

УДК 621.3.019.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Владимир Владимирович Хатунцев**

кандидат технических наук, доцент

vladimir\_khat@mail.ru

**Максим Андреевич Бабошин**

студент

maksbaboshin2@gmail.com

**Алла Борисовна Лыкова**

студент

lukovaalla3@gmail.com

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Современная отечественная и зарубежная практика показывает, что при эксплуатации электронного оборудования важную роль в снижении рисков отказа выступает климатические факторы. Тремя основными факторами риска принять выделять: пыль, влагу и температурные скачки. Вызывая коррозию контактов, ухудшая проводимость электрического тока и приводя к отказу оборудования в целом, разработке и применения комплексной системы защиты должно уделяться внушительное внимание и инвестиции.

**Ключевые слова:** электроника, оборудование, угроза, отказ, пыль, влага, температура, климатические факторы, техническая система, ремонт, производительность.

Современный мир буквально переполнен различного рода электронными устройствами. Они встречаются повсеместно, от бытовых до промышленных отраслей и выполняют важную функцию – обеспечение правильной работы электроники и, соответственно, всей отрасли в целом. Тем не менее разнообразное воздействие климатических факторов может приводить к выходу из строя оборудования. Помимо этого, снижается их надежность, увеличивается износ оборудования, что несомненно рано или поздно приводит к отказам. Порой починка электроники обходится в значительные финансовые затраты, а время ремонта и замену на новое дополняют графу расходов предприятия.

Основными источниками угроз для электронных технических систем являются:

1. Пыль.
2. Влага.
3. Температура.

Важно отметить, что перечисленные факторы являются далеко не единственными причинами отказов электроники. В зависимости от ряда других факторов, условий эксплуатации, своевременного ремонта и обслуживания могут возникать и другие угрозы. Мы остановимся на основных угрозах, влияющих на электронное оборудование [1, 4].

Серьезной угрозой для работы электронных технических систем в условиях промышленности или городской инфраструктуры является пыль. Она может оседать на открытых частях деталей, проникать внутрь корпуса оборудования, попадать в защитные шкафы и вызывать проблемы в работе. Накрадываясь слой за слоем, а затем электризуясь на поверхностях оборудования, она образует плотный слой теплоизоляции, тем самым вызывая перегрев оборудования, что напрямую ведет к ускоренному выводу из строя техники.

В некоторых случаях накопление пыли в вентиляционных каналах усугубляет ситуацию с отводом тепла, так эффективность охлаждения падает.

Кроме того, частицы пыли могут проводить электрический ток вызывая короткое замыкание.

Проведенные исследования в научном журнале «IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology» показали, что скопления пыли на электронных частях оборудования понижают эффективность работы на 1 / 5 часть от изначальной мощности уже за 1 год работы оборудования. Плюс ко всему, в местах повышенной запыленности, при несвоевременном обслуживании отказ электроники наступает в 2 раза чаще. Стоит выделить выводы исследования, которые показывают, что классические защитные покрытия и методы аспирации и вентиляции не всегда обеспечивают полную защиту от пылевых загрязнений, особенно в промышленных отраслях [1, 5].

Эффективным решением данной проблемы могут выступить термоэлектрические кондиционеры. С их помощью можно добиться комплексного изолирования электрической составляющей от факторов внешней среды. При этом решаются сразу два вопроса: защита от пыли и влаги. Отличительной особенностью термоэлектрических кондиционеров является отсутствие отверстий для забора воздуха, что дает преимущество в обслуживании системы. Ведь если нет отверстий для забора воздуха, значит в фильтрах такое оборудование не нуждается, а соответственно количество пыли, собираемого внутри корпуса кондиционера будет значительно ниже.

Особенно актуально стоит вопрос в использовании герметичных систем охлаждения в отраслях нефтегазовой промышленности, городской инфраструктуры или в климатически жарких поясах. Герметичные системы охлаждения позволят снизить риск отказов электронного технического оборудования вплоть до 90%, при этом значительно увеличив срок службы техники до 2 раз. Описанные герметичные системы охлаждения и их преимущества действительно только при сравнении с традиционными способами охлаждения [4, 7].

Подытоживая вышесказанное, применение герметичных шкафов с системой охлаждения одновременно с использованием термоэлектрических

кондиционеров дает возможность не только в сокращении затрат на ремонт и плановое обслуживание оборудования, но и заметно увеличивает срок эксплуатации, что расширяет применение электроники в запыленных, агрессивных и жарких условиях.

Второй немаловажной проблемой для электрических систем является защита от влаги. Она оказывает коррозирующее воздействие на металлические детали и соединения. Когда относительная влажность воздуха начинает превышать показатель в 60% происходит конденсация влаги на поверхности электроники, вызывая физические и химические процессы окисления и коррозии. Эффект усиливается при наличии хлоридов. Обращаясь к журналу «IEEE», можно увидеть, что четверть отказов электрического оборудования приходится на попадание влаги на электронику или ее конденсация на ней [2, 6].

Коррозирующие процессы, возникающие в электрических системах, могут наносить серьезный вред работоспособности и долговечности оборудования. Во-первых, за счет образования коррозии на контактах соединений увеличивается их сопротивление, что приводит к ухудшению проводимости электрического тока и может привести к короткому замыканию.

Важно понимать, что высокая влажность приводит к конденсации влаги на изоляционных материалах электроники, понижая их свойства, тем самым повышая риск повреждения и электрического пробоя в соединении. Анализируя статистические данные журнала «IEEE» видно, что физико-химические процессы окисления контактов из-за попадания влаги в электронику фиксируют внушительную долю отказов электронных устройств [2, 8].

Третьим основным фактором отказа электронного технического оборудования являются температурные колебания и их влияние на производительность. При работе электронного оборудования в уличной сети, размещенной в специальных шкафах или, например, в промышленных условиях нередко случаи нагрева от внешних тепловых источников, что

напрямую влияет на термическое расширение или наоборот сжатие отдельных структур.

Создание напряжений на границах соединений обуславливается использованием различного рода материалов, которые имеют свои показатели теплового расширения. Примером важности соблюдения таких показателей выступают сложные интегральные системы или микропроцессоры, в которых любая, даже микроскопическая деформация, приводит к выходу из строя целого устройства [3, 4, 7].

Кроме того, повышение температуры электроники может быть вызвано не только внешними источниками, но и в процессе работы устройства. Так, например, большие количества тепла выделяют следующие приборы:

1. Блоки питания.
2. Процессоры серверов.
3. Видеорегистраторы.
4. Телекоммуникационное оборудование.

При недостаточном охлаждении таких устройств рост температуры происходит стремительно, приводя к поломке.

Обращаясь к статистическим данным, приблизительно 40% поломок электроники возникают вследствие температурных перепадов. Так, перепад температур приводит к ряду проблем в электрической составляющей приборов:

1. Нарушение целостности изоляции и её свойств.
2. Снижают электрические свойства металлов.
3. Нарушают сопротивление цепи.

Не стоит забывать, что температурные колебания могут вызывать окисление контактов за счет образования конденсата. Важно учитывать, что «абсолютная и относительная влажность взаимосвязаны и являются функциями температуры и давления». Учитывая этот факт необходимо комплексно подходить к рассмотрению системы защиты и включать не только правильное охлаждение, но и защищённость от конденсата [3].

Подходя к рассмотрению экономической части, в которую входит ремонт, подбор и оплата специалистов, временный простой, транспортные затраты, необходимо понимать суть самой проблемы. Проведенное исследование компанией IDC в 2021 году показали, что оборудование, вышедшее из строя по причине температурных перепадов, влаги и пыли составили до трети стоимости всей инфраструктуры в целом.

Так, например, проникновение влаги в корпус оборудования может происходить двумя путями: капиллярным и диффузионным. Капиллярное проникновение влаги происходит при наличии в корпусе трещин, пор и других дефектов. Особенно это касается оборудования, расположенного на открытой части. Диффузионное проникновение влаги обуславливается промежутками между молекулами в материале корпуса, в которые проникает влага [4, 8].

На рисунке 1, 2 представлены затраты на замену/ремонт электрического оборудования в различных отраслях [2-3, 5-6].



Рисунок 1 - Затраты на замену/ремонт электрического оборудования в системе безопасности.



Рисунок 2 - Затраты на замену/ремонт электрического оборудования в промышленной системе.

Своевременное обслуживание и использование термоэлектрических кондиционеров, герметичных корпусов, уплотнений и осушений, в общей картине расходов обходится в несколько раз дешевле, чем замена или починка, вышедшего из строя электрического оборудования. Именно этот принцип подчеркивает важность инвестиций и превентивных мер защиты в электронные технические сети.

### Список литературы:

1. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies.
2. Морозов А. Е., Хатунцев В. В. Контроль надежности сложных систем при серийном производстве // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск-научоград, 26–28 октября 2022 года / Под общей редакцией И.П. Криволапова. Мичуринск-научоград: Мичуринский государственный аграрный университет. 2022. С. 154-157. EDN WMTWDY.
3. Сотсков Г. И., Хатунцев В. В. Определение надёжности технических систем при их эксплуатации // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск-научоград, 26–28 октября 2022 года /

Под общей редакцией И.П. Криволапова. Мичуринск-наукоград: Мичуринский государственный аграрный университет. 2022. С. 215-217. EDN JKPQOA.

4. Петров А. В., Иванов С. Н., Сидоров М. А. Влияние климатических факторов на электронные компоненты // Электроника и информационные технологии. 2023. № 4. С. 25-38.

5. Климатическая устойчивость электронных систем: монография / под ред. В. П. Соколова. Москва: Инфра-М. 2023. 285 с.

6. Михайлов В. А., Новикова Е. С. Методы защиты электронных устройств от климатических воздействий: учеб. пособие /. Санкт-Петербург: Лань. 2023. 198 с.

7. Надежность электронных систем в условиях климатических нагрузок / М. И. Андреев и др. // Надежность и контроль качества. 2023. № 2. С. 34-41.

8. Соколова Е. А., Михайлов В. Н. Влияние влажности на параметры электронных компонентов / // Радиоэлектроника и информатика. 2023. № 5. С. 56-63.

**UDC 621.3.019.3**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE  
RELIABILITY OF ELECTRONIC COMPONENTS OF TECHNICAL  
SYSTEMS**

**Maxim An. Baboshin**

student

maksbaboshin2@gmail.com

**Alla B. Lykova**

student

lukovaalla3@gmail.com

**Vladimir V. Khatuntsev**

candidate of technical sciences, associate professor

vladimir\_khat@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** Modern domestic and foreign practice shows that climatic factors play an important role in reducing the risk of failure when operating electronic equipment. The three main risk factors are to emit: dust, moisture, and temperature spikes. By corroding contacts, impairing the conductivity of electric current, and leading to equipment failure in general, considerable attention and investment should be paid to the development and application of an integrated protection system.

**Keywords:** electronics, equipment, threat, failure, dust, moisture, temperature, climatic factors, technical system, repair, productivity.

Статья поступила в редакцию 01.11.2025; одобрена после рецензирования 20.12.2025; принята к публикации 29.12.2025.

The article was submitted 01.11.2025; approved after reviewing 20.12.2025; accepted for publication 29.12.2025.