Кроме того, шахтные выработки рассчитаны на статические нагрузки, тогда как CAES-система предполагает циклические изменения давления (ежедневные зарядки и разрядки). Это может привести к усталостным разрушениям породы, обрушению кровли и провалам на поверхности. Поэтому для CAES-систем необходимо создавать новые каверны методом выщелачивания, а не использовать старые шахты.

Реализация CAES-проекта в Солигорском районе позволила бы:

– сглаживать суточные пики и провалы в электропотреблении;

– повысить надежность работы энергосистемы;

– более эффективно использовать существующие генерирующие мощности.

Мировой опыт, включая успешно работающие станции в Германии (Хунторф, с 1978 г.), США (Макинтош, с 1991 г.) и современные китайские проекты мощностью до 300 МВт [2], подтверждает техническую осуществимость и экономическую целесообразность CAES-технологий при наличии подходящих геологических условий.

Таким образом, технология CAES является перспективным способом накопления электроэнергии, а Солигорское месторождение обладает необходимыми геологическими условиями для ее реализации в Беларуси. Несмотря на то, что существующие шахты не пригодны для хранения сжатого воздуха, метод скважинного выщелачивания позволяет создавать новые герметичные каверны в соляных пластах [1].

Основные выводы:

– CAES-системы используются в качестве накопителей энергии для выравнивания графиков электрической нагрузки энергосистем, опыт их применения накоплен в Германии, США, КНР;

– Солигорское месторождение обладает необходимыми геологическими условиями для реализации CAES-накопителей в Беларуси, при этом должны создаваться новые герметичные каверны в соляных пластах методом скважинного выщелачивания;

– для реализации проекта создания CAES-накопителей в Беларуси необходимы дополнительные исследования и детальная технико-экономическая оценка такого проекта.

Литература

1. Сжатый воздух и соляные шахты – новое слово в энергетике Китая // Ecosphere.press. – 2025. – URL: https://ecosphere.press/2025/01/15/szhatyj-vozduh-i-solyanye-shahty-novoe-slovo-v-energetike-kitaya/.
2. Китай запускает крупнейший в мире завод по хранению энергии на сжатом воздухе // Habr.com. – 2022. – URL: https://habr.com/ru/companies/first/articles/692740/.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

П. А. Ходыко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: Т. В. Алферова, С. Г. Жуковец

Рассмотрено применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для диагностики объектов электроэнергетики в условиях цифровизации энергетической отрасли Республики Беларусь. Показано, что традиционные методы контроля (наземные осмотры, пилотируемая авиация) являются ресурсоемкими и связаны с рисками для персонала. Описаны основные направления использования БПЛА: инспекция линий электропередачи (провода, изо-

ляторы, опоры), мониторинг растительности в охранных зонах, диагностика электрических подстанций с применением тепловизионной диагностики, контроль объектов возобновляемой энергетики (солнечные электростанции, ветрогенераторы), а также выполнение геодезических и картографических работ. Выделены преимущества применения БПЛА: экономическая эффективность, повышение безопасности персонала, оперативность мониторинга и высокая точность диагностики. Сделан вывод, что использование БПЛА повышает эффективность диагностики, снижает затраты на обслуживание и обеспечивает надежность функционирования энергетической инфраструктуры.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, диагностика объектов электроэнергетики, линии электропередачи, тепловизионная диагностика, мониторинг подстанций, безопасность персонала, эффективность мониторинга.

В последние годы энергетическая отрасль Республики Беларусь активно развивается под влиянием цифровизации, автоматизации и внедрения современных технологий мониторинга [1]. Увеличение протяженности линий электропередачи, рост числа подстанций, распределительных устройств и других объектов энергетической инфраструктуры требует повышения надежности и безопасности их эксплуатации. Сбои в работе энергетических систем могут приводить к серьезным экономическим и социальным последствиям, что обусловливает необходимость регулярного контроля состояния оборудования.

Значительная часть энергетических объектов расположена в труднодоступных районах, что существенно усложняет их обследование. Традиционные методы контроля, такие как наземные осмотры и использование пилотируемой авиации, являются ресурсоемкими, требуют значительных затрат времени и финансов, а также связаны с рисками для персонала [5]. В этих условиях применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становится эффективным инструментом, позволяющим повысить качество мониторинга и диагностики энергетической инфраструктуры.

Беспилотные летательные аппараты представляют собой перспективное средство контроля состояния энергетических объектов. Современные беспилотные системы оснащаются камерами высокого разрешения, тепловизионными и мультиспектральными датчиками, а также лазерными сканерами. Это позволяет получать детализированные изображения и точные данные о состоянии оборудования и окружающей среды. Использование беспилотных аппаратов значительно сокращает время проведения инспекций, снижает затраты и повышает безопасность выполнения работ.

Одним из основных направлений применения БПЛА является инспекция линий электропередачи. Эти объекты имеют значительную протяженность и проходят через различные природные зоны, что делает их регулярное обследование сложной задачей. С помощью беспилотных аппаратов осуществляется детальный контроль состояния проводов и изоляторов. Высокоточные камеры позволяют выявлять трещины, коррозию, механические повреждения и следы износа [3, 7].

Особое внимание уделяется состоянию изоляторов, поскольку их повреждение может привести к коротким замыканиям и нарушению работы энергосистемы [7].

Кроме того, БПЛА применяются для контроля состояния опор линий электропередачи. Опоры являются важнейшими конструктивными элементами, и их повреждение может привести к серьезным авариям. С помощью беспилотников можно выявлять трещины, деформации и другие повреждения, а также оценивать состояние креплений и соединений. Это позволяет своевременно выявлять потенциально опасные участки и принимать меры по их устранению.

Дополнительным направлением является мониторинг растительности в охранных зонах линий электропередачи. Разрастание деревьев и кустарников вблизи проводов создает риск коротких замыканий и повреждения линий. Использование БПЛА позволяет оперативно выявлять участки, где растительность приближается к проводам на опасное расстояние, что обеспечивает своевременное проведение работ по расчистке.

Важную роль играет применение БПЛА при диагностике электрических подстанций. Подстанции являются ключевыми элементами энергетической системы, обеспечивающими преобразование и распределение электроэнергии. Беспилотные аппараты позволяют проводить регулярный осмотр трансформаторов, распределительных устройств и коммутационной аппаратуры. В процессе обследования выявляются механические повреждения, коррозия, деформации и дефекты изоляции, которые могут привести к отказам оборудования [4].

Особое значение имеет тепловизионная диагностика. Тепловизионные камеры позволяют фиксировать распределение температуры на поверхности оборудования и выявлять участки с аномальным нагревом. Повышенная температура может свидетельствовать о перегрузках, ухудшении контактов или повреждении изоляции. С помощью тепловизионных систем можно выявлять неисправные электрические соединения и перегрев отдельных элементов, что позволяет предотвращать аварийные ситуации и продлевать срок службы оборудования [4].

Беспилотные летательные аппараты также широко применяются для контроля объектов возобновляемой энергетики. При обследовании солнечных электростанций выявляются загрязнения и повреждения панелей, которые могут снижать их эффективность.

Даже незначительные дефекты оказывают влияние на производительность, поэтому регулярный контроль имеет важное значение. В ветроэнергетике беспилотные аппараты используются для диагностики лопастей ветрогенераторов, позволяя обнаруживать трещины, деформации и другие повреждения без проведения опасных высотных работ. Также осуществляется контроль состояния башен и других конструктивных элементов.

Дополнительным направлением применения БПЛА является выполнение геодезических и картографических работ. С их помощью проводится аэрофотосъемка территории, создаются топографические карты и трехмерные модели местности. Эти данные используются при проектировании новых энергетических объектов, выборе оптимальных маршрутов линий электропередачи и анализе условий размещения инфраструктуры.

Использование беспилотных технологий значительно ускоряет процесс сбора информации и повышает точность получаемых данных.

Применение БПЛА в энергетической отрасли обладает рядом существенных преимуществ. Прежде всего, это экономическая эффективность, поскольку снижаются затраты на проведение инспекций и уменьшается потребность в использовании дорогостоящей техники, включая вертолеты. Один беспилотный аппарат способен выполнять задачи, которые ранее требовали привлечения нескольких специалистов [2].

Также значительно повышается безопасность персонала, так как исключается необходимость выполнения работ в опасных условиях, включая высотные и труднодоступные участки. Это снижает риск травматизма и повышает общую эффективность организации работ.

Кроме того, обеспечивается высокая оперативность мониторинга. Беспилотные летательные аппараты позволяют быстро обследовать протяженные участки линий электропередачи и другие объекты инфраструктуры, что особенно важно для удаленных районов. Полученные данные позволяют оперативно реагировать на выявленные дефекты и планировать профилактические работы.

Высокая точность диагностики является еще одним важным преимуществом. Современные датчики позволяют выявлять даже незначительные повреждения, которые невозможно обнаружить при традиционных методах осмотра. Это обеспечивает возможность раннего выявления дефектов и предотвращения аварий.

Таким образом, использование БПЛА является важным направлением развития энергетической отрасли. Их применение позволяет повысить эффективность диагностики, снизить затраты на обслуживание, обеспечить безопасность персонала и повысить надежность функционирования энергетической инфраструктуры.

Литература

1. Министерство энергетики Республики Беларусь. Официальный сайт. – URL: https://minenergo.gov.by (дата обращения: 10.03.2026).
2. Министерство энергетики Российской Федерации. Официальный сайт. – URL: https://minenergo.gov.ru (дата обращения: 10.03.2026).
3. Россети. Применение беспилотных летательных аппаратов для диагностики линий электропередачи. – URL: https://www.rosseti.ru (дата обращения: 10.03.2026).
4. Белэнерго. Цифровизация энергетики и применение современных технологий диагностики. – URL: https://www.belenergo.by (дата обращения: 10.03.2026).
5. Кузнецов, С. В. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга энергетической инфраструктуры / С. В. Кузнецов, А. Н. Григорьев // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2022. – № 5. – С. 420–430.
6. Сытник, В. И. Беспилотные летательные аппараты в геодезии и картографии / В. И. Сытник. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.
7. Шабалин, А. С. Применение беспилотных технологий для диагностики линий электропередачи / А. С. Шабалин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № 3. – С. 45–52.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕДИАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИГНАЛАХ

В. А. Марков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. А. Капанский

Исследуется эффективность применения медианной фильтрации для очистки телеметрических сигналов от помех, полученных с повысительной насосной станции г. Гомеля. Проводится сравнительный анализ работы фильтра с различными размерами окна, оценивая качество подавления шумов. Полученные результаты обосновывают необходимость баланса между чистыми данными и сохранением информативности сигнала в системах мониторинга городской инфраструктуры.

Ключевые слова: медианная фильтрация, телеметрический сигнал, импульсные помехи, фильтрация данных, размер окна фильтра.

В современном мире чистые данные без шумов играют ключевую роль в обеспечении безопасности жизнедеятельности человечества. С развитием социальной инфраструктуры количество получаемых данных не только увеличивается, но и ус-