

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025. Т. 34. № 1. С. 79–84
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025; 34(1):79-84

УДК 614.84

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2025.34.01.79-84>

Пожарная опасность накопления пыли в электроустановках. Часть 2

Александр Сергеевич Харламенков ✉

Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены примеры случаев накопления пыли в различных электроустановках. Выполнен обзор существующих методов очистки электрооборудования от пыли и других загрязнений. Даны разъяснения по особенностям выбора и преимущественных областях применения отдельных способов очистки. Показана возможность проведения очистки электрооборудования без снятия напряжения. Представлен вариант использования комбинированного способа удаления загрязнений.

Ключевые слова: техническое обслуживание; продувка сжатым воздухом; растворители; сухой лед; сухая вода; охлаждение

Для цитирования: Харламенков А.С. Пожарная опасность накопления пыли в электроустановках. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 1. С. 79–84. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.01.79-84

✉ Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h_a_s@live.ru

Fire hazard of dust accumulation in electrical installations. Part 2

Aleksandr S. Kharlamenkov ✉

The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Examples of dust accumulation in various electrical installations are considered. A review of existing methods for cleaning electrical equipment from dust and other contaminants is provided. Explanations are given on the peculiarities of selection and preferred areas of application of individual cleaning methods. The possibility of cleaning electrical equipment without removing voltage is shown. A variant of using a combined method for removing contaminants is presented.

Keywords: maintenance; compressed air blowing; solvents; dry ice; dry water; cooling

For citation: Kharlamenkov A.S. Fire hazard of dust accumulation in electrical installations. Part 2. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(1):79-84. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.01.79-84 (rus).

✉ Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h_a_s@live.ru

ВОПРОС



В рубрике «Вопрос – ответ» журнала № 4 за 2024 г. [1] были рассмотрены требования действующих нормативных документов по очистке электрооборудования от пыли и других загрязнений, накопление которых способствует развитию аварийных ситуаций с появлением источников зажигания и последующим возникновением пожара.

Выполнение периодической очистки пыльных и загрязненных поверхностей электроустановок позволяет снизить вероятность пожара от электрооборудования зданий и сооружений. Порядок и периодичность

уборки пыли должны определяться техническим регламентом выполнения работ и указываться в инструкции о мерах пожарной безопасности. Помимо соблюдения графиков планово-предупредительного ремонта собственник объекта (руководитель организации) или назначенное им ответственное лицо должны иметь представление о существующих и безопасных способах удаления пыли и других загрязнений с поверхностей электроустановок.

Какие методы очистки электрооборудования применяются в современной практике технического обслуживания электроустановок для обеспечения их пожарной безопасности?

ОТВЕТ

Как известно, накопление пыли на поверхностях различных электроустановок приводит к ухудшению теплоотвода от нагретых элементов оборудования, что способствует локальному перегреву изоляционных материалов. Ускоренное тепловое старение изоляции создает условия для возникновения искровых и дуговых пробоев, которые не только становятся причиной нарушений в работе оборудования, но и способны воспламенить слои осевшей пыли и других горючих отложений. Например, исследование [2], посвященное влиянию запыленности среды на срок службы электродвигателей, показало, что пробои изоляции наблюдались в лобовой части обмотки статора асинхронных двигателей, где чаще всего происходило накопление пыли толщиной до 30 мм. Выполненное моделирование процесса накопления пыли толщиной 15 мм с различными коэффициентами теплопроводности на обмотках статора позволило определить температуру изоляции, расчетные значения которой превысили допустимые величины на 9–19 °С. Таким образом, согласно правилу «восьми градусов» (правило Монтзигера), повышение температуры обмоток на каждые 8 °С сверх предельно допустимой ведет к сокращению срока службы изоляции вдвое. Это является причиной более раннего выхода электродвигателей из строя и возникновения токовых перегрузок в питающих групповых электрических сетях.

Сопротивление изоляции кабельных изделий, обеспечивающих работу электроустановок зданий и сооружений, может также со временем ухудшаться из-за оседания электропроводящей пыли¹ с возникновением поверхностных токов утечки [3]. В кабельных лотках и вблизи кабельных проходок при групповой прокладке, расположенных на высоте² более 3,5 м, где проведение технического обслуживания по очистке поверхностей затруднительно, могут наблюдаться значительные отложения пыли, способствующие ухудшению теплоотвода с локальным повышением температуры проводников и снижению электрической прочности изоляции. Поэтому до начала выполнения профилактических мероприятий необходимо выполнить предварительную оценку потенциальных мест скопления пыли, что в дальнейшем позво-

лит оптимизировать процесс выполнения работ по техническому обслуживанию действующих электроустановок объекта и повысить его эффективность в целом.

При проведении предварительного анализа запыленности электроустановок на объекте следует уделять внимание электрическим щитам, смонтированным в местах проведения строительно-монтажных и реставрационных работ. Как показывает практика³, в процессе выполнения ремонтных работ образующаяся в помещениях строительная пыль в большом количестве оседает на поверхностях аппаратов защиты, установленных в электрическом щите. Мелкодисперсные частицы пыли попадают в углубления под клеммы, а также в зазоры между корпусом аппарата и рычагами (кнопками) управления (рис. 1). При подключении электропроводки к запыленным аппаратам защиты в местах клеммных соединений создаются условия для возникновения больших переходных сопротивлений (БПС), а также искрений. Кроме этого, накопление пыли в местах расположения рычагов отключения и других подвижных элементов аппарата, в том числе и внутри корпуса, может привести к заклиниванию механизма отключения в момент аварийного режима работы. Поэтому при выполнении различных видов ремонтных работ, сопровождающихся образованием строительной пыли, необходимо заранее обеспечить защиту внутреннего объема электрических щитов от попадания мелких частиц через неплотно закрытую дверцу или вводы кабелей. В противном случае на этапе приемо-сдаточных испытаний (если они предусмотрены) может потребоваться замена отдельных модулей или всей сборки.

Для исключения возникновения вышеперечисленных и аналогичных случаев накопления пыли в электроустановках необходимо регулярно выполнять обслуживание оборудования с помощью эффективных и безопасных способов очистки.

В отличие от бытовых помещений, где влажная уборка пыли выполняется регулярно, обслуживание электроустановок требует особых подходов. Использование воды или химических растворов на водной основе недопустимо для отдельных типов оборудования, в том числе находящегося под напряжением. Это обусловлено риском возникновения коротких замыканий и поражения персонала электрическим током. Наибольшие сложности возникают при очистке закрытых участков сетей (электрические щиты, распределительные и распаячные коробки и т.д.), где плотное расположение проводников и аппаратов защиты ограничивает доступ к загрязненным поверхностям.

Все способы удаления пыли и других загрязнений с электрооборудования можно условно разделить на механические и химические; со снятием и без снятия напряжения.

¹ По ГОСТ 31610.10-2-2017/IEC 60079-10-2:2015 «Взрывоопасные среды. Часть 10-2. Классификация зон. Взрывоопасные пылевые среды» электропроводящая пыль — это горючая пыль с электрическим сопротивлением, равным или меньше 10^3 Ом·м (например, металлическая или угольная пыль).

² Высота обслуживания электроустановок 3,5 м выбрана исходя из требований Приказа Минтруда России «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» № 782н от 16.11.2020 г., в п. 3 которого указывается опасное значение высоты возможного падения работника — 1,8 м и более. Следовательно, для проведения безопасного обслуживания электроустановки, расположенной на высоте 3,5 м, работнику со средним ростом 1,65–1,75 м может потребоваться подняться на высоту 1,8 м, что будет считаться работой на высоте с получением дополнительных разрешений на такой вид работ и усилением мер безопасности.

³ Пыль в щитах, кривые руки и тройная переплата. URL: <https://cs-cs.net/pyl-v-shitax-i-krivye-ruki-pervomajskaya> (дата обращения: 23.12.2024).



Рис. 1. Накопление пыли во внутреннем пространстве электрических щитов на аппаратах защиты

Наиболее распространенным способом механического удаления пыли и других загрязнений является очистка с помощью ручного инструмента в виде щеток, тряпок, ветоши. Работы по обслуживанию электроустановок с помощью указанных выше материалов в большинстве случаев требуется выполнять при снятом напряжении за исключением отдельных случаев [4], когда применяются специальные щетки с изоляционными штангами или диэлектрическими насадками для очистки проводов и изоляторов в высоковольтных линиях под напряжением (рис. 2). Данный способ механической очистки не позволяет полностью удалить имеющиеся загрязнения, особенно в труднодоступных местах, поэтому чаще всего применяется совместно с другими методами очистки. К таким методам можно отнести удаление пыли с помощью пылесоса. В этом случае удаляемая пыль не перераспределяется на соседние поверхности и не переходит во взвешенное состояние, а скапливается в пылесборнике пылесоса. В то же время такой способ не всегда позволяет удалить плотные скопления пыли в труднодоступных местах и может представлять опасность, связанную с механическим повреждением мелких компонентов оборудования при их контакте с всасывающей насадкой пылесоса.

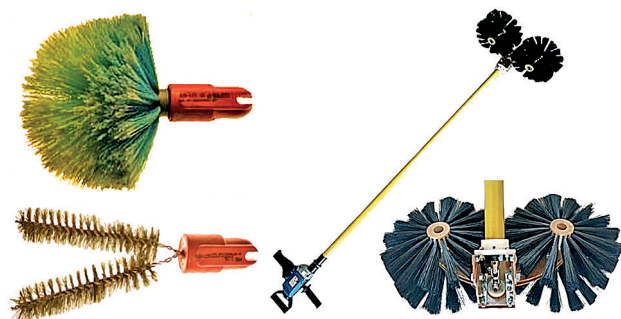


Рис. 2. Примеры диэлектрических штанг и насадок для удаления пыли в электроустановках под напряжением

Одним из самых простых и достаточно распространенных методов очистки электрооборудования является продувка труднодоступных участков потоком сжатого воздуха (углекислого газа, азота и другого) под высоким давлением. Данный вариант очистки рекомендуется выполнять на открытом пространстве или в хорошо проветриваемых помещениях с использованием индивидуальных средств защиты глаз и дыхательных путей. При всей эффективности данный метод также имеет ряд существенных недостатков:

- устраняются только поверхностные загрязнения, тогда как скрытые в глубине и более плотные отложения пыли остаются нетронутыми;
- в процессе очистки взвешенные частицы пыли могут оседать на соседнем оборудовании;
- существует высокий риск повреждения слабо закрепленных элементов под воздействием сильного воздушного потока;
- существует вероятность образования электростатических разрядов при контакте струи воздуха с поверхностями, что может привести к поломке электронных компонентов или воспламенению пылевой взвеси.

В качестве альтернативы вышеприведенному способу может использоваться метод механической очистки электрооборудования с помощью сухого льда (гранулы углекислого газа в твердом состоянии) [5]. Данный вариант относится к неабразивным методам очистки различных загрязнений за счет сочетания кинетического и термического воздействия на поверхность гранул CO_2 размером до 3 мм с температурой -79°C , которые разгоняются за счет сжатого воздуха до скорости 150 м/с (540 км/ч) с помощью специального пистолета с насадкой (криогенный бластер). Попадая на очищаемую поверхность под высоким давлением, гранулы замораживают загрязнения, вызывая их растрескивание. После этого, проникая в образовавшиеся трещины, частицы углекислоты практически мгновенно сублимируют (переходят из твердого состояния в газообразное), вызы-

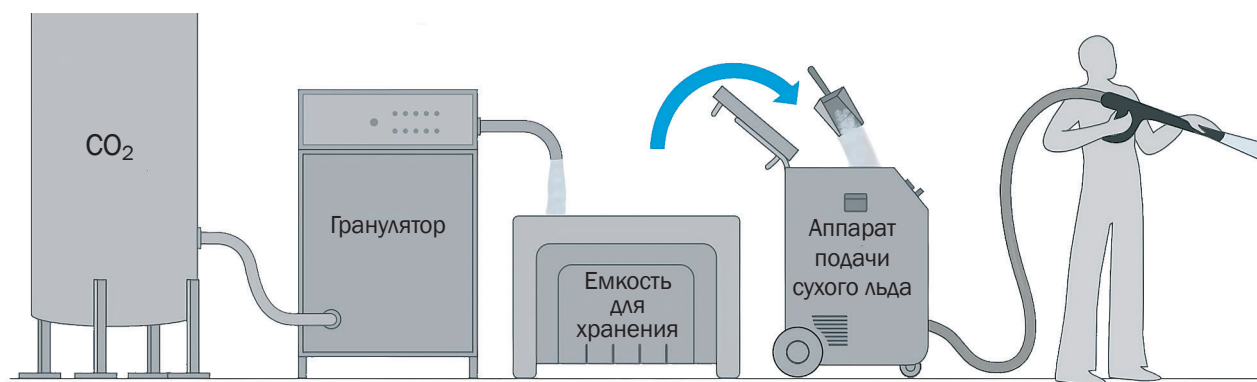


Рис. 3. Пример устройства системы очистки электрооборудования с помощью сухого льда

вая микровзрывы и разрушение загрязнений, которые в результате отделяются от очищаемой поверхности. Так как сухой лед имеет твердость 1,5–2 по шкале Мооса (для обычного кварцевого песка по данной шкале твердость составляет 7), поэтому считается очень щадящим средством, способным очищать большинство поверхностей, не повреждая их, и при этом достаточно эффективным, чтобы удалять многолетние отложения с поверхности электроустановок. Кроме этого, гранулы сухого льда обладают хорошими диэлектрическими свойствами, что в теории позволяет использовать данный метод очистки без предварительного обесточивания электрооборудования.

На практике очистка электрооборудования под напряжением с помощью сухого льда не рекомендуется из-за повышенного риска короткого замыкания или поражения персонала электрическим током по причине возможного образования конденсата и случайного контакта человека или рабочего оборудования с токоведущими частями электроустановки.

Единственным недостатком данного метода является необходимость применения специального оборудования, в состав которого входит баллон с CO_2 , гранулятор сухого льда, емкость для его хранения и транспортировки, а также оборудование для измельчения и подачи гранул на очищаемую поверхность (рис. 3). Сам процесс состоит из нескольких этапов. Сначала сжиженный углекислый газ под высоким давлением подается в гранулятор, где в процессе перепада давления CO_2 превращается в сухой лед. Далее гидравлический пресс уплотняет ледяную массу, которая затем продавливается через экструдер, формируя палочки спрессованного сухого льда, загружаемые в специальный транспортировочный контейнер. В месте выполнения работ по очистке оборудования палочки спрессованного льда загружаются в аппарат подачи готовой смеси.

Более эффективным, но менее бюджетным является метод очистки электрооборудования диэлектрическими химическими составами⁴. Среди наиболее эффективных веществ для проведения химической очистки электро-

оборудования можно выделить: фторированные растворители («сухая вода», ФК-5-1-12, ПФК-49 или Novex 1230; Novex 7300, 7100 и 649⁵ и другие); гидрофторэфиры (HFE-7100 и 7200); перфторуглероды (PFC-5060 и 5070); изопропиловый спирт (IPA); минеральные и синтетические масла. За исключением изопропилового спирта и масел, перечисленные выше вещества можно применять для очистки оборудования под напряжением, так как они имеют высокую диэлектрическую прочность (30–40 кВ/мм) и являются негорючими⁶ [6]. За счет различного химического состава и отдельных свойств данные вещества используются для очистки различных типов установок (табл.).

Фторкетоны, применяемые в качестве иммерсионных жидкостей в системах охлаждения серверов, майнинговых ферм и другого оборудования, позволяют исключить накопление пыли и других загрязнений на рабочих поверхностях электроустановок за счет их полного погружения в жидкость. Такое техническое решение позволяет обеспечить длительную работу оборудования без необходимости проведения его регулярной очистки.

В патенте RU 2685212 C1⁷ предлагается многоэтапный метод очистки с использованием жидких диэлектрических очистителей. Основные этапы включают в себя:

- нанесение очистителя с помощью направленной струей диэлектрической жидкости ($0,1 \text{ л/м}^2$) для размягчения загрязнений;
- выдержку вещества на обрабатываемой поверхности (до 15 мин) для ослабления адсорбционной связи загрязнений с поверхностью;

⁵ Фторкетоны могут использоваться в качестве эффективных очистителей электрооборудования за счет хороших диэлектрических и экологических свойств, а также за счет быстрого испарения (температура кипения 34–61 °C), но при этом активно используются в качестве огнетушащих веществ в системах пожаротушения [7] и иммерсионных жидкостей в системах охлаждения электроустановок [8].

⁶ Официальный сайт компании «ТЭКМАНН» — промышленные моющие машины, ультразвуковые ванны, технические моющие средства. URL: <https://techmann.ru/> (дата обращения: 20.01.2025).

⁷ Патент RU 2685212 C1. Способ очистки электрооборудования / Квасников И.Н., Ежунов Е.М.; опубл. 16.04.2019. Бюл. № 11.

⁴ Современные способы очистки электрооборудования под напряжением. Диэлектрический очиститель для электроники и иммерсионные жидкости. URL: ovremennye_sposoby_ochistki_elektroobor/ (дата обращения: 15.01.2025).

Преимущественные области применения веществ для химической очистки электрооборудования

Вещество	Преимущественные области применения вещества	Степень пожарной опасности
Фторированные растворители (Novec 7300, 7100, 1230, 649)	Очистка распределительных устройств, электрических щитов, аппаратов и приборов, серверов, печатных плат и их компонентов с высокой плотностью монтажа	Негорючее вещество (низкая опасность)
Гидрофторэфиры (HFE-7100, HFE-7200)	Очистка электроники, телекоммуникационного оборудования, медицинских устройств	
Перфторуглероды (PFC-5060, PFC-5070)	Очистка оборудования в аэрокосмической и военной промышленности, где требуется высокая химическая стабильность веществ	
Изопропиловый спирт (IPA)	Очистка печатных плат, контактов, удаление флюсов и загрязнений в электронике	Легковоспламеняющаяся жидкость (высокая опасность)
Минеральные и синтетические масла	Очистка крупного промышленного оборудования, трансформаторов, механических компонентов	Горючие жидкости (средняя опасность)

- смыв загрязнений струей промывочной жидкости (до 2,0 л/м²) под давлением до 15 МПа с использованием влагопоглощающего материала;
- сушку обработанной поверхности путем обдува воздухом для удаления остатков жидкости.

Для выполнения указанной многоэтапной процедуры очистки используются изопарафины, фторированные углеводороды и поверхностно активные вещества (ПАВ). Различный состав очистителей позволяет выполнять очистку по трем различным вариантам в зависимости от степени загрязнения поверхности. Для легких загрязнений используется комбинация изопарафинов, бензола и ПАВ, для средних загрязнений — изопарафины, алкильные производные бензола и ПАВ, а для стойких отложений — изопарафины, 2-(2-бутоксипропилокси)этилацетат (C₁₀H₂₀O₄) и ПАВ. Кроме этого, данный метод обеспечивает антистатический эффект, предотвращая повторное загрязнение поверхности электрооборудования.

В реферате на патент⁷ отмечается, что представленный метод позволяет выполнять очистку электрооборудования без его отключения (при температуре поверхности

≤ 80 °С), что критично для непрерывных производств. При этом следует учитывать, что бензол и его алкильные производные относятся к пожаровзрывоопасным веществам и способны создавать с воздухом взрывоопасные смеси.

Анализ различных методов и способов очистки показывает, что выбор и применение тех или иных веществ и материалов для проведения очистки электроустановок от пыли и других загрязнений во многом зависит от типа оборудования, его размеров, места расположения и возможности обесточивания. В каждом конкретном случае следует выбирать наиболее безопасные и эффективные способы очистки с учетом рекомендаций, представленных в паспортах и инструкциях по эксплуатации электрооборудования.

Рассмотренные в статье варианты очистки, в том числе их комбинации, позволяют выполнять качественное техническое обслуживание электроустановок и другого технологического оборудования, предотвращая нежелательное накопление пыли и снижая риски возникновения пожаров с ее участием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Харламенков А.С. Пожарная опасность накопления пыли в электроустановках. Часть 1. Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 4. С. 108–112. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.04.108-112

2. Кривоносов В.Е., Василенко С.В. Влияние запыленной среды на срок службы обмоток статора асинхронных двигателей // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2015. № 6. С. 35–40. EDN VJJZCX.

3. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. М. : ООО «КАБЕЛЬ», 2009. 328 с.

4. Разогреев О.Е., Сошинов А.Г., Шаймухаметов А.Р. Как чистить и обслуживать электроустановки под напряжением: обзор оборудования и рекомендации по его применению от производителя // Промышленная безопасность. Разъяснения. Вопросы и ответы. 2023. № 5 (20). С. 70–81.

5. Kay John A., Green G. Dry ice cleaning of electrical equipment: revitalize electrical assets with precision cleaning // IEEE Industry Applications Magazine. 2024. Vol. 30 (5). Pp. 14–23. DOI: 10.1109/MIAS.2024.3393433

6. Wu X., Huang J., Zhuang Y., Ying Liu, Jialiang Yang, Hongsheng Ouyang et al. Prediction models of saturated vapor pressure, saturated density, surface tension, viscosity and thermal conductivity of electronic fluoride liquids

in two-phase liquid immersion cooling systems : a comprehensive review // Applied Sciences. 2023. Vol. 13 (7). 32 p. DOI: 10.3390/app13074200

7. Игаева А.Ю., Евдошенко В.В., Сычев М.А. Использование «сухой воды» в автоматических установках газового пожаротушения // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : мат. Нац. науч.-практ. конф. Астрахань, 2018. Т. 1. С. 63–65. EDN NUEYKD.

8. Кондурцова Т.М. Двухфазная система жидкостного охлаждения серверов // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий : мат. III Межрег. науч.-практ. конф. Севастополь, 2017. С. 146–149. EDN ХОВРРР.

Материал поступил в редакцию 15.02.2025

Received February 15, 2025

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, заместитель начальника кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Deputy Head of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RSCI: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru