, блоков, так как они могут быть заменены другими, а снижением эффективности ее работы и целесообразностью дальнейшей эксплуатации. Поэтому надежность системы достаточно полно определяется совокупностью свойств безопасности и ремонтпригодности.

Процесс функционирования цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики можно представить в виде последовательно чередующихся интервалов работоспособности и поток отказов. Продолжительность интервалов является непрерывной случайной величиной, которая может характеризоваться функциями распределения или плотностями вероятностей, теории случайных процессов и математической статистики.

Процессы функционирования систем цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики  $R_r$  и входящих в их состав устройств в виде потоков случайных событий (потоков отказов элементов и устройств), полагают, что потоки отказов являются простейшими (пуассоновскими), обладающими одновременно свойствами ординарности, стационарности и отсутствия последствия. У ординарного потока отказов вероятность появления в некоторых моментах времени более одного отказа пренебрежимо мала. Поток отказов называют стационарным, если вероятность появления некоторого числа отказов в интервале времени  $t - (t + \Delta t)$  зависит только от  $\Delta t$  и не зависит от  $t$ . Отсутствие при этом последствия означает, что отказы являются случайными и независимыми друг от друга.

Для ремонтируемых систем критериями безотказности являются вероятности наработки между отказами  $P(t)$  больше заданного значения времени  $T$ , параметр потока отказов системы  $\lambda(t)$  и наработка на отказ  $T_H$ , под которой понимается средняя продолжительность работы системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и

автоматики между двумя последовательными отказами. Величина  $P(T)$  является важнейшим показателем надежности ремонтируемых систем цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики и определяет вероятность того, что наработка  $T_n$  между отказами превзойдет заданное время  $T$ :

$$P(T) = P(T_n \geq T) \quad (1)$$

Показателями ремонтпригодности цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики являются вероятность  $P(T_3)$  восстановления системы за заданное время  $T_3$  и среднее время восстановления  $T_b$ , которое определяет средние показатели времени на обнаружение и устранение отказа при заданных условиях функционирования устройства.

Кроме перечисленных показателей безотказности и ремонтпригодности используется комплексными показателями: коэффициент готовности  $R_r$  и коэффициента технического использования  $R_{т.и.}$ . Коэффициенты готовности для установившегося режима работы системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики определяет вероятность того, что система цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики исправна в любой произвольно выбранный момент времени. В промежутке между плановыми профилактическими обслуживаниями согласно, вида и периодичности технического обслуживания цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики и оценивается отношением времени наработки на отказ к средней длительности цикла работы — профилактическим восстановлением системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики:

$$R_r = T_n / (T_n + T_{пв}) \quad (2)$$

Вероятностный смысл коэффициента  $R_{т.и.}$  такой же, как и  $R_r$ , но в нем учитывается время планового профилактического обслуживания  $t_{пр}$  согласно объема, вида и периодичности технического обслуживания цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики. Он оценивает отношением времени наработки на отказ к средней длительности цикла работы профилактические восстановление и профилактический контроль:

$$R_{т.и.} = T_n / (T_n + T_{пв} + T_{пр}) \quad (3)$$

Главная особенность системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики состоит в том, что оценка качества их функционирования производится с учетом технико-экономического критерия. Поэтому состояние систем цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики в процессе эксплуатации следует характеризовать с помощью функции, связанной с экономическим эффектом от их использования в течение установленного срока службы (ресурса)  $T_p$ . Такой случайной функцией могут служить убытки (экономические потери), которые зависят от количества и последствия отказов цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики в процессе работы системы.

Для успешного функционирования системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики требуется исправное действие всех ее элементов, блоков и узлов. Такими свойствами обладают наиболее простые системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики из числа удовлетворяющих требованиям, предъявляемыми к процессу управления защитными характеристиками и параметрами. Вероятность безотказной работы системы  $P(t)$  зависит от вероятностей безотказной работы элементов  $P_i(t)$  и (при независимости отказов) определяется по формуле:

$$P(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t) \quad (4)$$

где  $N$  — количество элементов.

Для обеспечения надежной работы системы, содержащей большое число элементов, весьма эффективным является введение понятия избыточности системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики. Различают структурную и информационную избыточность определяется наличием дополнительных путей передачи сигналов о нарушении или сбое в работе; поэтому при отказе одного из элементов его функции выполняет другой элемент, которые не является необходимым при исправной работе основного устройства защиты. Введение структурной избыточности является одним из основных методов, позволяющих создать высоко надежную систему из элементов с недостаточно высокой надежностью. Это достигается за счет рационального применения избыточных элементов и способов их соединения.

Информационная избыточность определяется наличием в сигнале дополнительной информации о всех нарушениях и в сбоях в работе устройства. Необходимость и надобность в ней возникает при отказе рядов элементов, узлов и блоков. Она не используется при нормальной работе всех элементов узлов и блоков.

Введение избыточностью увеличивают надежность системы цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики за счет повышения ее безотказности. Повышение ремонтпригодности цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики может быть достигнуто в случае применения унифицированных блочных конструкций, устройств диагностики и индикации отказов.

#### Вывод

Надежность функционирования цифровых терминалов устройств релейной защиты и автоматики является: комплексным свойством, включающих в себя безотказность; ремонтпригодность и долговечность определяемой критериями эксплуатационных показателей.

#### Список литературы:

1. Чернобровов Н. В. Релейная защита. М.; Л.: Энергия, 1966. 760 с.
2. Барзам А. Б. Системная автоматика. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958. 256 с.
3. Задкова Е. А. Повышение эффективности функционирования релейной защиты и автоматики на предприятиях непрерывного производства // Наука и современность. 2010. №5-2. С. 216-224.
4. Задкова Е. А., Арцишевский Я. Л. Исследование и разработка мероприятий по обеспечению устойчивости нагрузки предприятий непрерывного производства // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2008. №3. С. 66-68.

#### References:

1. Chernobrovov, N. V. (1966). Releynaya zashchita. Moscow, Leningrad. (in Russian).
2. Barzam, A. B. (1958). Sistemnaya avtomatika. Moscow, Leningrad. (in Russian).
3. Zadkova, E. A. (2010). Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya releinoi zashchity i avtomatiki na predpriyatiyakh nepreryvnogo proizvodstva. *Nauka i sovremennost'*, (5-2), 216-224. (in Russian).

4. Zadkova, E. A., & Artsishevskii, Ya. L. (2008). Issledovanie i razrabotka meropriyatii po obespecheniyu ustoichivosti nagruzki predpriyatii nepreryvnogo proizvodstva. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika*, (3), 66-68. (in Russian).

Работа поступила  
в редакцию 30.03.2023 г.

Принята к публикации  
09.04.2023 г.

---

Ссылка для цитирования:

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>

Cite as (APA):

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>