

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ БАРЬЕРОВ ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК

Ипполитов В. А., руководитель центра проектирования,

Крюков О. В., д-р техн. наук, зам. директора по науке,
ООО «ТСН-электро», г. Н. Новгород,

Гуляев И. В., д-р техн. наук, начальник НОЦ энергосбережения,
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск

Рассмотрены пути повышения искробезопасности в нефтегазовой, химической и перерабатывающей отраслях промышленности. Проведен анализ отечественной нормативной базы и международных стандартов в области защиты силового оборудования и измерительных цепей в части защиты от внешних и внутренних перенапряжений. Показана необходимость и даны рекомендации по использованию УЗИП в топливно-энергетическом и нефтегазовом комплексе.

Ключевые слова: искробезопасность, искрозащита, устройство защиты от импульсных перенапряжений, электроприводной газоперекачивающий агрегат.

APPLICATION OF INTRINSIC SAFETY BARRIERS OF ELECTRICAL EQUIPMENT AT FUEL AND ENERGY COMPLEX ENTERPRISES

Ippolitov V. A., head of the design center,

Kryukov O. V., doctor of technical sciences, deputy. director of science,
LLC "TSN-electro", city of N. Novgorod,

Gulyaev I. V., doctor of technical sciences, head of the rec of energy saving,
Ogarev Mordovian State University, city of Saransk

The ways of increasing intrinsic safety in the oil and gas, chemical and processing industries are considered. The analysis of the domestic regulatory framework and international standards in the field of protection of power equipment and measuring circuits in terms of protection against external and internal overvoltages is carried out. The necessity is shown and recommendations are given for the use of lightning protection in the fuel and energy and oil and gas complex.

Keywords: intrinsic safety, spark protection, surge protection device, electric gas pumping unit.

Для современных энергетических предприятий важнейшей целью является не только производство продукции высокого качества, но и обеспечение надежной и безаварийной работы всех технологических цепочек на высоком технико-экономическом уровне, отвечающем современным требованиям промышленной безопасности [1–3].

Предприятия нефтегазового сектора, энергетической и горнодобывающей отраслей промышленности характеризуются наличием объектов повышенной опасности (ОПО), взрывоопасных зон, на которых требуется осуществлять непрерывный мониторинг [4–7] с прогнозированием технического состояния в среднесрочной перспективе [8–10]. Надежность и оперативность таких систем играют важнейшую роль в непрерывном производственном процессе, например компрессорных станций (КС) магистральных газопроводов (МГ) [11–14]. Электрическая инфраструктура всех ОПО очень чувствительна к импульсным помехам, которые способны ограничить работоспособность промышленных установок и в целом производственных объектов по сетям питания и информационным каналам [15, 16].

Устройства молниезащиты и защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) призваны обеспечить защиту таких ОПО КС, как электроприводной газоперекачивающий агрегат (ЭГПА) со сложной и дорогостоящей техникой [17–21], распределительные устройства различных классов напряжения (рис. 1), серверное и цифровое оборудование систем электроснабжения (СЭС) [22–24]. Для защиты оборудования и всей системы производства в целом и, в частности, предотвращения травм персонала, необходимо, чтобы концепция молниезащиты и защиты от импульсных перенапряжений предприятия отвечала всем действующим стандартам [25–29], что одинаково верно как для взрывоопасных производственных зон ОПО, так и для взрывобезопасных зон.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО УЗИП

Для решения указанной задачи во взрывоопасных зонах каналы связи оборудуются искробезопасными цепями. Для сопряжения электрооборудования, расположенного во взрывоопасной зоне и



Рис. 1. Современное электротехническое оборудование систем электроснабжения

вне ее, используются ограничительные устройства – **барьеры искробезопасности**, обеспечивающие искрозащиту электрических цепей датчиков, находящихся во взрывоопасной зоне. Устройства применяются в системах автоматического регулирования, сигнализации и аварийной защиты на взрыво-, пожароопасных участках, где могут присутствовать взрывоопасные смеси газов, паров, а также легковоспламеняющиеся и взрывчатые вещества.

Безопасность в нефтегазовой, химической и перерабатывающей промышленности должна отвечать самым высоким требованиям. В частности, директива АТЕХ и соответствующие отраслевые и международные стандарты включают многочисленные инструкции, которые должны быть скоординированы для практического применения. Для новых предприятий это реализуется еще на этапе планирования производства. Директива АТЕХ рассматривает оценку опасностей взрыва и возможных источников зажигания, в их числе помимо прочих упоминаются удары молний, коммутационные всплески и электростатические разряды. Эти же факторы указываются в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ 7). Устройства для защиты от импульсных перенапряжений, вызванные перечисленными факторами, регламентируются действующим стандартом МЭК 61643-1. В России данный стандарт издан в виде ГОСТ Р 51992-2002. Методы защиты от физических повреждений зданий и сооружений, вызванных грозовыми разрядами, регламентируются международным стандартом МЭК 62305. При этом само электрооборудование, установленное во взрывоопасной зоне, должно соответствовать следующим стандартам:

- МЭК 60079-0 – Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред.
- МЭК 61241-10 – Электрооборудование для сред с горючей пылью.

Данные стандарты также гармонизированы со стандартами ГОСТ Р.

Оценка риска выполняется для того, чтобы определить необходимость в системе молниезащиты и выбрать защитные меры, приемлемые и с технической, и экономической точек зрения. Система молниезащиты включает внешнюю систему молниезащиты, токоотводящие шины, систему заземления, а также внутреннюю защиту от импульсных перенапряжений. В стандарте МЭК 62305 обсуждается обширный перечень факторов с целью калькуляции возможных убытков, а также чтобы найти пути их избежать и минимизировать риски. Концепция молниезащиты в целом и защита от импульсных перенапряжений, в частности, должна использоваться в обязательном порядке во взрывоопасном производстве, т. к. возможные последствия этих факторов становятся значительно более критичными как для оборудования, так и для людей.

В приложении к части 3 стандарта МЭК 62305 содержится важная информация о практической реализации и деталях системы заземления и системы выравнивания потенциалов. Выравнивание потенциалов системы молниезащиты представлена как часть стандарта под пунктом 6.2. Это достигается соединением следующих компонентов, используя проводники выравнивания потенциалов, естественные соединения, устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП):

- металлические части конструкций;
- металлические установочные компоненты;
- внешние проводящие линии, имеющие соединения с аппаратной частью системы;
- электрические и электронные системы с аппаратной частью, которая должна быть защищена.

Цель молниезащиты и защиты от импульсных перенапряжений – повышение безопасности производства и его готовности. Принципы безопасного оборудования системы для перерабатывающей промышленности с привязкой к ЭМС, так же как и опасности, вызванные

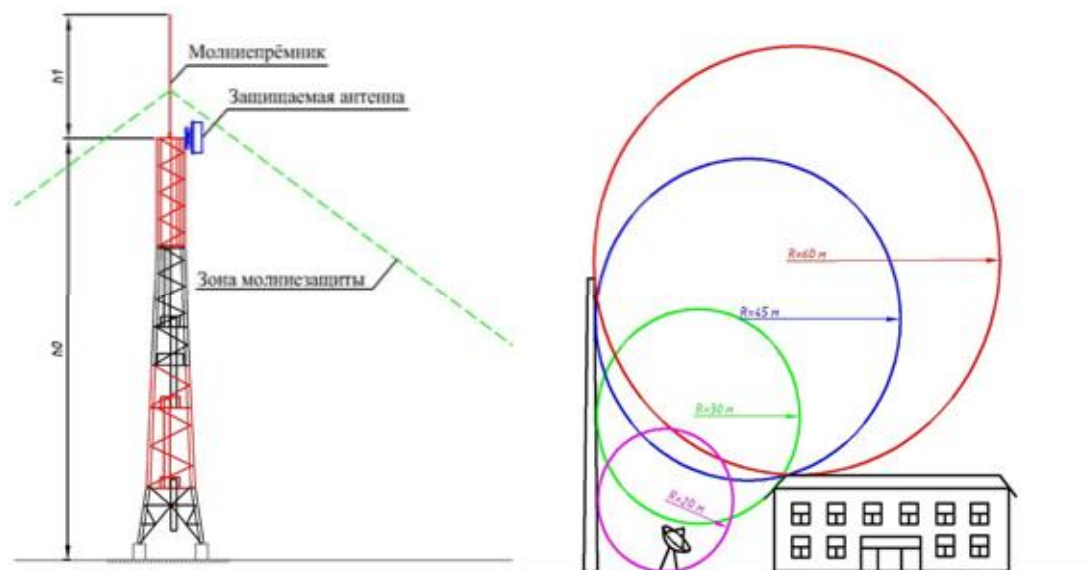


Рис. 2. Примеры защиты АФУ по СТО Газпром с применением метода фиктивной сферы

ударами молний, собраны в стандарте МЭК 61511-1.

Зонная концепция молниезащиты формирует основу системы молниезащиты (рис. 2). Ее описание приведено в международном стандарте МЭК, перенесено в российскую Инструкцию по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003, а также повторяется во многих локальных национальных отраслевых стандартах, в т. ч. ПАО «Газпром». В соответствии с этой концепцией оборудование классифицируется в соответствии с зонами молниезащиты (LPZ – lightning protection zones) от 0А до 3.

Целью является последовательное уменьшение электромагнитных возмущений от зоны 0А до зоны 2 или 3, вызванных близким или прямым ударом молнии, до допустимого для каждого конкретного случая уровня. Внешние элементы молниезащиты и механические части, окружающие полевые приборы, должны предотвращать оборудование от разрушений, вызванных прямым попаданием разряда молнии. Защита от импульсного перенапряжения должна защищать электрическое и электронное оборудование от электромагнит-

ных воздействий, вызванных разрядом молнии.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЗИП В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В нефтегазовой и перерабатывающей промышленности, где производственные площадки разбросаны на очень больших территориях с длинными линиями сетей передачи данных и питающими линиями, в электрической инфраструктуре появляются значительные разности потенциалов во время грозы при ударах молнии в объекты или близлежащие территории. Также импульсное перенапряжение появляется при коммутации индуктивной нагрузки, такой как электродвигатели. В результате повреждения оборудования может произойти короткое замыкание в сети или пробой на землю, и, как следствие, отключаются целые секции электрической системы.

Также эксплуатационные предприятия должны принимать в расчет последствия аварийного отключения электрооборудования, когда оборудование отключается под нагрузкой, коммутационные операции этого типа могут вызвать возникновение импульсных перенапряжений в не-

сколько тысяч вольт. Даже если в результате не последует немедленного выхода из строя системы, электрооборудование может быть повреждено, что послужит выходу системы из строя через некоторое время. Впоследствии достаточно трудно установить, что причиной этого было воздействие импульсного напряжения из-за удара молнии или аварийного отключения оборудования неделю назад.

УЗИП позволяют существенно повысить степень готовности производственных систем, а зонная концепция защиты облегчает выбор решения. Соответствующие меры защиты от импульсных перенапряжений и последовательное уравнивание потенциалов должны быть приняты на переходах из одной защитной зоны в другую. Для цепей питания принято устанавливать УЗИП классов 1, 2 и 3 на границах соответствующих зон.

Устройства защиты от импульсных перенапряжений для измерительных и информационных цепей – токовые петли, цифровые сигналы, магистральные системы – имеют конструкцию, включающую, как минимум, два каскада защиты, а, следовательно, обеспечивают защиту устройств при передаче сигнала через разные защитные зоны. Они обладают достаточно высокой способностью отводить разрядные токи и при этом имеют низкий уровень защиты (напряжение, при котором происходит срабатывание устройства) и маленькое время срабатывания.

В измерительных линиях следует принять во внимание, что в защите нуждаются, с одной стороны, полевые устройства, а с другой – устройства контроля и управления. УЗИП для измерительных цепей, как известно, работают по принципу предохранительного короткого замыкания. В случае перегрузки они замыкают сигнальную цепь на линию защитного заземления, чем предотвращают повреждение соответствующего интерфейса.

С точки зрения экономической эффективности производства, одним из важнейших вопросов является стоимость эксплуатации, ремонта и времени простоя системы. Опыт показывает, что пред-

приятия, применяющие в своих системах УЗИП, значительно повышают степень надежности своего оборудования. Поэтому в ОПО, помимо повышения уровня экономической эффективности, огромное значение имеет уровень безопасности всего производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Воронков В.И., Рубцова И.Е., Крюков О.В.** Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей МГ // Газовая промышленность. – 2010. – № 3. – С. 32–37.
2. **Крюков О.В., Степанов С.Е.** Модернизация систем управления ЭГПА в условиях действующих компрессорных станций // В сб.: Проблемы автоматизации и управления в технических системах. МНТК / под ред. М.А. Щербакова, 2013. – С. 29–32.
3. **Крюков О.В., Серебряков А.В.** Экологические направления электроснабжения и задачи энергосбережения при реконструкции объектов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2015. – № 8. – С. 23–33.
4. **Kryukov O.V., Blagodarov D.A., Dulnev N.N., Safonov Y.M., Fedortsov N.N., Kostin A.A.** Intelligent control of electric machine drive systems // В сб.: 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018 – Conference Proceedings 10. 2018. – P. 857–1670.
5. **Репин Д.Г., Крюков О.В.** Концепты системы мониторинга технического состояния компрессорных станций // Контроль. Диагностика. – 2017. – № 12. – С. 30–35.
6. **Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.** Методология и средства оперативного мониторинга электродвигателей на КС // Контроль. Диагностика. – 2019. – № 11. – С. 52–58.
7. **Степанов С.Е., Крюков О.В.** Выбор методов мониторинга и прогнозирования технического состояния автоматизированных электроприводов энергетических объектов // Контроль. Диагностика. – 2018. – № 11. – С. 32–39.
8. **Мещеряков В.Н., Ласточкин Д.В., Крюков О.В.** Приложения теории нечетких множеств для обработки данных и задач прогнозирования в системах АЭП // В сб.: Современные сложные системы управления. – Материалы XII МНПК. – 2017. – С. 153–158.
9. **Крюков О.В.** Комплексный анализ условий эксплуатации электродвигателей ГПА //

Компрессорная техника и пневматика. – 2013. – № 4. – С. 14–19.

10. **Крюков О.В.** Моделирование и микропроцессорная реализация электромеханических систем // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – № 3. – С. 55–61.

11. **Kryukov O.V., Serebryakov A.V.** Energy efficient power supply systems of oil and gas pipelines electric drives // Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering. – 2017. – Vol. 17. – N 3. – P. 102–110.

12. **Belousov A.S., Meshcheryakov V.N., Valtchev S., Kryukov O.V.** Development of a control algorithm for three-phase inverter in two-phase electric drives reducing the number of commutations // В сб.: Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. – 2019. – P. 444–449. DOI: 10.1109/summa48161.2019.8947487

13. **Kryukov O.V., Serebryakov A.V.** Modern systems of outdoor illumination for compressor stations // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24. – N 2. – P. 128–131.

14. **Воиков В.Н., Мещеряков В.Н., Крюков О.В.** Вентильный электропривод для погружных нефтяных насосов с импульсным повышающим преобразователем напряжения в звене постоянного тока ПЧ и релейным управлением инвертором напряжения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2020. – Т. 20. – № 2. – С. 110–119.

15. **Крюков О.В.** Коммуникационная среда передачи данных сети ETHERNET на полевого уровне различных объектов // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 12. – С. 26–30.

16. **Kryukov O.V., Gulyaev I.V., Teplykhov D.Y.** Method for stabilizing the operation of synchronous machines using a virtual load sensor // Russian Electrical Engineering. – 2019. – Vol. 90. – N 7. – P. 473–478.

17. **Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В., Титов В.Г.** Реализация капсулированных электроприводных ГПА на объектах ПАО «Газпром» // Известия вузов. Электромеханика. – 2020. – Т. 63. – № 1. – С. 31–37.

18. **Крюков О.В., Мещеряков В.Н., Гуляев И.В.** Электроприводы на основе машины двойного питания и асинхронного вентильного каскада с преобразователями в цепях статора и ротора. – Саранск, 2020.

19. **Титов В.Г., Крюков О.В.** Алгоритмы управления на базе множественной регрес-

сии инвариантными технологическими системами с электроприводами // Известия вузов. Электромеханика. – 2021. – Т. 64. – № 2. – С. 32–38.

20. **Valtchev S., Kryukov O.V., Meshcheryakov V. N., Belousov A.S.** Comparative analysis of electric drives control systems applied to two-phase induction motors // В сб.: Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020. 2. 2020. – P. 918–922.

21. **Крюков О.В.** Идентификация параметров приводных электродвигателей газовых турбокомпрессоров // В сб.: Идентификация систем и задачи управления: Труды X Международной конференции. ИПУ им. В.А. Трапезникова, 2015. – С. 348–367.

22. **Кононенко А.Б., Косоротов А.А., Крюков О.В.** Расширение функциональных возможностей автоматизации и мониторинга распределительных устройств КТП «Каскад» // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2020. – № 12. – С. 26–31.

23. **Груздев В.В., Волков А.С., Крюков О.В.** Методологический подход к прогнозированию технического состояния трансформаторов распределительных устройств // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2021. – № 1 (138). – С. 14–19.

24. **Крюков О.В.** Автоматизированное нагружающее устройство для комплексных испытаний поршневых двигателей // Двигателестроение. – 2016. – № 2 (264). – С. 30–35.

25. **ГОСТ 9.005-72.** Допустимые и недопустимые контакты металлов.

26. **ГОСТ Р 50571.21-2000.** (МЭК 60364-5-548-96). Заземляющие устройства и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации.

27. **ГОСТ 10434-82.** Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования.

28. **ГОСТ 9.303-84.** Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования к выбору и обозначения.

29. **Терентьев Д.Е.** Минимизация и стабилизация переходного сопротивления разъемных контактов в системах уравнивания потенциалов и заземляющих устройствах / Состояние и перспективы развития энергетики и связи – www.commmeng.ru, www.spres.info