



(24)-0410-1

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДА НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Владимир Николаевич Васылев<sup>1</sup>, Ярослав Викторович Назим<sup>2</sup>,  
Александр Владимирович Чиркин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия

<sup>1</sup>vn1951@mail.ru, <sup>2</sup>ya.v.nazim@donnasa.ru, <sup>3</sup>a.v.chirkin@donnasa.ru

**Аннотация.** Гололёдные аварии на воздушных линиях электропередачи вызывают значительный экономический ущерб. Эффективность применения методов борьбы с обледенением зависит от своевременного обнаружения гололёда на воздушных линиях электропередачи. В статье представлены результаты по разработке моделей автоматизированных гололедно-ветровых метеопостов в ФГБОУ ВО «ДОННАСА» и примеры их внедрения. Рассмотрены современные автоматизированные системы раннего обнаружения гололёда, а также методы обнаружения гололёда на воздушных линиях электропередачи. Приведены изображения устройств, в основе которых лежат конкретные методы. В качестве систем раннего обнаружения гололёда рассмотрены наиболее распространенные системы в России, а именно: система телеметрии гололедно-ветровых нагрузок на ВЛ (СТГН), автоматизированная информационная система контроля гололедной нагрузки (АИСКГН) «БЛАЙС», АИСКГН «АБАК-2000», система мониторинга интенсивности гололедообразования «МИГ», оптическая система мониторинга воздушных линий «СОЮЗТЕХЭНЕРГО».

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи (ВЛ), метод обнаружения гололёда, гололедно-зимородовые отложения, система мониторинга

**Для цитирования:** Васылев В. Н., Назим Я. В., Чиркин А. В. Анализ современных автоматизированных систем раннего обнаружения гололёда на воздушных линиях электропередачи // *Металлические конструкции*. 2024. Т. 30, № 3. С. 121–134. doi: 10.71536/mc.2024.v30n3.2. edn: gmtjzx.

Original article

## ANALYSIS OF MODERN AUTOMATED SYSTEMS FOR EARLY DETECTION OF ICE ON OVERHEAD POWER LINES

Vladimir N. Vasylev<sup>1</sup>, Yaroslav V. Nazim<sup>2</sup>, Aleksandr V. Chirkin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia,

<sup>1</sup>vn1951@mail.ru, <sup>2</sup>ya.v.nazim@donnasa.ru, <sup>3</sup>a.v.chirkin@donnasa.ru

**Abstract.** Icy accidents on overhead power transmission lines cause significant economic damage. The effectiveness of anti-icing methods depends on the timely detection of ice on overhead power transmission lines. The article presents the results of the development of models of automated icy-wind weather stations in the FSBEI HE «DONNASE» and examples of their implementation. The article discusses modern automated systems for early detection of ice, as well as methods for detecting ice on overhead power transmission lines. Images of devices based on specific methods are provided. The most common systems in Russia are considered as early ice detection systems: the system of telemetry of icy-wind loads on overhead



power transmission lines (STGN), the automated information system for monitoring loads of icing (AISKGN) «BLAIS», AISKGN «АБАК-2000», the system for monitoring the intensity of ice formation «MIG», the optical system for monitoring overhead power transmission lines «SOYUZTECHENERGO».

**Keywords:** overhead power transmission lines (OPTL), ice detection method, ice-frost deposits, system of monitoring

**For citation:** Vasylev V. N., Nazim Ya. V., Chirkin A. V. Analysis of modern automated systems for early detection of ice on overhead power lines. *Metal Constructions*. 2024;30(3):121–134. (in Russ.). doi: 10.71536/mc.2024.v30n3.2. edn: gmtjzx.

## Введение

Мониторинг климатических нагрузок на специальные сооружения получает все более широкое распространение для обеспечения их безаварийной эксплуатации. В последнее время в ряде стран ведется разработка и внедрение автоматизированных информационных систем контроля гололедно-ветровых нагрузок на воздушные линии электропередачи.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры с 2004 года ведутся разработки автоматизированных гололедно-ветровых метеопостов, а также осуществляются исследования по разработке методик учета климатических нагрузок на ВЛ [1–4]. Модели метеопостов прошли апробацию на территории Полигона ФГБОУ ВО «ДОННАСА», а экспериментальные метеопосты в период с 2007 по 2014 годы прошли опытную эксплуатацию на предприятиях энергетической отрасли.

В настоящее время в рамках реализации научно-технической программы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Оценка технического состояния воздушных линий электропередачи, открытых распределительных устройств и опор под оборудованием на подстанциях Донбасса на основе диагностики и мониторинга остаточного ресурса и действительной работы конструкций» (Рег. № НИОКТР 123122800065-8). Продолжаются научные разработки в целях совершенствования методик учета климатических нагрузок на ВЛ и создания автоматизированных систем управления по предотвращению аварийных ситуаций при гололедно-ветровых нагрузках.

## Анализ исследований и публикаций

С ростом физического износа воздушных линий электропередачи в процессе их многолетней эксплуатации всё большее количество аварий (технологических нарушений) в энергетике связано с неблагоприятными климатическими условиями и, прежде всего, с образованием гололедно-изморозевых отложений на проводах и грозозащитных тросах ВЛ. Проблема борьбы с ГИО на проводах ВЛ актуальна во многих странах, особенно в регионах с повышенной влажностью и низкими температурами.

Несмотря на усилия специалистов в области электроэнергетики, гололедные аварии в электрических сетях остаются одними из самых серьёзных, периодически вызывая дезорганизацию электроснабжения регионов. Известны ряд методов борьбы с обледенением проводов ВЛ – механический, электротермический, физико-химический, электромеханический, также ведутся активные разработки новых методов и средств борьбы с обледенением ВЛ. При этом эффективность применения методов борьбы с обледенением зачастую зависит от своевременного обнаружения гололёда на воздушных линиях электропередачи.

При возникновении неблагоприятных метеорологических условий для оценки угрозы обледенения проводов в сложившейся практике эксплуатации ВЛ проводится визуальный осмотр выездными бригадами эксплуатирующих организаций. Визуальная оценка с целью определения типа ГИО и толщины стенки гололёда на проводах могла бы также проводиться дистанционно с использованием беспилотных летательных аппаратов

(БПЛА), однако возникает вопрос о возможности эксплуатации БПЛА в погодных условиях, способствующих образованию гололёда. Последнее время в энергетике всё чаще используются устройства для удаленного контроля гололёдно-изморозевых отложений в реальном времени [5–15].

### Описание объекта исследований

Объектом исследований являются автоматизированные системы раннего обнаружения гололёда на воздушных линиях электропередачи.

### Цель работы

Цель данного исследования – анализ существующих современных методов мониторинга гололёдообразования и автоматизированных систем раннего обнаружения гололёда на воздушных линиях электропередачи.

### Основная часть

Существует два основных подхода к обнаружению гололёда, основанные на методах прогнозирования и контактных методах. Методы прогнозирования позволяют лишь предупредить о возможной угрозе, но не могут точно указать на начало обледенения. Контактные методы предполагают непосредственный контроль процесса гололёдообразования с помощью датчиков и устройств, что позволяет точно фиксировать момент начала образования ГИО. В современных системах мониторинга гололёдообразования используются различные контактные методы, в т. ч. локационные, инструментально-параметрические и гравитационные (тензометрические) методы диагностики, подробно рассмотренные в исследованиях [14–16].

При разработке модели автоматизированного гололедно-ветрового метеопоста (АГВМП) в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры использовались контактные методы обнаружения гололёда с применением тензометрических методов диагностики [1–4]. Определение массы гололедно-изморозевых отложений, согласно рекомендациям МЭК [17] для ВЛ, в модели метеопоста реализовано при помощи прямого метода – путем измерения массы гололеда на имитаторах провода. При этом

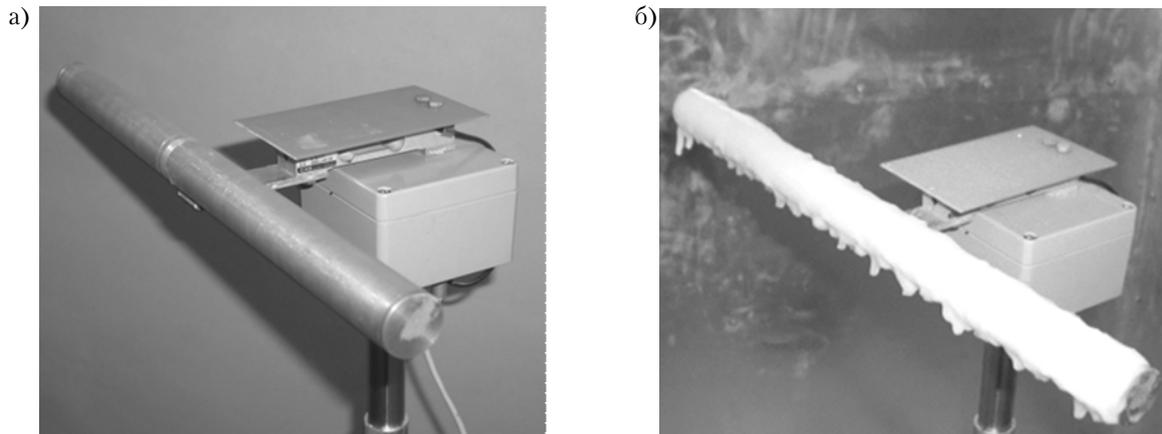
измеритель массы ГИО должен содержать систему ориентации, устанавливающую ось имитатора провода, используемого при мониторинге, под углом  $90^\circ$  по отношению к направлению ветра.

Высота расположения и характеристики устройств для измерения гололедных отложений были приняты сопоставимыми с характеристиками проводов ВЛ. В данном случае для снижения влияния пограничного слоя на процессы гололедообразования высота расположения устройств принята на отметке 10 м, что отвечает сложившейся практике измерений. Масса гололедных отложений существенно зависит от угла атаки гололедонесущего ветрового потока и, следовательно, для получения данных о максимально возможном гололедообразовании необходимо ориентировать имитатор провода перпендикулярно к потоку, причем, во избежание технических трудностей, данный процесс должен быть автоматизированным и управляемым [3]. Масса ГИО определяется при помощи взвешивания.

Предложенный АГВМП предназначен для измерения в автоматическом режиме гидрометеорологических параметров окружающей среды и передачи данных на опорный пункт. В конструкции измерителя массы ГИО (рис. 1, а), примененного в составе АГВМП, была реализована возможность отслеживания направления ветра, обеспечивая установку измерителей массы гололедно-изморозевых отложений по перпендикуляру к направлению гололедонесущего потока. Имитатор провода крепится непосредственно к датчику веса гололеда, который установлен на вращающийся на установочной штанге корпуса. В имитаторе провода установлен подогреватель, предназначенный для плавки гололеда.

Модели АГВМП прошли испытания в лабораторных условиях (рис. 1, б) и апробацию в полевых условиях на территории Полигона ФГБОУ ВО «ДОННАСА», во время которых подтверждена правильность выбранных при разработке АГВМП конструктивных и алгоритмических решений.

Следующим аспектом расстановки метеопостов по территории являлся анализ статистических данных существующих метеостанций. В первую очередь оценивались количество «выбросов» на метеостанции, далее анализировались разбросы данных близлежащих метеостанций. Но сложность реализации измерений и существенные



**Рисунок 1.** Измеритель массы ГИО: а) внешний вид, б) вид во время проведения лабораторных испытаний.

разбросы гидрометеорологических параметров и, в частности, гололедно-изморозевых отложений (ГИО), в зависимости от топографических условий местности, района и высоты расположения объекта над уровнем земли определили необходимость создания ведомственной сети энергетических компаний для мониторинга климатических параметров [2; 4].

В зависимости от районов с разными климатическими особенностями сеть покрытия метеопостами должна быть различной. Чаще всего представительность измерений метеостанцией обеспечивается в радиусе 50–100 км. Для оценки радиуса представительности метеопоста необходимо оценить пространственное распределение гололедных нагрузок. Наиболее точно пространственное распределение нагрузки возможно оценить при обработке строчных данных наблюдений метеопараметров. Одним из возможных вариантов является обработка годовых максимумов по метеостанциям при помощи взаимокорреляционной функции. В связи с тем, что расчетные значения определяются исходя из годовых максимумов нагрузки, корреляция годовых максимумов позволит выявить не только возможное пространственное распределение нагрузок по территории, но и оценить репрезентативность метеостанции. Анализ репрезентативности существующих метеостанций по территории позволяет оптимально расставить метеопосты для охвата как можно большей площади.

На основании рядов годовых максимумов данных метеостанций были получены коэффициенты корреляции для сочетаний рядов соседних

метеостанций [2; 4], анализ которых позволил сделать следующие выводы:

- при значениях коэффициентов корреляции 0,2 и более метеостанции можно считать расположенными в одинаковых условиях и достаточно хорошо коррелированными;
- расчетные максимумы гололедной нагрузки, даже для слабо коррелированных метеостанций, достаточно хорошо проявляются на значительной территории;
- при коэффициентах корреляции менее 0,2 метеостанции слабо коррелированы либо их данные не репрезентативны. Данные территории нуждаются в повышенном внимании.

Но указанное справедливо лишь при удовлетворительном состоянии строительных конструкций ВЛ. При определении сети установки метеопостов необходимо также учитывать значительный срок эксплуатации линий электропередачи и их техническое состояние. Для получения достоверной информации о гололедообразовании было принято решение о расположении метеопостов в местах, соответствующих местам концентрации воздушных линий электропередачи.

В рамках развития методики на первом этапе предполагалось реализовать апробацию АГВМП путем установки метеопостов на электрических подстанциях с использованием имитаторов провода для измерения гололедных отложений. В период с 2007 по 2014 годы экспериментальные метеопосты прошли опытную эксплуатацию в системе Национальной энергетической компании «Укрэнерго» [2] на электрических подстанциях

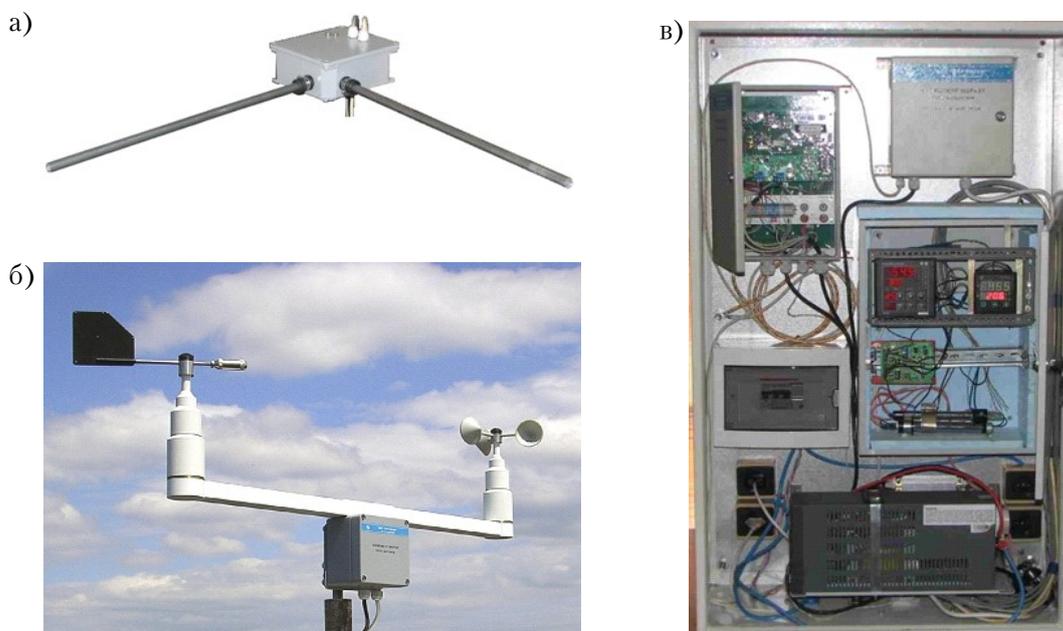
ПС 500 кВ «Победа», ПС 330 кВ «Усатово», ПС 330 кВ «Котовская», ПС 330 кВ «Тернополь», ПС 330 кВ «Хмельницкий», ПС 330 кВ «Ивано-Франковская», ПС 220 кВ «Луцк-Южная» и др. Опыт эксплуатации метеопостов в реальных условиях выявил ряд проблем связанных с аттестацией средств измерений, а также с точностью измерений вследствие обледенения помимо имитатора провода элементов крепления и тензодинамометра. Основной причиной низкой надежности системы явилась сложность конструкции измерителя гололеда, обусловленная наличием движущихся частей за счет использования в нем активной системы ориентации имитатора провода перпендикулярно ветровому потоку [4]. Помимо модернизации измерителя гололеда были проведены работы и по совершенствованию структурной схемы АГВМП в целом, что обусловлено было модернизацией информационно-управляющих систем энергоснабжающих компаний, целями выполнения условий интеграции датчиков измерения метеопараметров в КП телемеханики для последующей передачи информации в едином протоколе на диспетчерс-

кий пункт, а также выполнением условий метеорологической аттестации оборудования.

Модернизированный метеопост был создан также по агрегатно-блочному принципу из законченных функциональных модулей, каждый из которых можно рассматривать как отдельное средство измерения, интегрированное в единую автоматизированную систему мониторинга параметров процесса в реальном масштабе времени [3].

Метеопост состоит из трех основных измерительных блоков:

1. Измеритель веса гололедных отложений (рис. 2, а) представляет собой информационный канал, в состав которого входят два азимутально-рассогласованных датчика веса гололеда SCAIME AQ 5 кг и измерительный модуль с выходом на RS232 интерфейс.
2. Анемометр-румбуер МАРК-60АФ в антигололедном исполнении (рис. 2, б), аттестованный к применению в составе систем управления аэропортов. Измеряет направление ветра в диапазоне (0–360°) и скорость набегающего воздушного потока в диапазоне (0–60 м/с).



**Рисунок 2.** Компоненты метеопоста: а) измеритель веса гололедных отложений; б) анемометр-румбуер МАРК-60АФ; в) блок управления АГВМП.

Выдает мгновенные значения измеряемых параметров и усредненные за 3 мин, 2 часа. Строит розу ветров за заданный период. Архивирует данные в виде файлов и передает их на сервер по каналу RS-232.

3. Многоканальный универсальный измерительно-управляющий периферический процессорный модуль ТРМ138Р. Измеряет значение температуры от датчика ТСМ-50, значение относительной влажности от датчика ДВ-03 с заданной частотой и точностью, фиксирует приближение грозового фронта по данным от датчиков от электромагнитного импульса и акустического датчика. Управляет процессом оттаивания с помощью включения подогрева ТЭН. Фиксирует момент начала обледенения, анализируя пороговое значение сигнала от датчика веса гололеда. Данные передает через информационный шлюз АСЗ-М по RS232.

Информационный обмен между АСММ и КП телемеханики осуществляется по интерфейсу RS-485, RS-232. Помимо создания автоматизированной системы мониторинга метеопараметров в ФГБОУ ВО «ДОННАСА» выполнены разработка и совершенствование методик учета климатических нагрузок на ВЛ. Основные из них это: методика выбора расчетных метеостанций, методика подготовки и обработки данных метеостанций, методика определения нагрузки в какой-либо точке территории, методика определения зависимости климатических нагрузок от высоты месторасположения, методика определения гололедно-ветровых нагрузок в горной местности, определения влияния топографических условий местности на ветровую нагрузку [2].

В дальнейшем планировалась установка автоматизированных метеопостов непосредственно на ВЛ. Это обусловлено ограниченной применимостью получаемых данных с подстанционных метеопостов для использования в средствах борьбы с обледенением на воздушных линиях электропередачи (ВЛ), расположенных на значительном удалении от подстанций. Кроме того, метеопосты в горной либо предгорной местности имеют небольшой радиус «действия» и для мониторинга климатических воздействий в этом случае лучше использовать линейные метеопосты, расположенные непосредственно на ВЛ. Достоинством линейных метеопостов, является и

то, что их можно разместить на территории с ярко выраженными топографическими либо микроклиматическими особенностями местности, что позволит расширить их радиус репрезентативности. И самое главное, что раннее обнаружение обледенения проводов ВЛ и мониторинг гололедно-ветровых нагрузок непосредственно на ВЛ критически важны для снижения затрат и предотвращения аварийных ситуаций.

В качестве систем раннего обнаружения гололеда рассмотрены наиболее распространенные в последнее время системы в России, а именно: система телеметрии гололедно-ветровых нагрузок на ВЛ (СТГН), автоматизированная информационная система контроля гололедной нагрузки (АИСКГН) «БЛАЙС», АИСКГН «АБАК-2000», система мониторинга интенсивности гололедообразования «МИГ», оптическая система мониторинга воздушных линий (ОСМ-ВЛ) «СОЮЗ-ТЕХЭНЕРГО».

Система телеметрии гололедно-ветровых нагрузок на ВЛ (СТГН) [18; 19], используемая в электросетевых компаниях холдинга ПАО «Россети», предназначена для непрерывного автоматического контроля состояния ВЛ в реальном времени, а также для передачи, обработки и отображения информации о её состоянии и выработки текущих рекомендаций для диспетчерского персонала. СТГН состоит из пунктов контроля метеорологических и эксплуатационных воздействий (рис. 3), а также пунктов приёма, предназначенных для сбора, обработки и отображения информации (рис. 4), а также сигнализации о ненормальных и аварийных режимах.

Посты контроля устанавливаются на промежуточных опорах ВЛ в местах вероятного максимального метеорологического и эксплуатационного воздействия. Эти посты оснащены датчиками для измерения силовых и метеорологических параметров, электронными блоками, модемами для передачи данных, солнечными и аккумуляторными батареями. Функционирование постов обеспечивается контроллером, который осуществляет опрос датчиков и инициацию передачи информации по каналам связи с выводом в графический интерфейс.

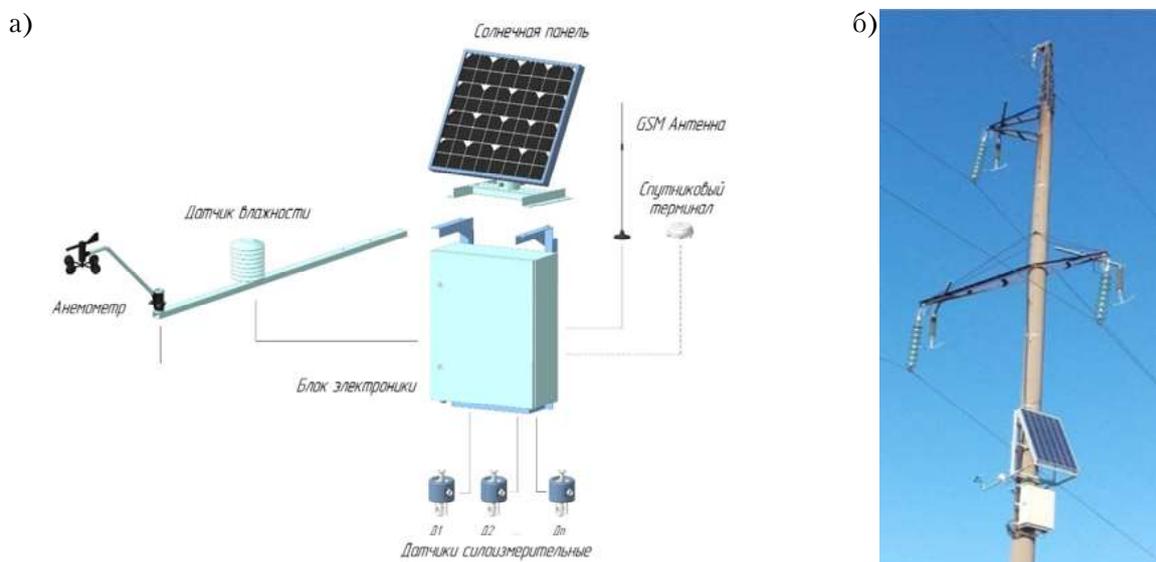
Помимо обнаружения ГИО и измерения их количественных параметров отложений, система позволяет отображать динамику изменения

измеряемых параметров и прогнозирование метеорологической обстановки в районе расположения ВЛ, а также выдачу сигналов диспетчерской службе для подготовки схем плавки.

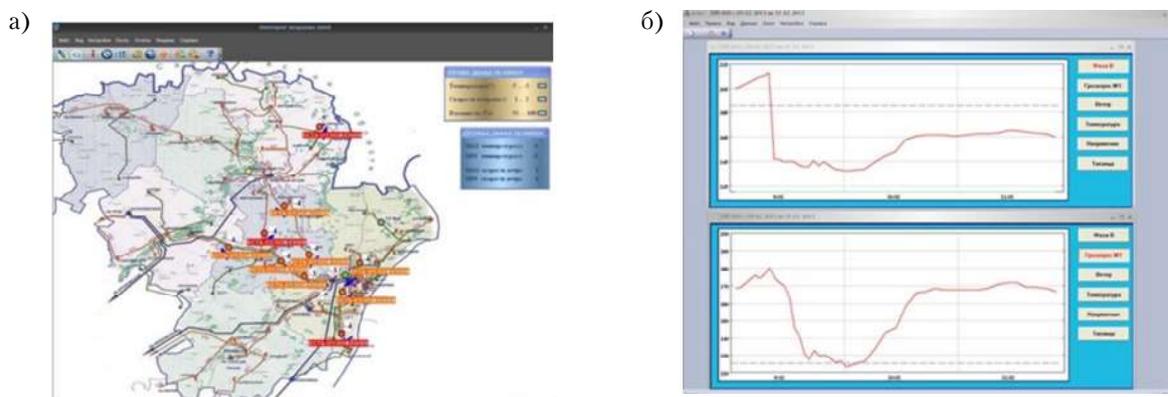
Автоматизированная информационная система контроля гололёдной нагрузки (АИСКГН) «БЛАЙС» [18; 20] по своему функционалу (рис. 5) является аналогом системы СТГН с возможностью удалённого видеонаблюдения и управления устройствами плавки гололёда. Одним из главных преимуществ системы является возможность удалённого контроля развития

гололёдной ситуации (рис. 6) на любой ВЛ из любого места, что существенно повышает её эффективность.

Автоматизированная информационная система контроля гололёдных нагрузок (АИСКГН) «АБАК-2000» [18; 21] является также аналогом рассмотренных систем контроля состояния воздушных линий. Система состоит из пунктов контроля (рис. 7, а) и сервера, который выполняет функции пункта приёма, обрабатывает данные и выводит информацию на дисплей диспетчерской службы (рис. 7, б).



**Рисунок 3.** Пост контроля СТГН «НТЦ» Инструмент-микро: а) конструктивная схема; б) пост контроля, установленный на ВЛ 100 кВ.



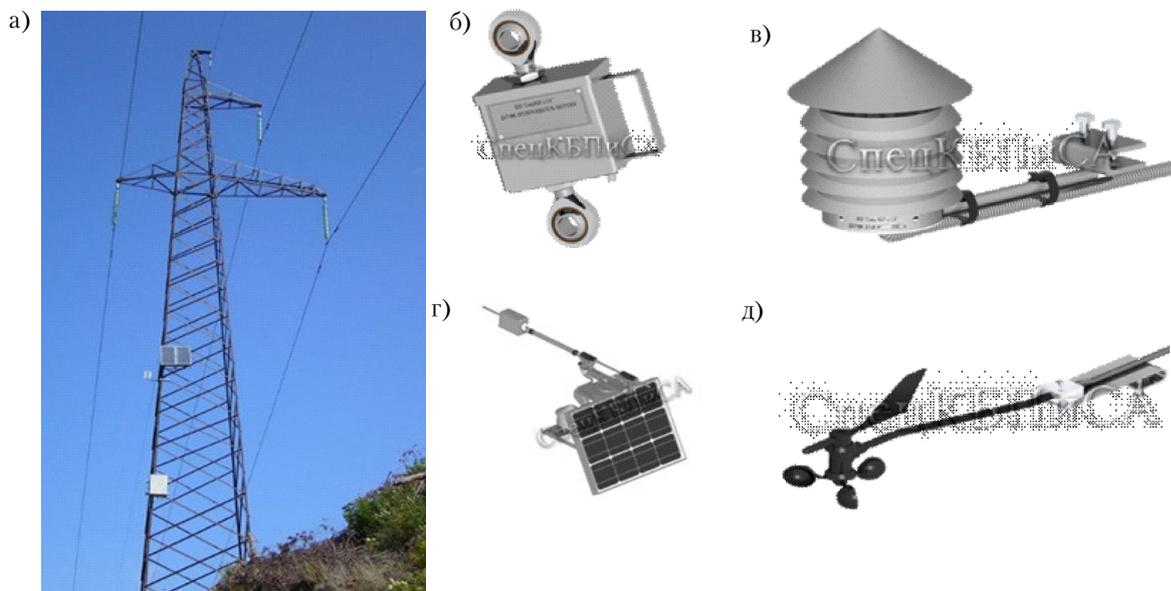
**Рисунок 4.** Разделы графического интерфейса ПО СТГН: а) интерактивная карта-схема; б) график изменения тяжения провода ВЛ.

Система мониторинга интенсивности гололёдообразования «МИГ» [18; 22] схожа с другими системами контроля ВЛ, включающими в себя посты измерения и передачи данных (рис. 8) и программный комплекс для диспетчера (рис. 9). Особенностью системы «МИГ» является наличие математической модели в составе программного обеспечения, которая позволяет прогнозировать момент начала гололёдообразования на основе измеряемых данных.

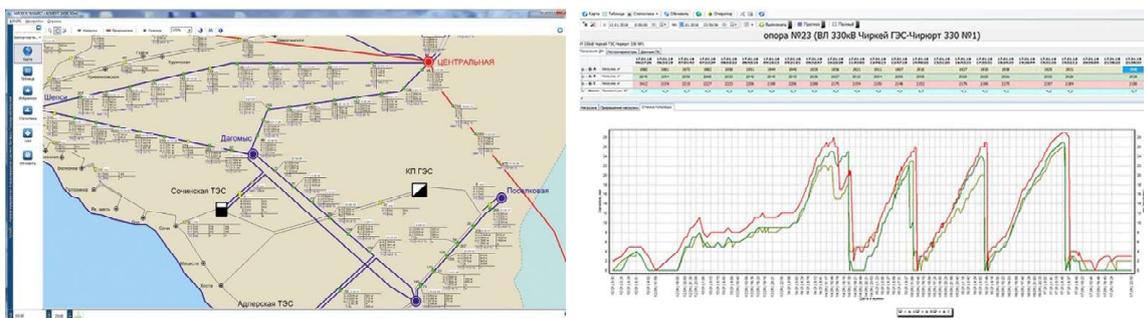
Оптическая система мониторинга воздушных линий (ОСМ-ВЛ) «СОЮЗТЕХЭНЕРГО» [18; 23]

основана на волоконно-оптической измерительной технологии, которая требует наличия волоконно-оптического кабеля в конструкции ВЛ. Датчики (рис. 10 а, б), установленные в натяжных гирляндах проводов, измеряют параметры тяжения, вибрации проводов и температуру воздуха.

Благодаря использованию механической модели ВЛ, основанной на измерениях, система может вычислить толщину гололёдного слоя и стрелу провеса провода. Волоконно-оптические датчики отличаются высокой точностью благодаря их помехоустойчивости.



**Рисунок 5.** Пункт контроля АИСКГН «БЛАЙС»: а) пункт контроля, установленный на ВЛ; б) датчик нагрузки; в) датчик температуры и влажности воздуха; г) устройство контроля температуры провода; д) датчик скорости и направления ветра.



**Рисунок 6.** Отображение данных на экране в пункте приема: а) интерактивная карта-схема; б) график изменения тяжения проводов ВЛ.

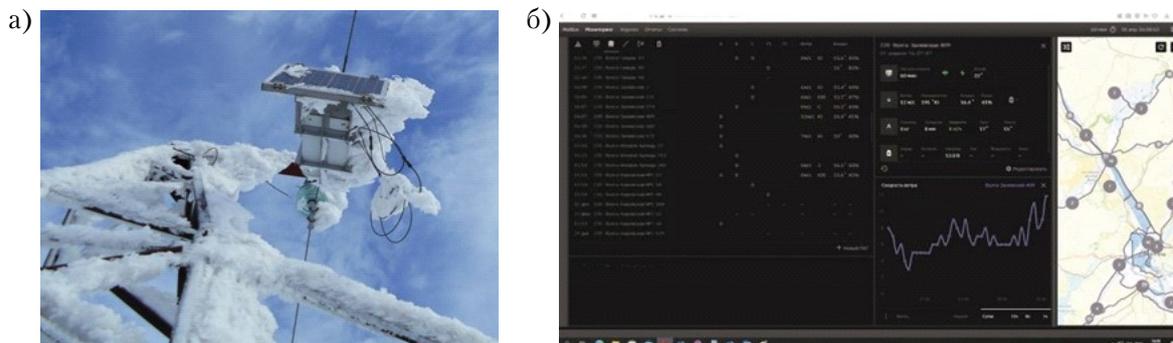


Рисунок 7. АИСКГН «АБАК-2000»: а) пункт контроля, установленный на ВЛ; б) интерфейс ПО.

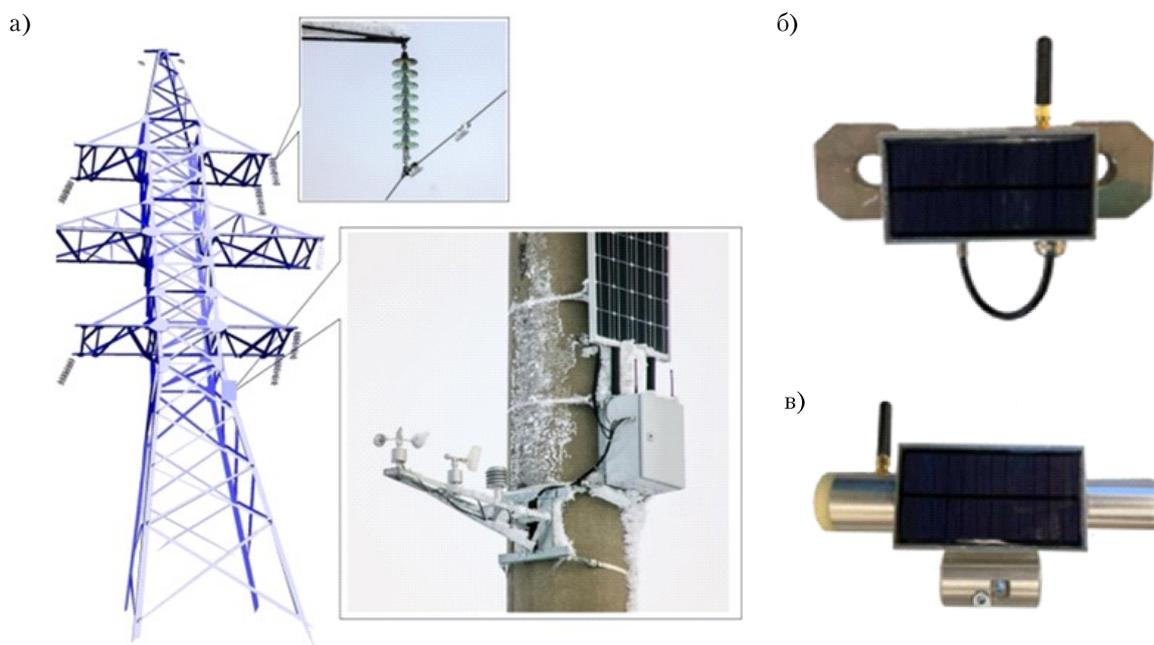


Рисунок 8. Система «МИГ»: а) пункт контроля, установленный на ВЛ; б) модуль контроля тяжения провода; в) модуль контроля температуры провода.

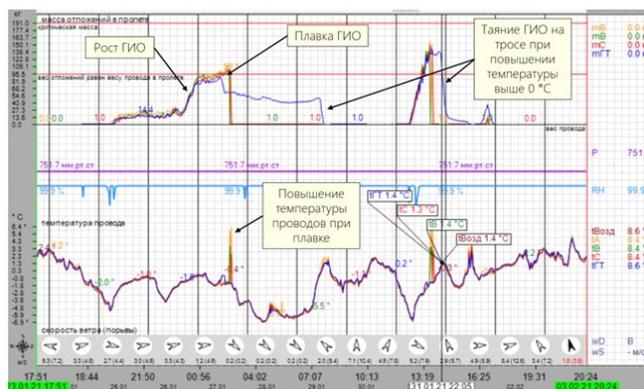


Рисунок 9. Графики изменения температуры и тяжения проводов ВЛ при плавке льда.

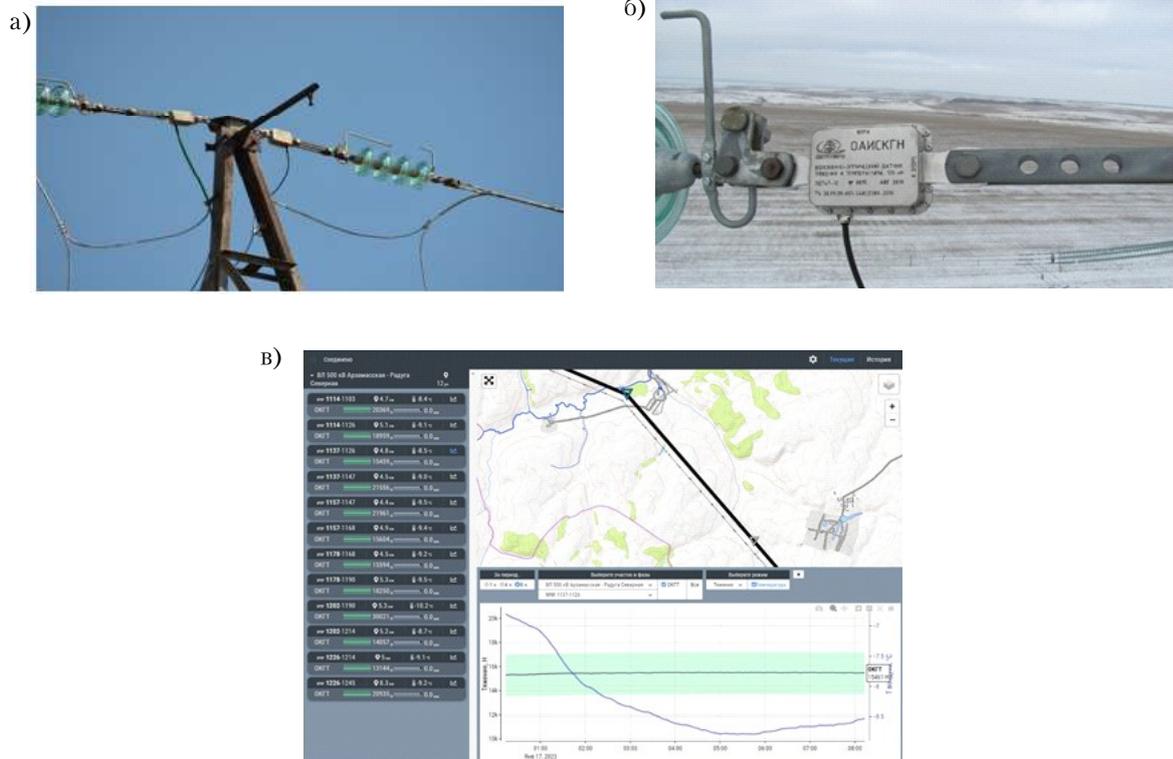


Рисунок 10. ОСМ-ВЛ: а, в) волоконно-оптические датчики; б) интерфейс ПО.

## Выводы

Необходимо отметить, что на сегодняшний день существует большое количество устройств для мониторинга гололёдообразования, принцип действия которых основывается на самых разнообразных физических явлениях, начиная от изменения электрической проводимости между датчиком и обледенелым проводом и заканчивая изменением степени поглощения радиоактивного излучения слоем гололёдных изложений. Широкое применение находят методы непосредственного измерения ветровой нагрузки

на провод, покрытый гололёдом, либо свободный от него, и гололёдной нагрузки в пролете линии. Но, несмотря на большое разнообразие уже внедренных в ряде энергосистем России и в зарубежных странах автоматизированных систем раннего обнаружения гололёда, имеется крайне мало информации об их эффективности взаимодействия с системами управления по предотвращению аварийных ситуаций при гололёдно-ветровых нагрузках, что требует дальнейшего изучения вопроса.

## Список источников

1. Ветровые и гололёдные воздействия на воздушные линии электропередачи / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим; под общей редакцией Е. В. Горохова. – Донецк: [б. и.], 2005. – 348 с. – Текст : непосредственный.

## References

1. Gorokhov, E. V.; Kazakevich, M. I.; Turbin, S. V.; Nazim, Ya. V. Wind and icy effects on overhead power transmission lines; under the general editorship of E. V. Gorokhov. – Donetsk : [s. n.], 2005. – 348 p. – Text : direct. (in Russian)

2. Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине / Е. В. Горохов, Г. И. Гримуд, В. Ф. Мушанов и [др.]; под общей редакцией Е. В. Горохова и Г. И. Гримуда. – Макеевка : РИО ДонНАСА, 2008. – 172 с. – Текст : непосредственный.
3. Мониторинг сложных технических систем / Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов, В. Р. Касимов [и др.]. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2008. – Том 14, № 4. – С. 299–313. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2008-4/10\\_gorokhov\\_muschanov\\_kasimov\\_nazim\\_kuznetsov\\_vasylev.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2008-4/10_gorokhov_muschanov_kasimov_nazim_kuznetsov_vasylev.pdf) (дата обращения: 20.04.2024). – ISSN 1993-3517.
4. Назим, Я. В. Модернизация устройства измерения гололедной нагрузки для метеопостов / Я. В. Назим, А. А. Лещенко. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2008. – Том 14, № 3. – С. 169–180. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2008-3/04\\_nazim\\_leschenko.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2008-3/04_nazim_leschenko.pdf) (дата обращения: 23.04.2024). – ISSN 1993-3517.
5. Современные методы обнаружения гололеда на проводах воздушных линий электропередачи. Часть 1 : Методы прогнозирования и взвешивания проводов / Р. Г. Минуллин, Э. Ю. Абдуллазянов, В. А. Касимов, М. Р. Яруллин. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 7–8. – С. 68–78.
6. Минуллин, Р. Г. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием / Р. Г. Минуллин, Д. Ф. Губаев. – Казань : КГЭУ, 2010. – 208 с. – Текст : непосредственный.
7. Башкевич, В. Я. Мониторинг воздушных линий электропередачи, эксплуатируемых в экстремальных метеоусловиях / В. Я. Башкевич. – Саратов : СГТУ, 2013. – 244 с. – Текст : непосредственный.
8. COST-727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and Data Collection on Icing: State of the Art / S. Fikke, G. Ronsten, A. Heimo [et al.]. – Текст : непосредственный // ResearchGate. – 2006. – № 75. – P. 110.
9. Lehký, P. Automated icing monitoring system / P. Lehký, J. Šabata; Z. Zálešák. – Текст : непосредственный // International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS), June 17–20, 2002, Brno, Czech Republic. – Brno, Czech Republic, 2002. – 5 p.
10. The contribution of conductor temperature and sag monitoring to increased ampacities of overhead lines (OHLs) / V. Lovrenčić, M. Gabrovšek, M. Kovač [et al.]. – Текст : электронный // Periodica Polytechnica. Electrical engineering. – 2015. – Volume 59, № 3. – P. 1–8. – DOI: 10.3311/Ppee.8585.
11. A computer vision early-warning ice detection system for the Smart Grid / R. Wachal, J. Stoezel, M. Peckover, D. Godkin. – Текст : электронный // IEEE PES : Transmission and Distribution Conference and Exposition, May 07–10, 2012, Orlando, Florida. – Orlando : [s. n.], 2012. – P. 1–6. – DOI:10.1109/TDC.2012.6281621.
12. Ruszczak, B.; Tomaszewski, M.; Michalski, P.; Zator, S. The study of weather conditions favourable to the
2. Gorokhov, E. V.; Grimud, G. I.; Muschanov, V. F. [et al.]. Efficiency of energy construction and operation in Ukraine ; under the general editorship of E. V. Gorokhov and G. I. Grimuda. – Makeyevka : RIO DonNASA, 2008. – 172 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Gorokhov, E. V.; Muschanov, V. F.; Kasimov, V. R. [et al.]. Monitoring of complex engineering systems. – Text : electronic. – In: *Metal Constructions*. – 2008. – Volume 14, № 4. – P. 299–313. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2008-4/10\\_gorokhov\\_muschanov\\_kasimov\\_nazim\\_kuznetsov\\_vasylev.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2008-4/10_gorokhov_muschanov_kasimov_nazim_kuznetsov_vasylev.pdf) (date of access: 20.04.2024). – ISSN 1993-3517. (in Russian)
4. Nazim, Y. V.; Leshchenko, A. A. Modernization of a weather post device to measure ice loading . – Text : electronic. – In: *Metal Constructions*. – 2008. – Volume 14, № 3. – P. 169–180. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2008-3/04\\_nazim\\_leschenko.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2008-3/04_nazim_leschenko.pdf) (date of access: 23.04.2024). – ISSN 1993-3517. (in Russian)
5. Minullin, R. G.; Abdullazyanov, E. Y.; Kasimov, V. A.; Yarullin, M. R. Modern methods of detecting ice on overhead power transmission lines. Part 1: Methods of forecasting and weighing wires. – Text : direct. – In: *News of higher educational institutions. Energy problems*. – 2013. – № 7–8. – P. 68–78. (in Russian)
6. Minullin, R. G.; Gubaev, D. F. Detection of ice formations on power transmission lines by location sensing – Kazan : KGEU, 2010. – 208 p. – Text : direct. (in Russian)
7. Bashkevich, V. Ya. Monitoring of overhead power transmission lines operated in extreme weather conditions. – Saratov : SGTU, 2013. – 244 p. – Text : direct. (in Russian)
8. Fikke, S.; Ronsten, G.; Heimo, A. [et al.]. COST – 727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and Data Collection on Icing: State of the Art. – Text : direct. – In: *ResearchGate*. – 2006. – № 75. – P. 110.
9. Lehký, P.; Šabata, J.; Zálešák, Z. Automated icing monitoring system. – Text : direct. – In: *International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS)*, June 17–20, 2002, Brno, Czech Republic. – Brno, Czech Republic, 2002. – 5 p.
10. Lovrenčić, V.; Gabrovšek, M.; Kovač, M. [etal.]. The Contribution of Conductor Temperature and Sag Monitoring to Increased Ampacities of Overhead Lines (OHLs) – Text : electronic. – In: *Periodica Polytechnica. Electrical engineering*. – 2015. – Volume 59, № 3. – P. 1–8. – DOI: 10.3311 / Ppee.8585.
11. Wachal, R.; Stoezel, J.; Peckover, M.; Godkin, D. A computer vision early-warning face detection system for the Smart Grid. – Text : electronic. – In: *IEEE PES : Transmission and Distribution Conference and Exposition*, May 07–10, 2012, Orlando, Florida. – Orlando : [s. n.], 2012. – P. 1–6. – DOI:10.1109/TDC.2012.6281621.
12. Ruszczak, B.; Tomaszewski, M.; Michalski, P.; Zator, S. The study of weather conditions favourable to the

- Orlando, Florida. – Orlando : [s. n.], 2012. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/TDC.2012.6281621.
12. The study of weather conditions favourable to the accretion of icing that pose a threat to transmission power lines. / B. Ruszczak, M. Tomaszewski, P. Michalski, S. Zator. – Текст : электронный // *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. – 2019. – Volume 25. – P. 139–151. – DOI: 10.1016/j.ijcip.2019.04.001.
  13. Касимов, В. А. Метод локационного мониторинга гололедообразования и повреждений на воздушных линиях электропередачи и программно-аппаратные комплексы для его реализации : специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Касимов Василь Амирович ; ФГБОУ ВО КНИТУ национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева. – Казань, 2019. – 48 с. – Текст : непосредственный.
  14. Дементьев, С. С. Интеллектуальная система мониторинга гололедообразования на воздушных линиях электропередачи : специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы» : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / Дементьев Сергей Сергеевич ; ФГБОУ ВО ВГТУ. – Волгоград, 2019. – 20 с. – Текст : непосредственный.
  15. Ярославский, Д. А. Система автоматизированного мониторинга гололедных отложений воздушных линий электропередач на основе инклинометрическо-метеорологического метода : специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ярославский Данил Александрович ; КГЭУ. – Казань, 2017. – 15 с. – Текст : непосредственный.
  16. Шилин, А. Н. Повышение надежности функционирования воздушных линий электропередачи в гололедный период : монография / А. Н. Шилин, С. С. Дементьев ; ВолгГТУ. – Волгоград : Старый Оскол : ТНТ, 2022. – 176 с. – ISBN 978-5-94178-784-5. – Текст : непосредственный.
  17. Overhead lines – Meteorological data for assessing climatic loads: IEC/TS 61774. – Geneva, Switzerland. – TR 2. Ed. 1. – 2000. – 91 p. – Текст : непосредственный.
  18. Средства диагностики и предотвращения снегонапления и гололедообразования на воздушных линиях 6–150 кВ. – Текст : электронный // Россети : [сайт]. – 2017. – Санкт-Петербург. – URL: [https://rosseti-sz.ru/upload/press/cpd/materials/Katalog\\_KPD\\_31\\_oktiabria\\_2017.pdf](https://rosseti-sz.ru/upload/press/cpd/materials/Katalog_KPD_31_oktiabria_2017.pdf) (дата обращения: 20.04.2024).
  19. Научно-технический центр Инструмент-микро. – Текст : электронный // ООО «НТЦ Инструмент-микро» : [сайт]. – 2018. – URL: <http://instrument-micro.ru> (дата обращения: 20.04.2024).
  - accretion of icing that pose a threat to transmission power lines. – Text: electronic. – In: *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. – 2019. – Volume 25. – P. 139–151. – DOI:10.1016/j.ijcip.2019.04.001.
  13. Kasimov, V. A. Method of location monitoring of ice formation and damage on overhead power transmission lines and hardware and software complexes for its implementation : specialty 05.11.13 «Devices and methods for monitoring the natural environment, substances, materials and products» : dissertation for the degree of doctor of technical sciences / Kasimov Vasil ; FGBOU VO KNITU named after A. N. Tupolev. – Kazan, 2019. – 48 p. – Text: direct. (in Russian)
  14. Dementiev, S. S. Intelligent ice monitoring system on overhead power transmission lines : specialty 05.11.16 «Information measuring and control systems» : dissertation for the degree of doctor of technical sciences / Dementyev Sergey ; Volgograd State Technical University. – Volgograd, 2019. – 20 p. – Text: direct. (in Russian)
  15. Yaroslavsky, D A. Automated monitoring system for icy deposits of overhead power lines based on the inclinometric and meteorological method : specialty 05.11.13 «Devices and methods for monitoring the natural environment, substances, materials and products» : dissertation for the degree of doctor of technical sciences / Yaroslavsky Danil ; KGEU. – Kazan, 2017. – 15 p. – Text: direct. (in Russian)
  16. Shilin, A.N.; Dementiev, S.S. Improving the reliability of overhead power transmission lines in the icy period : a monograph. – Volgograd : VolgSTU ; Sary Oskol : TNT, 2022. – 176 p. – Text : direct. – ISBN: 978-5-94178-784-5. (in Russian)
  17. Overhead lines – Meteorological data for assessing climatic loads: IEC/TS 61774. – Geneva, Switzerland. – TR 2. Ed. 1. – 2000. – 91 p. – Text : direct.
  18. Diagnostic tools and prevention of snow formation and icing on overhead lines of 6–150 kV. – Text : electronic // Rosseti : [site]. – 2017. – Saint Petersburg. – URL: [https://rosseti-sz.ru/upload/press/cpd/materials/Katalog\\_KPD\\_31\\_oktiabria\\_2017.pdf](https://rosseti-sz.ru/upload/press/cpd/materials/Katalog_KPD_31_oktiabria_2017.pdf) (date of access: 20.04.2024). (in Russian)
  19. Scientific and Technical Center Tool-micro. – Text : electronic // NTC Tool-micro LLC : [site]. – 2018. – URL: <http://instrument-micro.ru> (date of access: 20.04.2024). (in Russian)
  20. Automated information system for monitoring the icy load «BLAIS®». – Text : electronic // Spec KBP and SA LLC : [site]. – 2014. – URL: <http://www.blice.ru/system> (date of access: 20.04.2024). (in Russian)
  21. AISKGN Abak-2000. – Text : electronic // ABAK-2000 «System integrator» : [site]. – 2018. – URL: <https://abak2000.ru/aiskgn> (date of access: 20.04.2024). (in Russian)
  22. The MIG ice intensity monitoring system. – Text : electronic // Solutions in the field of diagnostics of the condition of power transmission lines : [site]. –

20. Автоматизированная информационная система контроля гололедной нагрузки «БЛАЙС®». – Текст : электронный // ООО «Спец КБП и СА» : [сайт]. – 2014. – URL: <http://www.blice.ru/system> (дата обращения: 20.04.2024).
21. АИСКГН Абак-2000. – Текст : электронный // АБАК-2000 «Системный интегратор» : [сайт]. – 2018. – URL: <https://abak2000.ru/aiskgn> (дата обращения: 20.04.2024).
22. Система мониторинга интенсивности гололедообразования «МИГ». – Текст : электронный // Решения в области диагностики состояния линий электропередачи : [сайт]. – 2021. – Москва. – URL: <http://mig-system.ru> (дата обращения: 20.04.2024).
23. Оптическая система мониторинга ВЛ. – Текст : электронный // ОПТЭН : [сайт]. – 2024. – Москва. – URL: <https://opten.ru/products/opti-cheskaja-sistema-monitoringa-vl> (дата обращения: 20.04.2024).
2021. – Moscow. – URL: <http://mig-system.ru> (date of access: 20.04.2024). (in Russian)
23. Optical overhead line monitoring system. – Text : electronic // OPTEN : [site]. – 2024. – Moscow. – URL: <https://opten.ru/products/opti-cheskaja-sistema-monitoringa-vl> (date of access: 20.04.2024). (in Russian)

### Информация об авторах

**Васылев Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент; начальник лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работы опор линий электропередачи, строительных конструкций и сооружения; технология изготовления строительных конструкций.

**Назим Ярослав Викторович** – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Член Международной ассоциации по большим системам энергетики (CIGRE). Научные интересы: надежность и долговечность электросетевых конструкций, ветровые и гололедные нагрузки на воздушные линии электропередачи.

**Чиркин Александр Владимирович** – ассистент кафедры специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: управление в технических системах, обработка информации, математическое моделирование, автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

### Information about the authors

**Vasylev Vladimir N.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head of the Laboratory for Testing Building Structures and Constructions, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: experimental and theoretical study of the operation of power transmission line supports, building structures and constructions; technology of manufacturing building structures.

**Nazim Yaroslav V.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head Department of specialized information systems and technologies, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Member of

the International Council on Large Electric Systems (CIGRE). Scientific interests: reliability and longevity of power supply structures, wind and ice loads on overhead power transmission lines.

**Chirkin Aleksandr V.** – assistant Department of specialized information systems and technologies, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: management in technical systems, information processing, mathematical modeling, automation and control of technological processes and productions.

*Статья поступила в редакцию 27.08.2024; одобрена после рецензирования 19.09.2024; принята к публикации 23.09.2024.*

*The article was submitted 27.08.2024; approved after reviewing 19.09.2024; accepted for publication 23.09.2024.*