

## МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ ВЛЭП ПУТЁМ УСТРАНЕНИЯ ГОЛОЛЁДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Мустяцэ Александр Викторович, [alexandr.mustyace5999@mail.ru](mailto:alexandr.mustyace5999@mail.ru)  
Серохвостов Андрей Андреевич, [fusion2019@bk.ru](mailto:fusion2019@bk.ru)  
Мякушко Регина Вадимовна, [regina.myakushko@yandex.ru](mailto:regina.myakushko@yandex.ru)  
Овчелупова Анжелина Васильевна, [satali-03@mail.ru](mailto:satali-03@mail.ru)  
Попов Андрей Николаевич, [PopovAN@altgtu.ru](mailto:PopovAN@altgtu.ru)

### Аннотация:

В статье рассматриваются основные методы снижения аварийности воздушных линий электропередачи (ВЛЭП), которые являются одним из ключевых компонентом электроэнергетической системы современного мира. Подробно описываются методы снижения аварийности воздушных линий электропередач, с выявлением их преимуществ и недостатков. Гололёдно-изморозевые отложения (ГИО) на ВЛЭП являются одной из основных причин аварий и недоотпуска электроэнергии потребителям, поэтому им уделяется особое внимание. ГИО оказывает огромное влияние на надёжность ВЛЭП, так как увеличивает массу проводов в пролётах, что может привести к их обрыву или даже разрушению опор. Устранением гололёдных образований на проводах ВЛЭП можно добиться снижения частоты отключений, тем самым повысив надёжность электроснабжения и снизить недоотпуск электроэнергии.

**Ключевые слова:** надёжность электроснабжения, линии электропередачи, гололёдно-изморозевые отложения, гололёдные образования, ветровые нагрузки.

Инновационная система устранения гололёдообразования на проводах предложена в рамках участия в отборочном этапе международного инженерного чемпионата «CASE-IN» (рисунок 1), проводимого в АлтГТУ им. И. И. Ползунова [1].



Рисунок 1 - Отборочный этап «CASE-IN» «Электроэнергетика»

Инновационная система борьбы с ГИО выступает в роли передовой идеи снижения аварийности в распределительных сетях в рамках концепции «Бережливое производство».

В распределительных сетях напряжением 35 кВ и выше самым повреждаемым элементом являются воздушные линии электропередач. По данным аналитического отчета о состоянии аварийности в ПАО «Россети» в среднем по России технологические нарушения на ВЛЭП составляют до 55% от общего числа технологических нарушений. Распределение технологических нарушений по виду оборудования представлено на рисунке 2.

Был проведён анализ распределения причин, влияющих на аварийность ВЛ напряжением 35 кВ и выше, в результате которого было выявлено, что основными причинами технологических нарушений на ЛЭП являются несвоевременное устранение дефектов и погодные условия. На основании этого было доказано, что наиболее эффективным малозатратным мероприятием по снижению уровня технологических нарушений является снижение влияния погодных условий на воздушные линии электропередач в рамках концепции «Бережливое производство».

Концепция бережливого производства уже находит свою реализацию в ПАО «Россети». Примером этого может служить система «5S», которая подразумевает правильную организацию рабочего места, а также распределение время и трудозатрат, и уже внедренная как на уровне отдельных рабочих мест, так и в более крупных масштабах.

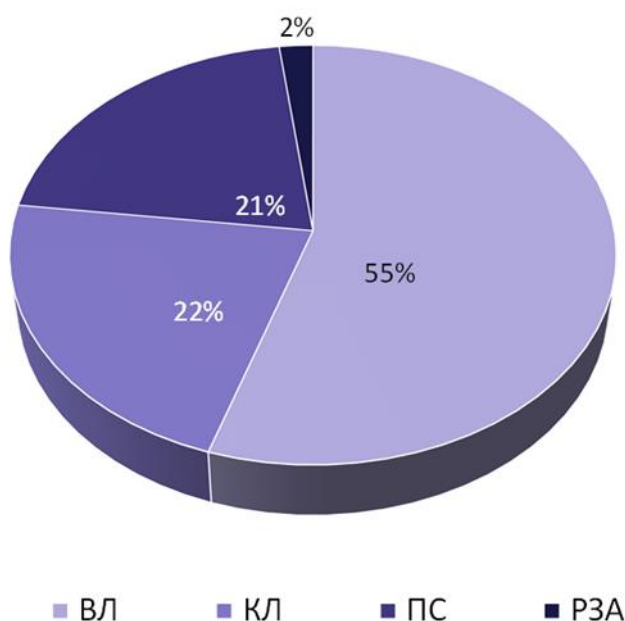


Рисунок 2 – Распределение технологических нарушений по виду оборудования

Для выявления оптимальных методов устранения проблемной ситуации с высокой аварийностью ВЛЭП был проведён анализ районов России по ветровому давлению и толщине стенки гололёда (рисунок 3). Данный анализ показал, что

наиболее сложная обстановка с гололедообразованием характерна в основном для малонаселённых территорий заполярья, но также в ряде мест Сибири, на Дальнем Востоке и на Урале, где ветровое давление достигает 650 Па, а толщина слоя льда – до 30 мм. Из этих трёх районов наиболее проблемным по уровню аварийности ВЛЭП является район, прилегающий к городу Красноуфимск Свердловской области, где действует филиал ПАО «Россети-Урал» – «Свердловэнерго».



Рисунок 3 – Распределение районов России по ветровому давлению и гололёдообразованию

Снижение влияния ветровых нагрузок на ВЛЭП может быть достигнуто увеличением расстояний между проводами, либо установкой демпферов и виброгасителей. Применение защитных колец помогло бы избавиться от налипания мокрого снега на провода ВЛ. Усиление конструкции ВЛЭП подразумевает установку дополнительных опор или применение высокопрочных проводов. Также, устранение гололёдных образований достигается путём механического удаления льда или его плавки.

Методы по ликвидации влияния ветра с помощью применения защитных колец обладает низкой эффективностью и долговечностью.

Усиление конструкции ВЛЭП потребовало бы огромных капитальных затрат, но не принесло бы значительного эффекта. Таким образом, было принято решение добиваться снижения аварийности ВЛЭП путём устранения гололёдных образований. На рисунке 4 приведены преимущества и недостатки каждого из методов.

Механическое удаление ГИО отличается простотой и гарантированным результатом, однако потребовало бы большого количества времени на выявления места и ликвидации обледенений. Применение компактированных проводов стало бы хорошим решением, однако они обладают меньшим сечением по сравнению с традиционными, что повышает вероятность обрыва обледенелого

провода. Также данные провода обладают облегчённой конструкцией, из-за чего они бы стали больше подвержены ветровым нагрузкам. Таким образом, снижая показатель аварийности из-за ГИО, повышался бы показатель влияния ветровых нагрузок, что было бы нерационально.

Метод снижения аварийности	Простота	Дешевизна	Эффективность	Долговечность
1 Ликвидация влияния ветровых нагрузок	✓	✓	✗	✗
2 Применение защитных колец	✓	✓	✗	✗
3 Усиление конструкции ВЛ	✗	✗	✗	✓
4 Устранение гололёдных образований	✓	✓	✓	✓

Рисунок 4 – Преимущества и недостатки методов снижения аварийности

Наиболее перспективным решением является плавка гололёда с помощью инновационных систем ликвидации гололёда, входящих в сборник «Инновации в ПАО «Россети» за 2018–2022 годы. Результатом проведённого сравнения стало окончательное неоспоримое доказательство оптимальности использования инновационной системы устранения гололёда для вышеописанных условий и ограничений. Из её плюсов можно выделить высокую степень автоматизации и результативность, что, в конечном итоге, приведёт к повышению надёжности электроснабжения потребителей. Недостатками являются сложность данной схемы, относительно высокие капитальные затраты и небольшое повышение потерь электроэнергии в линии. Однако, лучше кратковременно повышать потери, чем потом ликвидировать последствия аварии.

Предлагаемая инновационная система плавки гололёда состоит из следующих подсистем:

- подсистемы ИСПГ, осуществляющей непрерывный контроль внешних погодных условий и тяжения проводов ЛЭП;
- стационарной подсистемы ВУПГ, осуществляющей плавку гололёдных отложений постоянным током и
- подсистемы SCADA на диспетчерском пункте для нужд накопления, анализа и обработки информации о фактическом и вероятном гололёдообразовании, информировании персонала ДП и формирования команд на запуск плавки.

Все три подсистемы связаны каналами передачи данных по каналам GSM-сети оператора связи.

Подсистема ИСПГ включает в себя следующие компоненты:

- программируемый логический контроллер, выступающий в роли средства обработки информации, поступающей от внешних первичных преобразователей и формирователя сигналов телемеханики;
- три тензодатчика, датчик влажности/температуры и анемометр – выступают в роли первичных преобразователей неэлектрических величин;
- солнечная батарея с контроллером заряда и аккумуляторной батареей – обеспечивает автономное питание подсистема ИСПГ.

Назначением данной подсистемы является восприятие и измерение величин метеорологических факторов, характерных для повышенного риска гололёдообразования, механических усилий, являющихся косвенным признаком фактического образования гололёда на контролируемом участке ВЛЭП и формирования пакетов данных для последующей передачи на ДП по каналам GSM-сети. Структура инновационной системы представлена на рисунке 5.

Для устранения технологических нарушений, связанных с гололёдообразованием на участке ЛЭП 220 кВ Красноуфимская-Продольная протяженностью 78 км требуется установка трёх комплектов ИСПГ на опорах с промежутком в 25 км. Это связано с тем, что данная ВЛЭП проходит как по равнинным, так и гористым участкам с различными погодными условиями в одно и то же время. Подсистема SCADA устанавливается на диспетчерском пункте подстанции 500 кВ «Емелино», а подсистема ВУПГ на П/С 220 кВ «Красноуфимская».

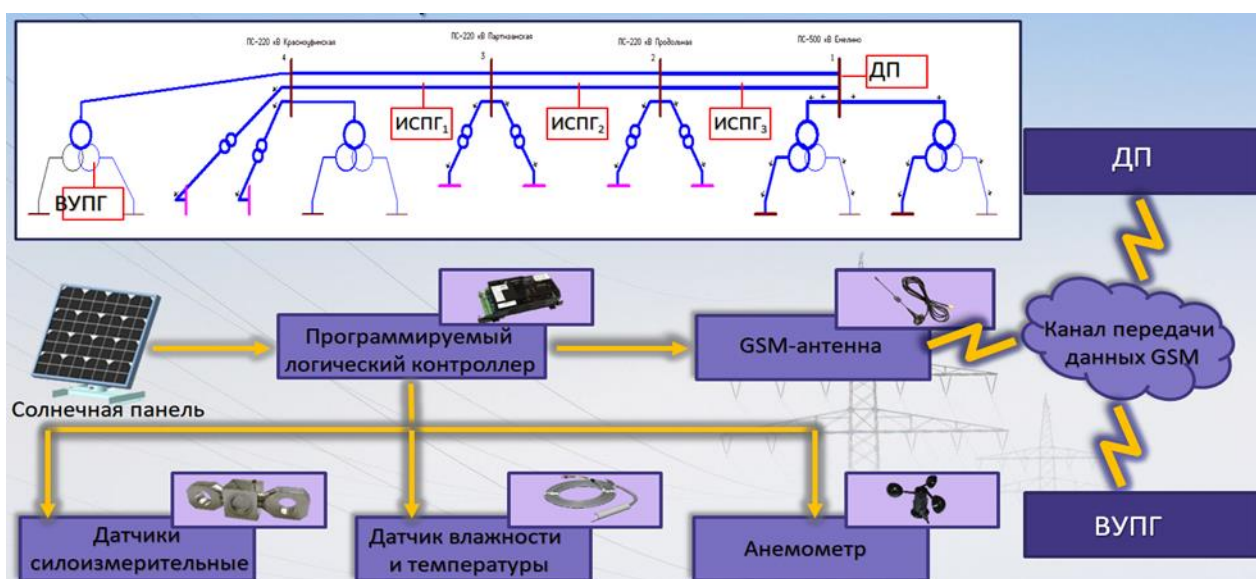


Рисунок 5 – Структура и размещение компонентов системы плавки ГИО

Капитальные затраты непосредственно на подсистему ИСПГ составляет 43,79 тысячи рублей, 1065 т. р. на выпрямительную установку плавки гололёда и 8,5 т. р. на GSM для монтажа. Помимо этих, разовых, затрат ежегодно будут затраты на нагрев проводов, которые составляют 142 т. р. при 4-х плавках за зимний сезон. В таблице 1 приведены технико-экономические показатели проекта.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели

Наименование показателей	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Объем инвестиций, т.р.	1 259,07	0	0	0	0	0
Сумма амортизационных отчислений, т. р.	437,90	437,90	437,90	437,90	437,90	437,90
Сумма чистой прибыли, т. р.	1 031,17	1 031,17	1 031,17	1 031,17	1 031,17	1 031,17
Величина риска, %	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
Коэффициент дисконтирования	1	0,92	0,85	0,78	0,72	0,66
Объем инвестиций с учётом дисконтирования, т.р.	1 259,07	0	0	0	0	0
Сумма чистой прибыли с учётом дисконтирования, т.р.	1 031,17	948,68	876,49	804,31	742,44	680,57
Сумма амортизационных отчислений с учётом дисконтирования, т. р.	437,90	402,87	372,22	341,56	315,29	289,01
Сальдо с учётом дисконтирования, т.р.	-227,90	948,67	876,49	804,31	742,44	680,57
Сальдо с учётом дисконтирования нарастающим итогом, т.р.	-227,90	720,78	1 597,27	2 04,58	3 144,03	3 824,58
Дисконтированный срок окупаемости, лет	1,22					

Подводя итоги, необходимо отметить, что при использовании предложенной нами системы устранения ГИО на ВЛЭП снижаются затраты рабочего персонала, потери на недоотпуск электроэнергии, а также затраты на устранение аварий, повышается энергоэффективность и надёжность за счёт увеличения наработки на отказ и уменьшения интенсивности отказов оборудования ВЛЭП.

Финансировать проект предлагается за счёт включения его в инвестиционную программу филиала ПАО «Россети-Урал» – «Свердловэнерго», что позволит снизить риски невыполнения программы технического обслуживания и ремонта, а также риски изъятия неиспользованных тарифных источников.

#### Список используемой литературы

1. Студенты АлтГТУ вышли в финал Международного чемпионата CASE-IN // АлтГТУ им. И. И. Ползунова : сайт. Барнаул, 2024. URL: <https://www.altstu.ru/structure/unit/oso/news/24529/> (дата обращения: 30.03.2024).

## Информация об авторах

Мустьяцэ А. В., Серохвостов А. А., Мякушко Р. В., Овчелупова А. В., - студенты группы Э-01, Э-04 ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», РФ, Алтайский край, г. Барнаул.

Попов А. Н. – наставник проекта, научный руководитель, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», РФ, Алтайский край, г. Барнаул.

## Ссылка для цитирования

Мустьяцэ, А. В. Методы снижения аварийности ВЛЭП путём устранения гололёдно-изморозевых отложений / А. В. Мустьяцэ, А. А. Серохвостов, Р. В. Мякушко, А. В. Овчелупова, А. Н. Попов // Энерджинет. 2023. № 1. URL: <http://nopak.ru/231-957> (дата обращения: 31.03.2024).

