



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР 4, 271–284

УДК 621.315

(11)-0253-1

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УТВОРЕННЯ ОЖЕЛЕДНИХ ВІДКЛАДЕНЬ НА ПРОВОДАХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ В КЛІМАТИЧНІЙ КАМЕРІ

Я. В. Назім, О. О. Лещенко

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: ksv@donnasa.edu.ua

Отримана 8 липня 2011; прийнята 25 листопада 2011.

Анотація. У статті розглянуті питання, що стосуються експериментальних досліджень утворення ожеледних відкладень на проводах повітряних ліній електропередавання. Для досягнення мети досліджень розроблена і сконструйована експериментальна установка на базі кліматичної камери лабораторії випробувань будівельних конструкцій і споруд ДонНАБА. Розроблена методика порівняльних випробувань зразків традиційних сталюалюмінієвих проводів з новими типами компактних проводів в кліматичній камері для імітації утворення ожеледних відкладень у вітровому потоці. Встановлено, що для 5–6-го ожеледних районів відповідно до Розділу 2.5 ПУЕ: 2006 роль закручування проводу на інтенсивність ожеледоутворення буде істотною, і різниця у вазі ОПВ для різних значень крутильної жорсткості проводу може досягати 25 %. Результати роботи необхідні для подальших досліджень, пов'язаних з вивченням ожеледоутворення на проводах, а також розробки заходів з метою забезпечення безаварійної роботи ПЛ при ожеледно-вітрових діях.

Ключові слова: повітряні лінії електропередавання (ПЛ), провід, ожеледоутворення, жорсткість на кручення, експериментальні дослідження.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОЛЕДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

Я. В. Назим, А. А. Лещенко

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: ksv@donnasa.edu.ua

Получена 8 июля 2011; принята 25 ноября 2011.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, касающиеся экспериментальных исследований образования гололедных отложений на проводах воздушных линий электропередачи. Для достижения цели исследований разработана и сконструирована экспериментальная установка на базе климатической камеры лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений ДонНАСА. Разработана методика сравнительных испытаний образцов традиционных сталюалюминиевых проводов с новыми типами компактных проводов в климатической камере для имитации образования гололедных отложений в ветровом потоке. Установлено, что для 5–6-го гололедных районов в соответствии с Главой 2.5 ПУЭ: 2006 роль закручивания провода на интенсивность гололедообразования будет существенной, и разница в весе ГИО для разных значений крутильной жесткости провода может достигать 25 %.

Результаты работы необходимы для дальнейших исследований, связанных с изучением гололедообразования на проводах, а также разработки мероприятий с целью обеспечения безаварийной работы ВЛ при гололедно-ветровых воздействиях.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи (ВЛ), провод, гололедообразование, жесткость на кручение, экспериментальные исследования.

METHOD OF EXPERIMENTAL SIMULATION OF ICING PROCESS ON THE CONDUCTOR OF OVERHEAD LINES IN CLIMATIC CHAMBER

Yaroslav Nazim, Olexandr Leshchenko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

Received 8 July 2011; accepted 25 November 2011.

Abstract. Questions, touching experimental researches of simulation of icing process on the conductor of overhead lines, are considered in the article. For achievement of purpose of researches developed and constructed experimental setting on the base of climatic chamber of laboratory of tests of build constructions and buildings of the DonNACEA. The method of comparative tests of traditional bi-metallic conductors in aluminium and steel is developed with the new types of compacted conductors in a climatic chamber for simulation of icing in a wind stream. It is set that for 5–6th ice districts in accordance with Chapter 2.5 PUE: 2006 a role of torsion of the conductor on intensity of ice load will be substantial, and a difference in weight of ice for the different values of the stiffness in torsion of the conductor can arrive at 25 %. Job performances are needed for further researches, related to the study of the icing on the conductor, and also development of measures with the purpose of providing of accident-free work of OPTL at ice and wind loads.

Keywords: overhead power transmission lines (OPTL), icing, conductor, stiffness in torsion, experimental investigations.

Введение

Согласно исследованиям, проведенным в Украине и за рубежом, более 50 % аварий на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) происходят в результате гололедно-ветровых воздействий [1, 2]. Несмотря на многолетние усилия электроэнергетиков гололедные аварии в электрических сетях многих энергосистем по-прежнему относятся к наиболее тяжелым и периодически дезорганизуют электроснабжение регионов [3].

Физические условия образования гололедно-изморозевых отложений (ГИО) известны в достаточной мере [4, 5]. ГИО различают за следующими видами:

- кристаллическая изморозь (белый осадок, который состоит из кристаллов льда нежной тонкой структуры, плотностью от 0,01 до 0,12 г/см³);

- зернистая изморозь (снегоподобный осадок матово-белого цвета, который образуется из переохлажденных капель тумана и измороси, плотностью от 0,1 до 0,4 г/см³);
- гололед (слой матового или прозрачного стекловидного льда, который образуется во время быстрого изменения погоды из переохлажденных капель тумана или измороси или путем осаждения переохлаждающегося дождя, плотностью от 0,5 до 0,9 г/см³);
- мокрый снег (снег, который налипают на проводах при температурах, близких к 0 °С, в случае снижения температуры может создавать плотную муфту плотностью от 0,2 до 0,6 г/см³).

ГИО наблюдаются обычно при температурах близких к значению 0 °С в результате:

- осаждения и замерзания переохлажденных капель воды при наличии тумана, мороси, дождя;

- замерзания мокрого снега;
- сублимации водяного пара.

В процессе осаждения и замерзания переохлажденных капель воды образуется одностороннее гололедно-изморозевое отложение. Под действием эксцентриситета провод начинает закручиваться, обращая к несущему потоку необледеневшую сторону [6, 7]. Как правило, в итоге образуется ГИО с разной степенью эксцентриситетности.

Применение в мировой практике проводов новых типов вызвало необходимость исследования их характеристик, и в первую очередь – проверку заявленных производителями проводов склонности их к противодействию гололедообразованию и снижению гололедно-ветровых нагрузок на ВЛ в целом. Получившие в последнее время распространение за рубежом новые типы компактных проводов (АААС – conductors in aluminium alloy), а также секторных уплотненных сталеалюминиевых проводов по данным ряда исследований [8–11] доказывают свою эффективность по сравнению с традиционными сталеалюминиевыми проводами (ACSR – bi-metallic conductors in aluminium and steel), более известными в СНГ под маркой АС, при использовании на ВЛ в районах с повышенными гололедными и ветровыми нагрузками. При этом требуют детального изучения вопросы исследования влияния формы наружных повивов проводов, а также влияния крутильной жесткости проводов на процесс гололедообразования, для решения которых необходимо проведение сравнительных испытаний

образцов традиционных проводов АС с новыми типами проводов в климатической камере.

Основные задания разработки

Задачами работы являются создание экспериментальной установки для имитации образования гололедных отложений на проводах в ветровом потоке, а также разработка методики сравнительных испытаний образцов традиционных проводов (АС) с новыми типами проводов (Аеро-Z, AFLs и др.).

Представленные в статье исследования выполнены в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры в рамках научно-технической работы «Сравнительный анализ путем проведения стендовых испытаний образцов проводов разных марок с целью проверки возможности их противодействия гололедообразованию, установления их аэродинамических свойств и уточнения их механических характеристик» по заказу ГП УНИПИКТИ «Укрсельэнергопроект». В данной статье рассмотрены только вопросы, касающиеся исследований образования гололедных отложений на проводах в ветровом потоке.

Экспериментальная установка для исследований образования гололедных отложений на проводах в ветровом потоке

Основой для создания экспериментальной базы послужила климатическая камера ДонНАСА [12], которая для проведения данных исследований была модернизирована за счет дополнения следующим оборудованием (рис. 1–2):

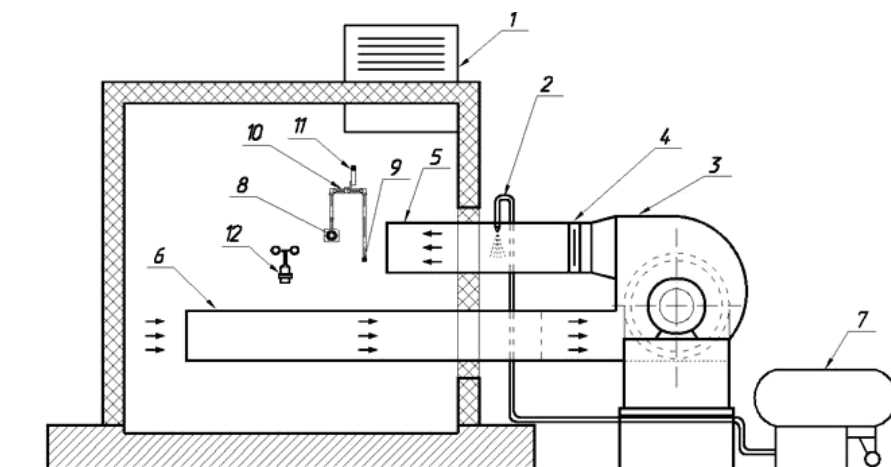


Рисунок 1. Схема установки: 1 – холодильная установка; 2 – блок форсунок; 3 – вентилятор; 4 – шиберная заслонка; 5 – нагнетательный воздушный канал; 6 – обратный воздушный канал; 7 – насосная станция; 8 – образец провода; 9 – эталонный стержень; 10 – тензодинамометр; 11 – датчик температуры воздуха; 12 – датчик скорости воздушного потока.

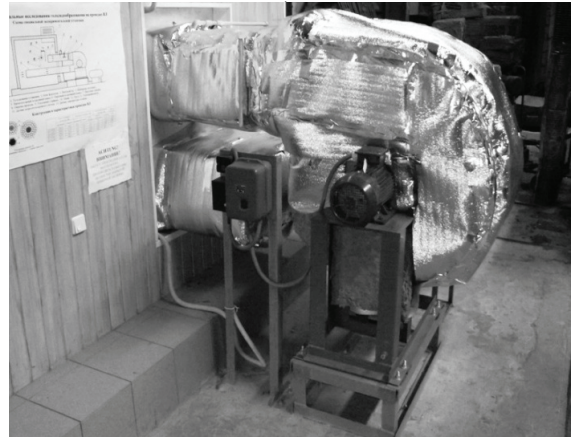
- вентилятор ВР 89-75-6,3, с электродвигателем 5,5 кВт и частотой вращения 1 500 об/мин, установленный перед холодным помещением климатической камеры и предназначенный для перемещения водно-воздушной смеси;
- нагнетательный воздушный канал между вентилятором и холодным помещением

- климатической камеры, предназначенный для транспортировки водно-воздушной смеси в зону испытываемых образцов;
- обратный воздушный канал, который проходит из холодного помещения климатической камеры к входному патрубку вентилятора и предназначен для поддержания баланса объема и температуры воздуха

а)



б)



в)



г)



д)



е)

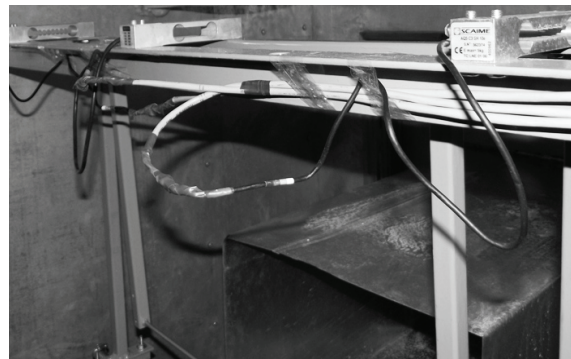


Рисунок 2. Экспериментальная установка: а – общий вид климатической камеры ДонНАСА; б – вентилятор, нагнетательный и обратный воздушные каналы с наружной теплоизоляцией; в – насосная станция и резервная емкость для воды; г – блок форсунок; д – холодильная установка (кондиционер); е – тензодинамометры, закрепленные на кронштейне и предназначенные для измерения веса гололедных отложений на образце провода (два крайних) и эталонном стержне (средний).

ха в холодном помещении климатической камеры;

- регулирующее устройство (шиберная заслонка), расположенное в начале нагнетательного воздушного канала и предназначенное для изменения скорости водно-воздушного потока, а также для пуска вентилятора без перегрузки электродвигателя;
- блок форсунок, установленный в нагнетательном воздушном канале и предназначенный для создания водно-воздушной смеси;
- насосная станция, предназначенная для подачи воды на форсунки;
- резервная емкость для воды;
- кронштейн для закрепления образцов проводов и эталонного стержня;
- тензодинамометры, закрепленные на кронштейне и предназначенные для измерения веса гололедных отложений на образце провода и эталонном стержне.



Рисунок 3. Провода марки АС: АС 150/24, АС 185/24, АС 240/32, АС 300/39, АС 450/56.

Методика сравнительных испытаний проводов на склонность к гололедообразованию

Описание образцов

Для испытаний приняты образцы из традиционных проводов марки АС, компактных проводов марки Аеро-Z и секторных проводов марки AFLs.

Для испытаний приняты по одному образцу провода каждого типа (см. рис. 3–4):

- марки АС (АС 150/24, АС 185/24, АС 240/32, АС 300/39, АС 450/56);
- марки Аеро-Z (177-1Z, 242-2Z, 301-2Z, 366-2Z, 504-2Z);
- марки AFLs (AFLs10-240).

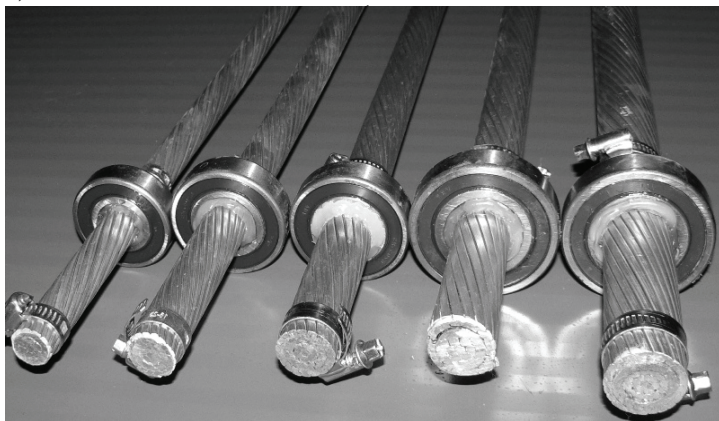
Длина образцов принята 840 мм, расстояние между закреплением в подвесах – 740 мм. С целью обеспечения возможности закручивания провода принято шарнирное крепление в подвесах за счет использования роликовых подшипников.

Размещение образцов

Образец провода устанавливается горизонтально на расстоянии 150 мм от среза нагнетательного воздушного канала и закреплен на подвесках, соединенных с 2-мя тензодинамометрами (рис. 5).

Эталонный (контрольный) стержень диаметром 5 мм расположен горизонтально и закреплен жестко на П-образной раме, соединенной с тензодинамометром. Стержень предназначен

а)



б)



Рисунок 4. Новые типы проводов: а – провода марки Аеро-Z (177-1Z, 242-2Z, 301-2Z, 366-2Z, 504-2Z); б – провод марки AFLs10-240.

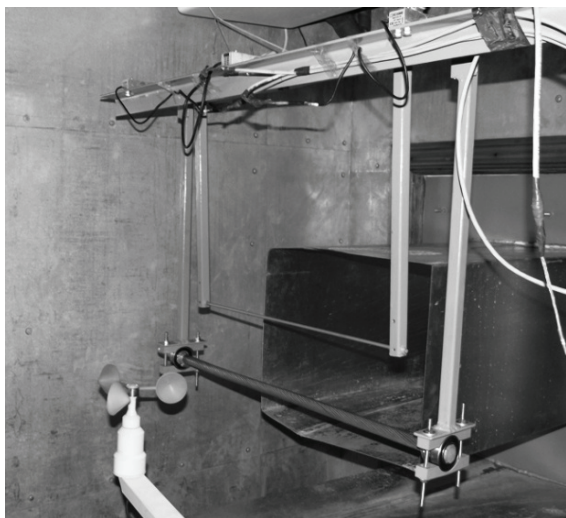


Рисунок 5. Размещение образца провода и эталонного стержня в зоне нагнетательного воздушного канала для транспортировки водно-воздушной смеси.

для сравнительного контроля веса гололедного отложения и представляет собой контрольный образец имитатора провода, аналогичного применяемым на метеостанциях и метеопостах [2].

Измерение контролируемых параметров

Мониторинг образования ГИО (рис. 6) осуществляется в SCADA-системе, построенной на базе многоканального универсального измерительно-управляющего периферического процессорного модуля OWEN TPM-138P.

С заданной периодичностью производится опрос значений температуры от датчика ТСМ-50, значений веса ГИО на эталонном стержне и

проводе за счет анализа порогового значения сигнала от 3-х датчиков веса SCAIME AQ-5. Вес образца провода суммировался по данным двух датчиков веса P1 и P3. Данные передавались через информационный шлюз АСЗ-м по RS-232.

Опыт начинался после предварительного охлаждения климатической камеры, включения вентилятора, форсунок для создания водного потока в нагнетательном канале и выхода на температурный режим в диапазоне $-4...-2$ °С (рис. 7), что соответствует природным условиям образования ГИО.

Программное обеспечение процессорного модуля OWEN TPM-138P позволяет сохранять данные, полученные с датчиков (рис. 10), в текстовом или табличном формате, что в свою очередь позволяет в дальнейшем их обрабатывать в удобной среде, например в MS Excel.

Предпосылки и этапы экспериментальных исследований

1. В эксперименте был принят тип гололедно-изморозевого отложения, представляющий наибольшую опасность для конструкций ВЛ и приводящий к наиболее масштабным отказам в электроэнергетике, – стекловидный гололед. Климатическая камера запроектирована с учетом требований необходимости моделирования именно данного типа ГИО (рис. 11).

2. На первом этапе работы были выполнены одновременные контрольные испытания двух одинаковых эталонных образцов (рис. 12), с целью подтверждения идентичных условий гололедообразования в зоне выхода нагнетательного канала.

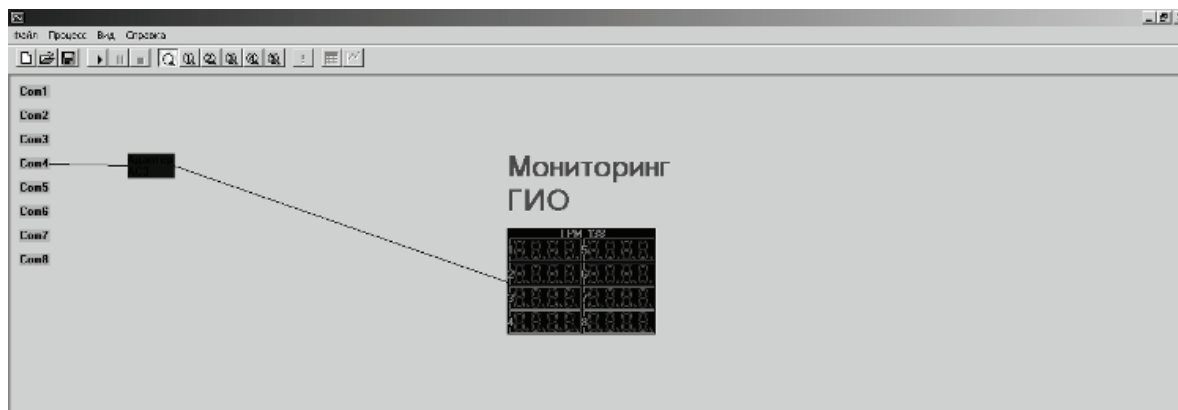


Рисунок 6. Начальное окно программы мониторинга ГИО.

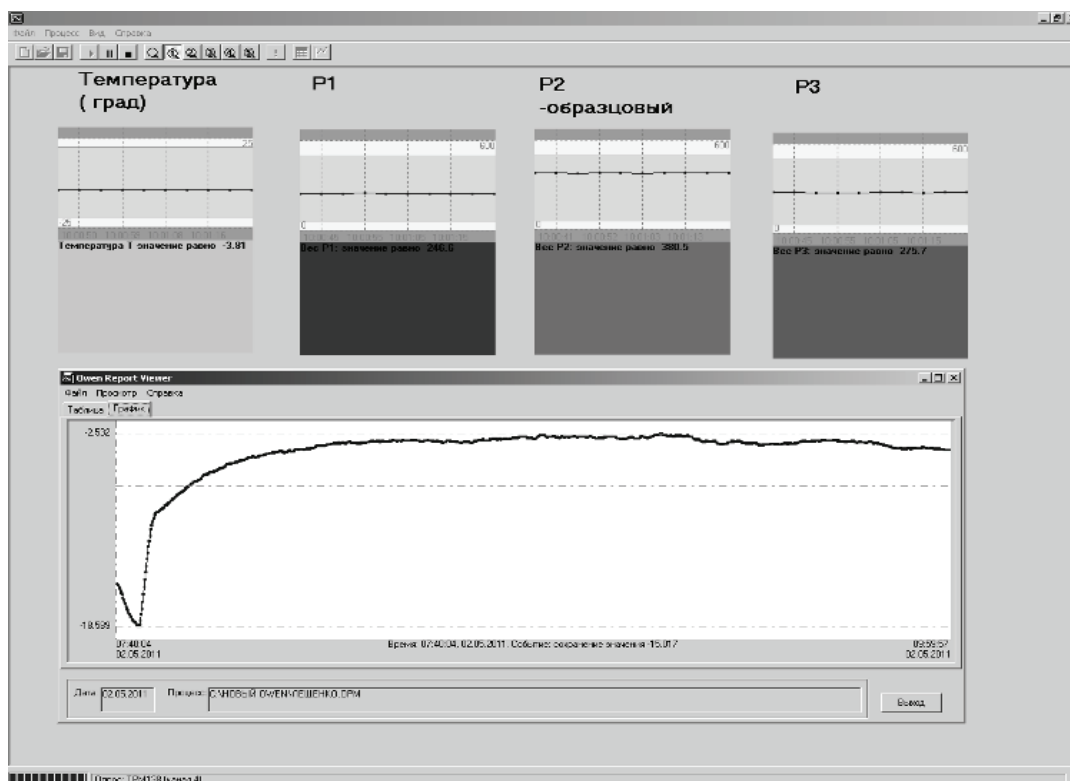


Рисунок 7. Выход на температурный режим.

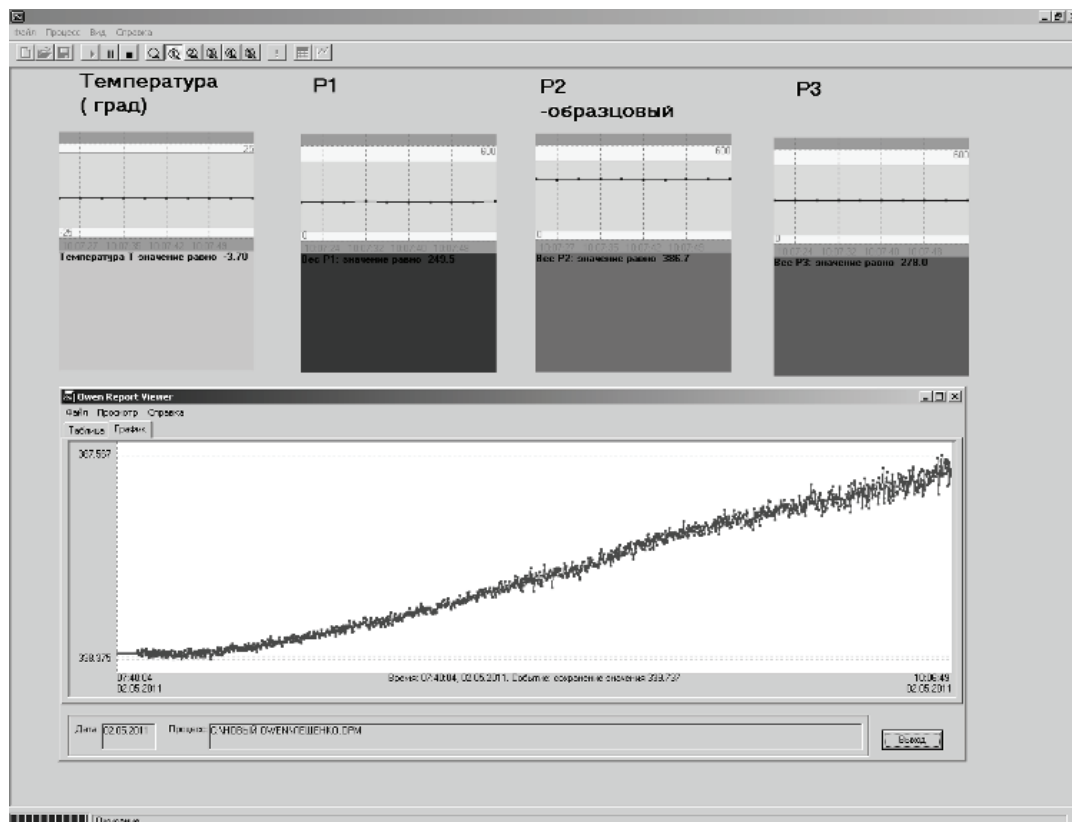


Рисунок 8. Контроль ГИО на эталонном стержне.

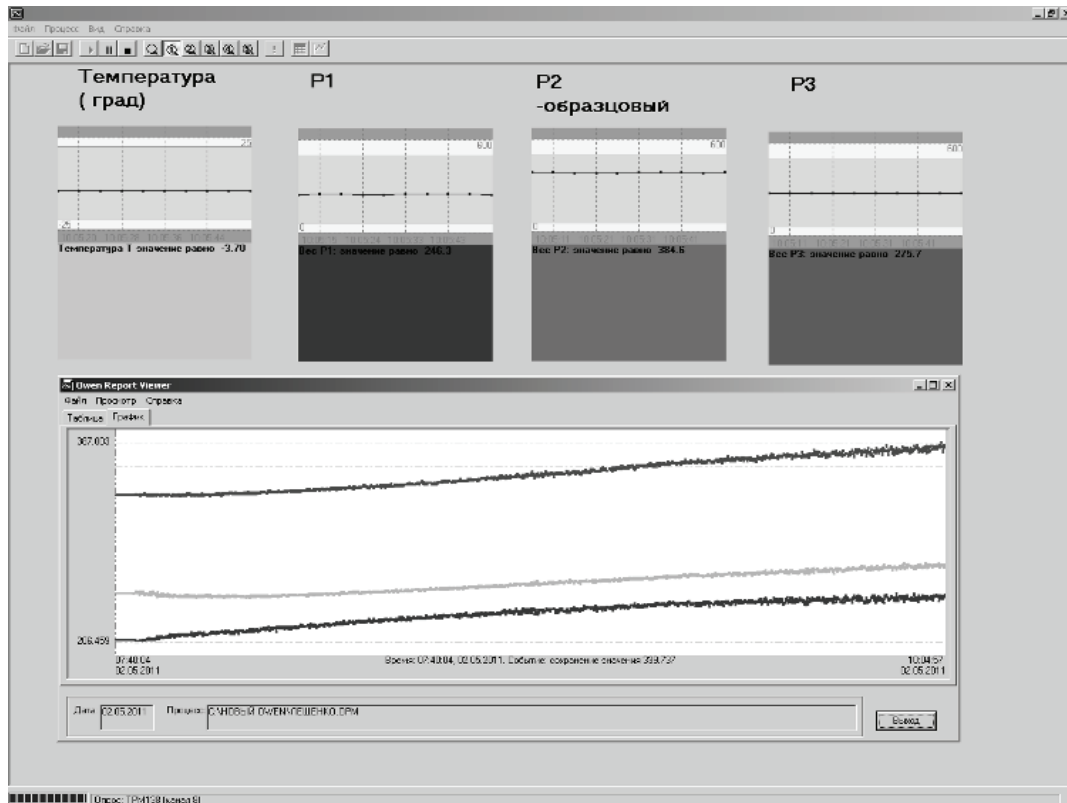


Рисунок 9. Мониторинг ГИО по 3-м датчикам: P2 – на эталонном стержне; P1 и P3 – на подвесах провода.

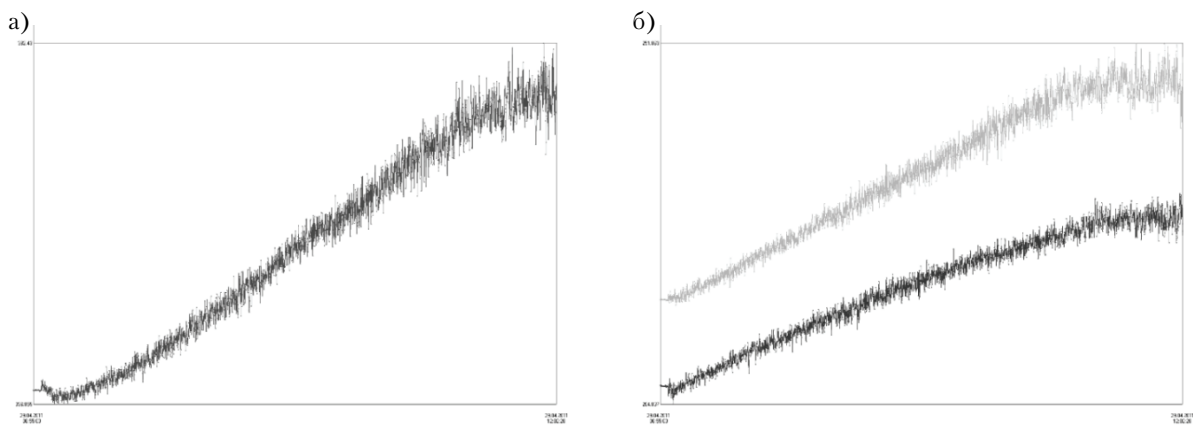


Рисунок 10. Отображение данных ГИО в среде Owen Process Manager: а – на эталонном стержне; б – на проводе.

3. При разработке методики эксперимента, прежде всего, необходимо было определить значимость фактора закручивания провода. Данный вид работы мог бы затребовать огромного количества образцов и проведения серии факторных экспериментов. Поэтому было принято решение об определении качественных зависимостей, характеризующих процесс гололедообразования для свободно вращающегося

провода и жестко закрепленного, а далее – количественная экспериментальная оценка всех заявленных в программе испытаний проводов для варианта закрепления, представляющего наибольшие нагрузки.

Поэтому на первой стадии был проведен эксперимент на проводе с жестко закрепленными концами, без возможности прокручивания (обжатие верхних повивов). На рис. 13 представлен

график изменения массы образца провода Аего-Z 177-1Z во времени за счет прироста гололедных отложений. Описание процесса образования ГИО на жестко закрепленном проводе было выполнено линейной аппроксимацией, а также полиномом второй степени.

На рис. 14 представлен график изменения массы образца провода Аего-Z 177-1Z в сравнении с контрольным стержнем.

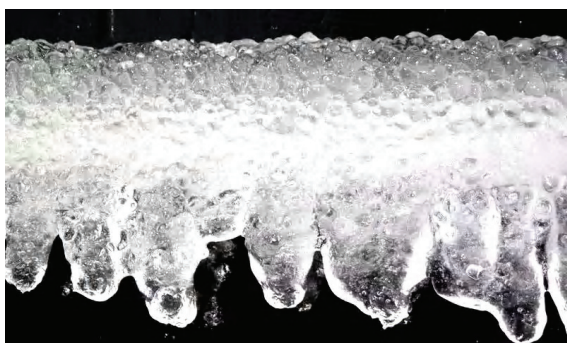
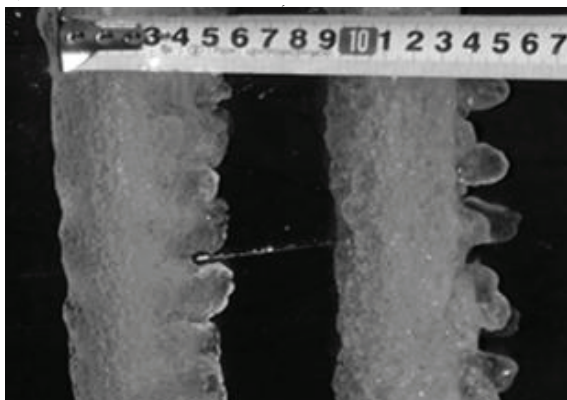
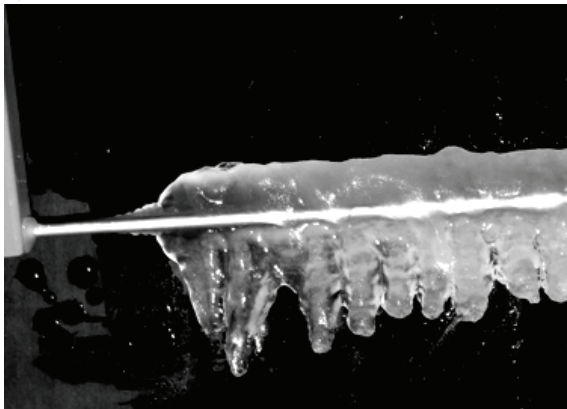


Рисунок 11. ГИО на эталонном стержне.

а)



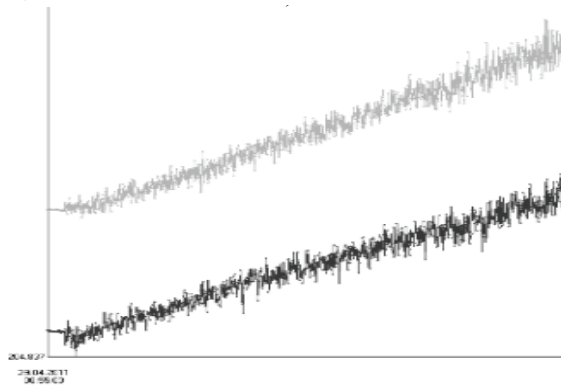
в)



Для достижения идентичности всех последующих экспериментов за окончание опыта принято значение ГИО на контрольном стержне 450 г (10 Н/м), что соответствует характеристическому значению гололеда 12 Н/м на проводе диаметром 10 мм (2-й гололедный район в соответствии с Главой 2.5 ПУЭ: 2006). При этом продолжительность одного опыта составляла около трех часов.

Далее, с целью сравнения формы и массы гололедного отложения, были выполнены аналогичные испытания этого же образца провода, но закрепленного шарнирно с возможностью свободного вращения вокруг своей оси за счет использования роликовых подшипников в креплении к подвесам. Фотофиксация образцов по ходу роста ГИО и результаты измерения массы образца в сравнении с контрольным стержнем представлены на рис. 15, 16. При этом дополнительно контролировался угол закручивания провода (рис. 17).

б)



г)

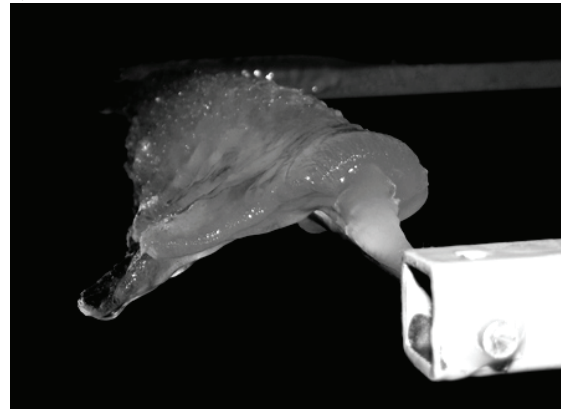


Рисунок 12. Одновременные контрольные испытания двух эталонных образцов: а – визуальный контроль ГИО; б – контроль в SCADA-системе по данным тензодинамометров; в, г – характер ГИО (односторонний гололед).

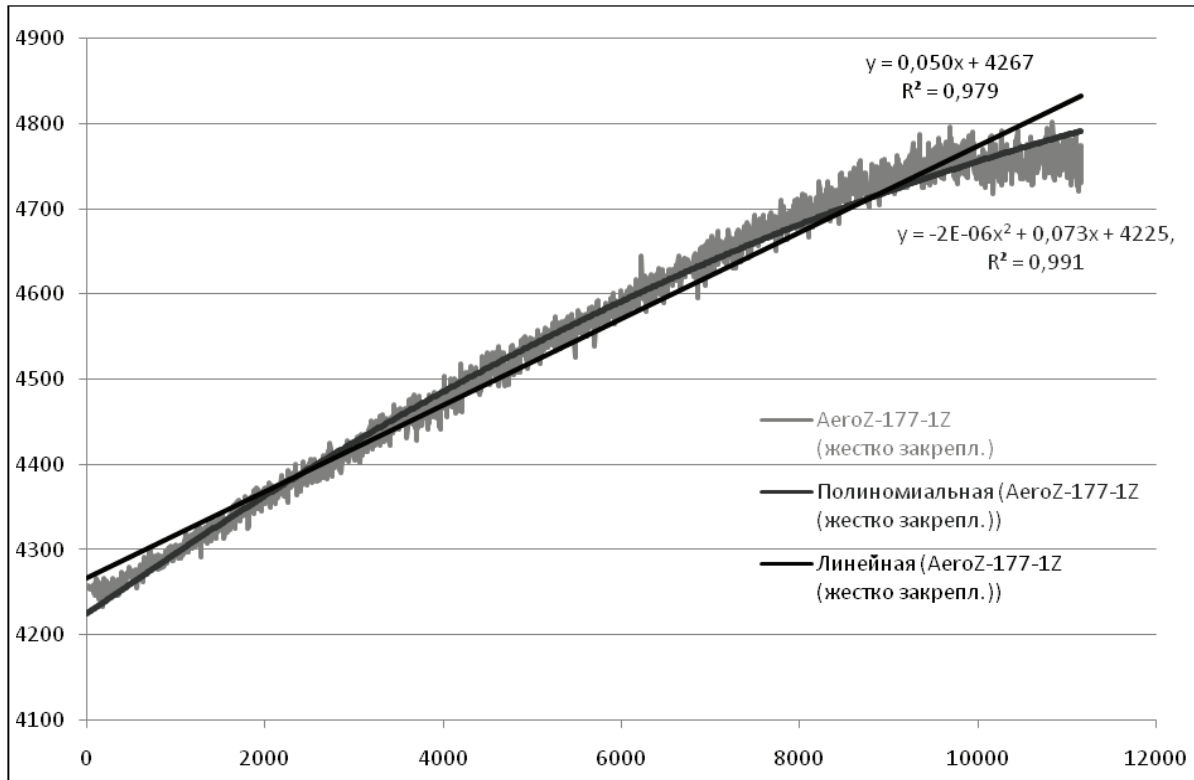


Рисунок 13. Изменение массы образца провода Аеро-Z 177-1Z (z) во времени (c).

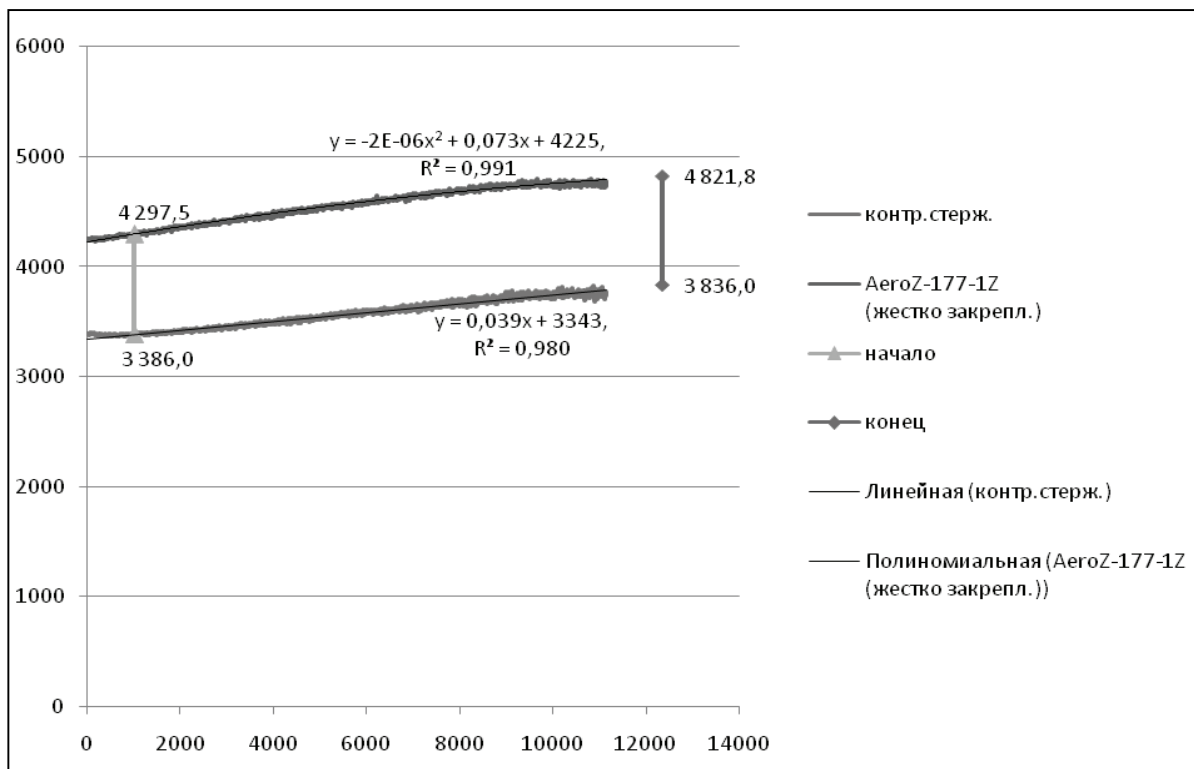


Рисунок 14. Изменение массы образца жестко закрепленного провода Аеро-Z 177-1Z (z) во времени (c) за счет гололедных отложений (в сравнении с контрольным стержнем).

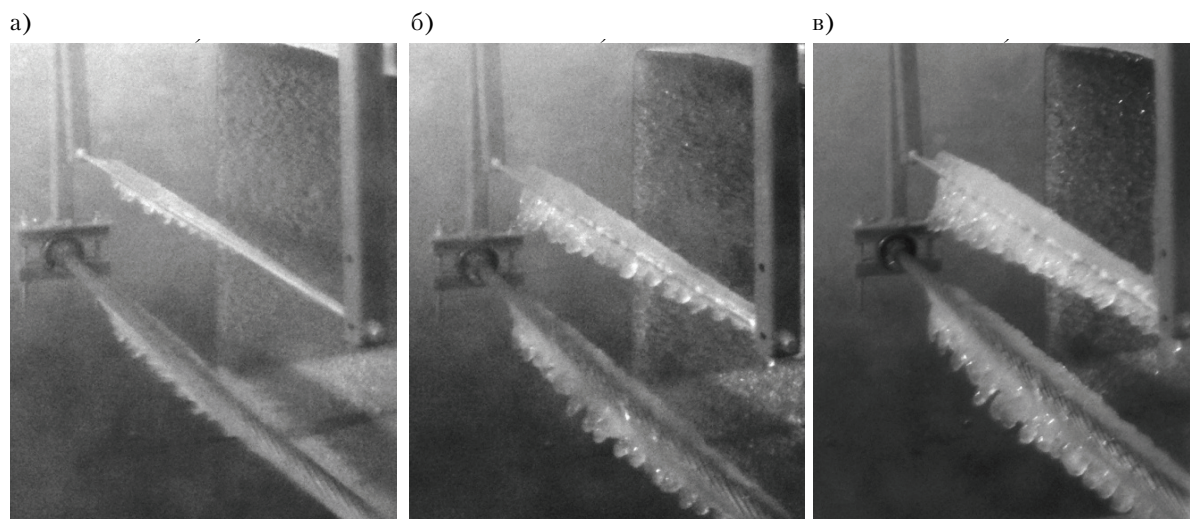


Рисунок 15. Фотофиксация образцов по ходу роста ГИО: а – через 30 мин от начала гололедообразования; б – то же через 90 мин; в – то же через 150 мин.

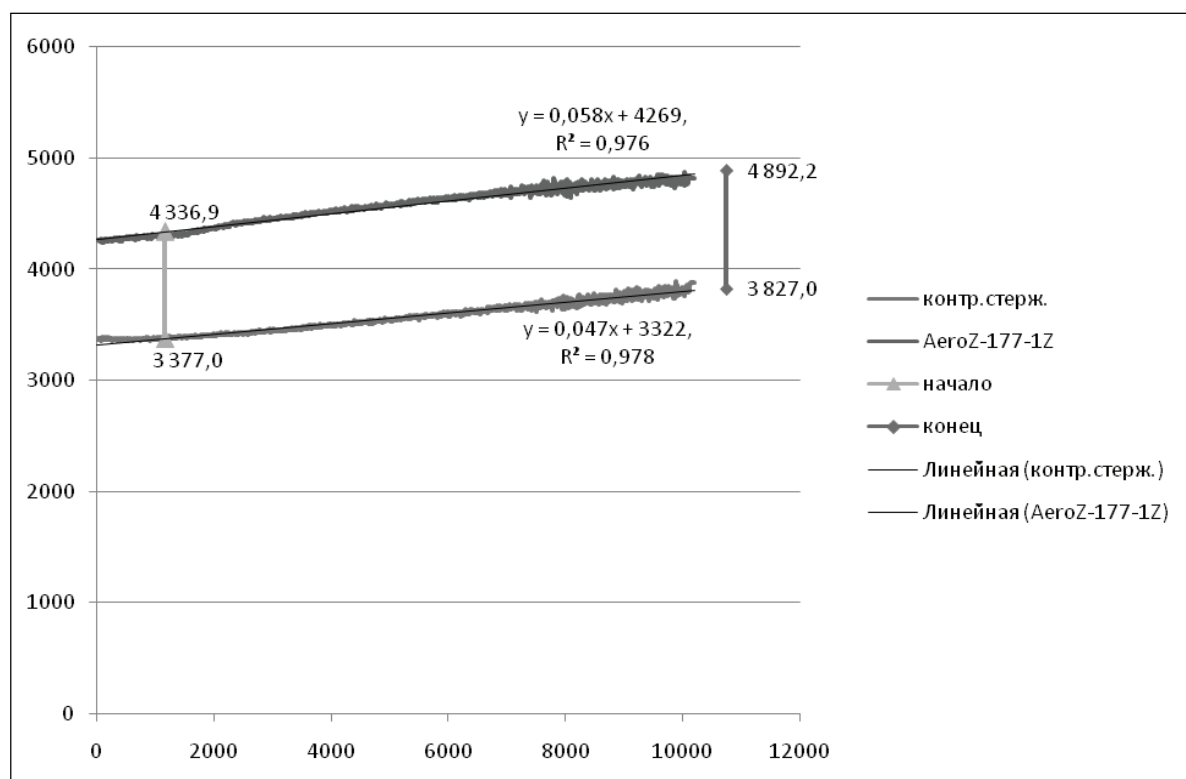


Рисунок 16. Изменение массы образца шарнирно закрепленного провода Аеро-Z 177-1Z (z) во времени (с) за счет гололедных отложений (в сравнении с контрольным стержнем).

На рис. 18 представлено изменение массы для двух образцов провода Аеро-Z 177-1Z, жестко и свободно закрепленных. Описание процесса образования ГИО на свободно закрепленном проводе было выполнено линейной аппроксимацией. Как видно из графика, при достижении веса ГИО на контрольном

стержне равного 10 Н/м, разница в значениях веса ГИО на образце провода составляет менее 1,5 %. Таким образом, можно предположить, что для 1–4-го гололедных районов в соответствии с Главой 2.5 ПУЭ: 2006 [13], роль закручивания провода на интенсивность гололедообразования будет незначительной.

Очевидно, что для 5–6-го гололедных районов данный фактор будет существенным, и разница в весе ГИО для разных значений крутильной жесткости провода может достигать 25 %.

Заключение

Вопрос гололедообразования на проводах требует более тщательного изучения, проведения факторного эксперимента на большом количестве образцов проводов для достижения высокой степени достоверности и обоснования количественной оценки фактора закручивания на вес ГИО.

Тем не менее, поскольку по результатам полевых наблюдений форма ГИО в центре пролета имеет каплевидный, а чаще односторонний характер, что соответствует полученной форме ГИО на контрольном стержне и проводе в ходе эксперимента, а также с учетом сложившейся практики проектирования в запас надежности и принимая во внимание, что при закручивании провода вес ГИО получается

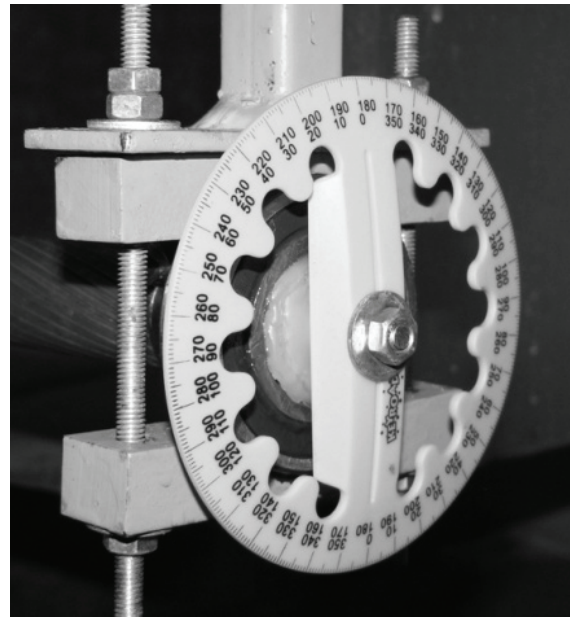


Рисунок 17. Контроль угла закручивания провода.

больше, чем при жестком креплении, принято решение о проведении дальнейших опытов на шарнирно подвешенных образцах.

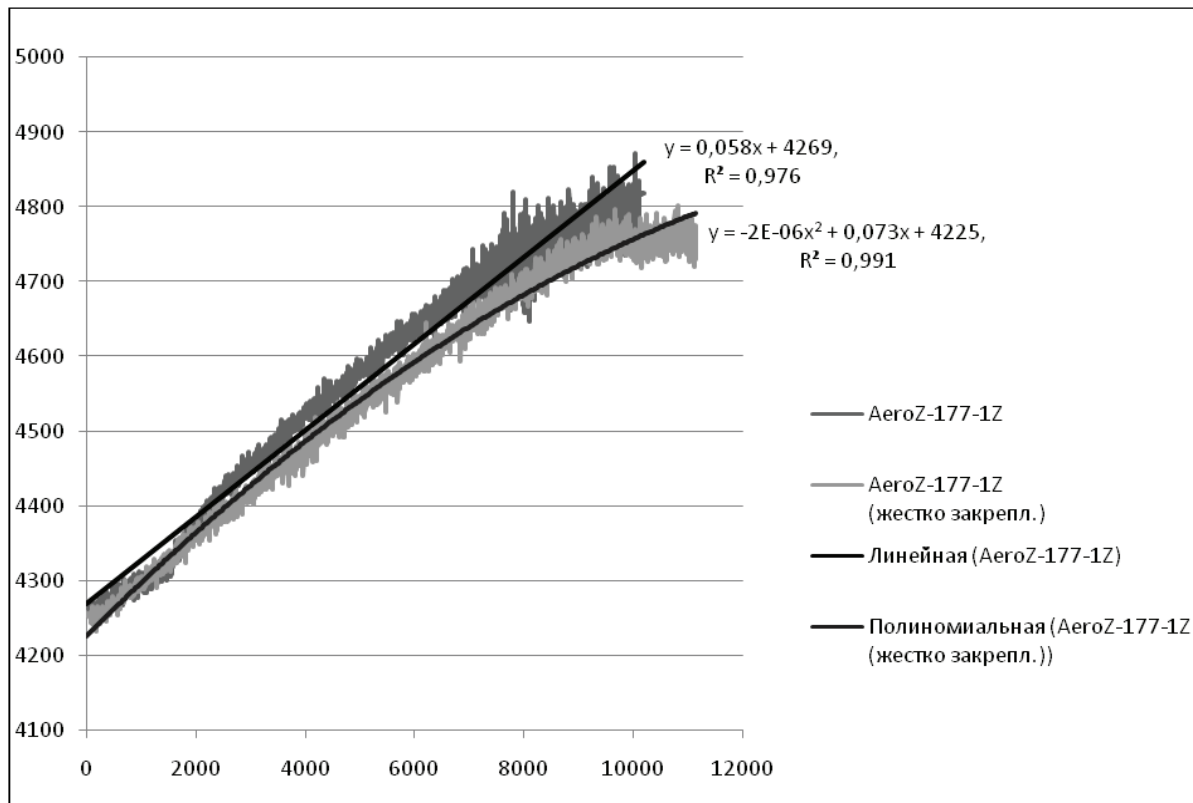


Рисунок 18. Изменение массы для двух образцов провода Aero-Z 177-1Z (z) во времени (c) за счет гололедных отложений (жестко и свободно закрепленных).

Литература

1. Аэродинамика электросетевых конструкций : Монография [Текст] / [Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, Я. В. Назим]; под ред. Е. В. Горохова, М. И. Казакевича. – Донецк : [б. и.], 2000. – 336 с.
2. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи : Монография [Текст] / [Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим]; под ред. Е. В. Горохова. – Донецк : [б. и.], 2005. – 348 с.
3. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» [Текст] / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.] // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 2. – С. 75–92.
4. Заварина, М. В. Строительная климатология [Текст] / М. В. Заварина. – М. : Гидрометеиздат, 1976. – 312 с.
5. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения : Монография [Текст] / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, М. А. Микитаренко [и др.]; под ред. А. В. Перельмутера. – К. : Сталь, 2005. – 500 с.
6. Назим, Я. В. Модернизация устройства измерения гололедной нагрузки для метеопостов [Текст] / Я. В. Назим, А. А. Лещенко // Металеві конструкції. – 2008. – Том 14, № 3. – С. 169–180.
7. Назим, Я. В. Исследования крутильной жесткости проводов для воздушных линий электропередачи [Текст] / Я. В. Назим // Металеві конструкції. – 2011. – Том 17, № 3. – С. 199–215.
8. Increasing the ampacity of overhead lines using homogeneous compact conductors [Текст] / M. Gaudry, F. Chore, C. Hardy, E. Ghannoum // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-201. Paris, 1998.
9. Improvement of existing high voltage overhead lines performance by using fully locked conductors and ground wires [Текст] / P. Couneson, J. Lamsoul, D. Delplanque [et al.] // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-209. Paris, 1998.
10. Experience with occasional and permanent measurements on Belgian overhead lines [Текст] / J. Rogier, L. Goossens, J. L. Lilien [et al.] // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-104. Paris, 1998.
11. Belgian experience on initiatives to improve the capability of existing overhead lines [Текст] / J. Lamsoul, J. Rogier, P. Couneson, A. Van Overmeere // CIGRE 2000 session documentation. Report CIGRE 22-206. Paris, 2000.
12. Горохов, Е. В. Методика имитации гололеда на несущие профили антенных опор в климатической камере [Текст] / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, А. М. Алехин // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 2. – С. 123–133.
13. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» / Міністерство палива та енергетики України. – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).

References

1. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Kazakevich, M. I. (Ed.); Shapovalov, S. N.; Nazim, Ya. V. Aerodynamics of the power supply structures. Monograph. Donetsk, 2000. 336 p. (in Russian)
2. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Kazakevich, M. I.; Turbin, S. V.; Nazim, Ya. V. Wind and ice loading on overhead poer transmission lines. Monograph. Donetsk, 2005. 348 p. (in Russian)
3. Gorokhov, Ye. V.; Bakaev, S. N.; Nazim, Ya. V. [et al.] Failure cause and consequence analysis at the highb voltage (330 kV) line sections of the Dzhan koy local electrical power station of the Crimean electrical power system of the NEC «Ukrenergo». In *Metal Constructions*, 2010, Том 16, No. 2, p. 75–92. (in Russian)
4. Zavarina, M. V. Building climatology. Moscow: Gidrometeoizdat, 1976. 312 p. (in Russian)
5. Gordeev, V. N.; Lantuh-Liashchenko, A. I.; Miki-tarenko, M. A. Ed. A. V. Perelmuter. Loads and loading on buildings and structures. Monograph. Kyiv: Stal, 2005. 500 p. (in Russian)
6. Nazim, Ya. V.; Leshchenko, A. A. Modernization of a weather post device to measure ice loading. In *Metal Constructions*, 2008, Том 14, No. 3, p. 169–180. (in Russian)
7. Nazim, Ya. V. Researches torsional rigidity of wires for electricity transmission air-lines. In *Metal Constructions*, 2011, Том 17, No. 3, p. 199–215. (in Russian)
8. Gaudry, M.; Chore, F.; Hardy, C.; Ghannoum, E. Increasing the ampacity of overhead lines using homogeneous compact conductors. In *CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-201*. Paris, 1998.
9. Couneson, P.; Lamsoul, J.; Delplanque, D.; Capelle, T.; Havaux, M.; Guéry, D.; Delrée, X. Improvement of existing high voltage overhead lines performance by using fully locked conductors and ground wires. In *CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-209*. Paris, 1998.
10. Rogier, J.; Goossens, L.; Lilien, J. L.; Wolfs, M.; Van Overmeere, A.; Lugentz, L. Belgian experience on initiatives to improve the capability of existing overhead lines. In *CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-104*. Paris, 1998.
11. Lamsoul, J.; Rogier, J.; Couneson, P.; Van Overmeere, A. Belgian experience on initiatives to improve the capability of existing overhead lines. In *CIGRE 2000 session documentation. Report CIGRE 22-206*. Paris, 2000.
12. Gorokhov, Ye. V.; Vasylev, V. N.; Alyokhin, A. N. The procedure of ice simulation onto antenna support bearing profiles in the climatic chamber. In *Metal Constructions*, 2010, Том 16, No. 2, p. 123–133. (in Russian)
13. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1 kV to 750 kV». Kyiv: OEP «GRIFRE», 2006. 125 p. (in Ukrainian)

Назім Ярослав Вікторович – к. т. н., проректор з міжнародних зв'язків, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, Міжнародної асоціації з великих систем енергетики – CIGRE. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережних конструкцій, динамічні впливи на будівельні конструкції електромереж.

Лещенко Олександр Олександрович – аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: особливості вітрових і ожеледних впливів на повітряні лінії електропередавання.

Назім Ярослав Викторович – к. т. н., проректор по международным связям, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Международной ассоциации по большим системам энергетики – CIGRE. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, динамические нагрузки на строительные конструкции электросетей.

Лещенко Александр Александрович – аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: особенности ветровых и гололедных воздействий на воздушные линии электропередачи.

Yaroslav Nazim – PhD (Eng), a Vice-rector in the International Relations, a Associate Professor of Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Association of Metal Construction, Member of the CIGRE. Research interests: include operational characteristics, the longevity and the reliability of power supply structures, dynamic loads on structures of overhead lines.

Olexandr Leshchenko – graduate student of Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: include the wind and ice loadings and influences on the overhead power transmission lines.