



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

N2, ТОМ 16 (2010) 123-133

УДК 624.97:620.91

(10)-0214-1

МЕТОДИКА ІМІТАЦІЇ ОЖЕЛЕДІ НА ТРИМАЛЬНІ ПРОФІЛІ АНТЕННИХ ОПОР В КЛІМАТИЧНІЙ КАМЕРІ

Є. В. Горохов, В. М. Василев, А. М. Альохін

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

E-mail: alyokhin_20@mail.ru, andrey-alyochin@rambler.ru

Отримана 11 квітня 2010; прийнята 23 квітня 2010

Анотація. У статті приведена методика імітації ожеледі на тримальні профілі антенних опор в кліматичній камері ДонНАБА. Розроблений випробувальний стенд і приладова база для вивчення дійсних ожеледних відкладень на кутникові профілі різного перерізу при напрямках вітру 45° і 90° для вивчення коефіцієнта обмерзання μ_2 . Для створення випробувального стенду імітації ожеледних відкладень імітувалися умови так, щоб масштабні коефіцієнти швидкості і напрямку вітру, діаметра крапель, температури зовнішнього повітря і перерізу профілю, що характеризують умови подібності модельного і натурного процесу осадження хмарних крапель, одержані шляхом рішення математичної задачі, були виконані в масштабі 1:1. Тому для вирішення поставленої задачі була запроєктована і створена кліматична камера ДонНАБА. Представлена методика дозволяє проводити модельні ожеледно-вітрові випробування і в подальшому визначати тримальну здатність, деформативність, механічну міцність і власні частоти коливальних і резонансу антенних опор під дією ожеледно-вітрових впливів з уточненим коефіцієнтом μ_2 .

Ключові слова: антенна опора, ожеледь, вітер, кліматична камера, кутник, методика, випробування, ожеледно-вітрові впливи, коефіцієнт μ_2 , випробувальний стенд, програма випробувань, форсунки.

МЕТОДИКА ИМИТАЦИИ ГОЛОЛЕДА НА НЕСУЩИЕ ПРОФИЛИ АНТЕННЫХ ОПОР В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, А. М. Алехин

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

E-mail: alyokhin_20@mail.ru, andrey-alyochin@rambler.ru

Получена 11 апреля 2010; принята 23 апреля 2010

Аннотація. В статті приведена методика імітації гололеда на несущі профілі антенних опор в кліматическій камері ДонНАСА. Розробтан іспытательний стенд і приборная база для изучения действительных гололедных отложений на уголковые профіли различного сечения при направлениях ветра 45° и 90° для изучения коэффициента обледенения μ_2 . Для создания испытательного стенда имитации гололедных отложений имитировались условия таким образом, чтобы масштабные коэффициенты скорости и направления ветра, диаметра капель, температуры наружного воздуха и сечения профиля, характеризующие условия подобия модельного и натурального процесса осаднения облачных капель, полученные путем решения математической задачи, были выполнены в масштабе 1:1. Поэтому для решения поставленной задачи была запроєктирована и создана климатическая камера ДонНАСА. Представленная методика позволяет проводить модельные гололедно-ветровые испытания и в последующем определять несущую способность, деформативность, механическую прочность

и собственные частоты колебаний и резонанса антенных опор под действием гололедно-ветровых воздействий с уточненным коэффициентом μ_2 .

Ключевые слова: антенная опора, гололед, ветер, климатическая камера, уголок, методика, испытание, гололедно-ветровые воздействия, коэффициент μ_2 , испытательный стенд, программа испытаний, форсунки.

THE PROCEDURE OF ICE SIMULATION ONTO ANTENNA SUPPORT BEARING PROFILES IN THE CLIMATIC CHAMBER

Ye. V. Horokhov, V. N. Vasylev, A. N. Alyokhin

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Derzavin str. 2, Makeyevka, Ukraine, 86123.*

E-mail: alyokhin_20@mail.ru, andrey-alyochin@rambler.ru

Received 11 april 2010; accepted 23 April 2010

Abstract. The article is devoted to the procedure of ice simulation onto antenna support bearing profiles in the climatic chamber of the DonNACEA. There was developed a test bench and mounting base to study real coatings of ice on angles of different cross-section at wind directions 45° and 90° to study icing factor μ_2 . To develop the test bench of ice coating imitation, the conditions were simulated in such a way that scale coefficients of wind velocity and direction, of drop diameter, of outdoor temperature and profile section which characterize the similarity conditions of the model and natural processes of deposition of cloud drops obtained by solving a mathematical problem were performed in the scale 1:1. So, to solve a targeted problem there was designed and created a climatic chamber in the DonNACEA. The procedure represented allows performing model ice-wind tests and then to determine carrying capacity, deformability, mechanical strength and antenna support natural frequency of oscillations and resonance under ice-wind effects with a specified coefficient μ_2 .

Keywords: antenna support, icing, wind, climatic chamber, angle, procedure, testing, ice-wind effects, coefficient μ_2 , test bench, test program, nozzles.

Введение

Отличительной особенностью всех высотных сооружений является доминирующее влияние на их напряженное состояние метеорологических факторов — ветровой нагрузки, обледенения, температуры. Особенно сильно сказываются метеорологические факторы на антенные опоры радиорелейной связи. В настоящее время существует методика расчета антенных опор, но малоизученно влияние гололедно-ветровой нагрузки на плоскостные элементы решетчатых башен, а именно влияние коэффициента обледенения μ_2 . Поэтому для изучения данной проблемы произведен анализ аварий решетчатых опор под действием статических (ветровых, гололедных и сочетания гололедно-ветровых) и динамических нагрузок.

1 Испытательный стенд и приборная база для проведения испытаний

Для создания испытательного стенда имитации гололедных отложений необходимо создать условия таким образом, чтобы масштабные коэффициенты скорости и направления ветра, диаметра капель, температуры наружного воздуха и сечения профиля, характеризующие условия подобия модельного и натурального процесса осаждения облачных капель, полученные путем решения математической задачи, были выполнены в масштабе 1:1 [2, 4]. Поэтому для решения поставленной задачи была запроектирована и создана климатическая камера ДонНАСА (далее "Камера") [3].

Камера с размерами в плане 3×6 м и высотой 3 м, выполнена в виде блока из трёх помещений:

холодной камеры 1, теплой камеры 2 и операторской комнаты, 3 представлена на рис. 1.

Испытательный стенд принят из учета холодной $t_{н} = -25^{\circ}\text{C}$ и теплой $t_{н} = +27,6^{\circ}\text{C}$ пятидневков для г. Донецка по СНиП 2.01.01-85 "Строительная климатология и геофизика" [7].

Технологическое оборудование камеры позволяет создавать температуру наружного воздуха, подобную натуре, с диапазоном температур от $+40^{\circ}\text{C}$ до -45°C с помощью холодильной установки — компрессора 3 марки VL-75, регулируемого программным комплексом "Овен 2.04". Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

Профили подвешиваются на рычаг 4, который предназначен для передачи нагрузки от собственного веса профиля и веса гололеда на электронный динамометр 5 с максимальным измеряемым усилием $N=5$ кг. Общий вид испытательной установки представлен на рис. 3.

Перед началом испытаний измеряются геометрические размеры элементов (длина, сече-

ние элемента) измерительными инструментами: штангенциркулем с ценой деления 0,1 мм и металлической линейкой 50 см (100 см). Все измерительные инструменты прошли предварительную госповерку.

Главное условие создания гололеда — имитация водности облака в камере с рассеиванием капель подобным туману, мороси, облачности и дождю, происходящих в реальных условиях [1, 2, 4]. Поэтому для решения поставленной задачи были разработаны пневмоэжекторные и центробежные форсунки 6 [6, 8].

Шаг размещения форсунок по ширине и высоте на коллекторе распыла аэрозольной системы выбран таким образом, чтобы в зоне рабочей части камеры получить равномерное капельное облако. Размеры поперечного сечения искусственного облака при аэрозольной системе получены по ширине — 1200 мм, по высоте — 800 мм. Питание форсунок водой осуществлялось из резервуара путем вытеснения воды сжатым воздухом, поступающим от независимого

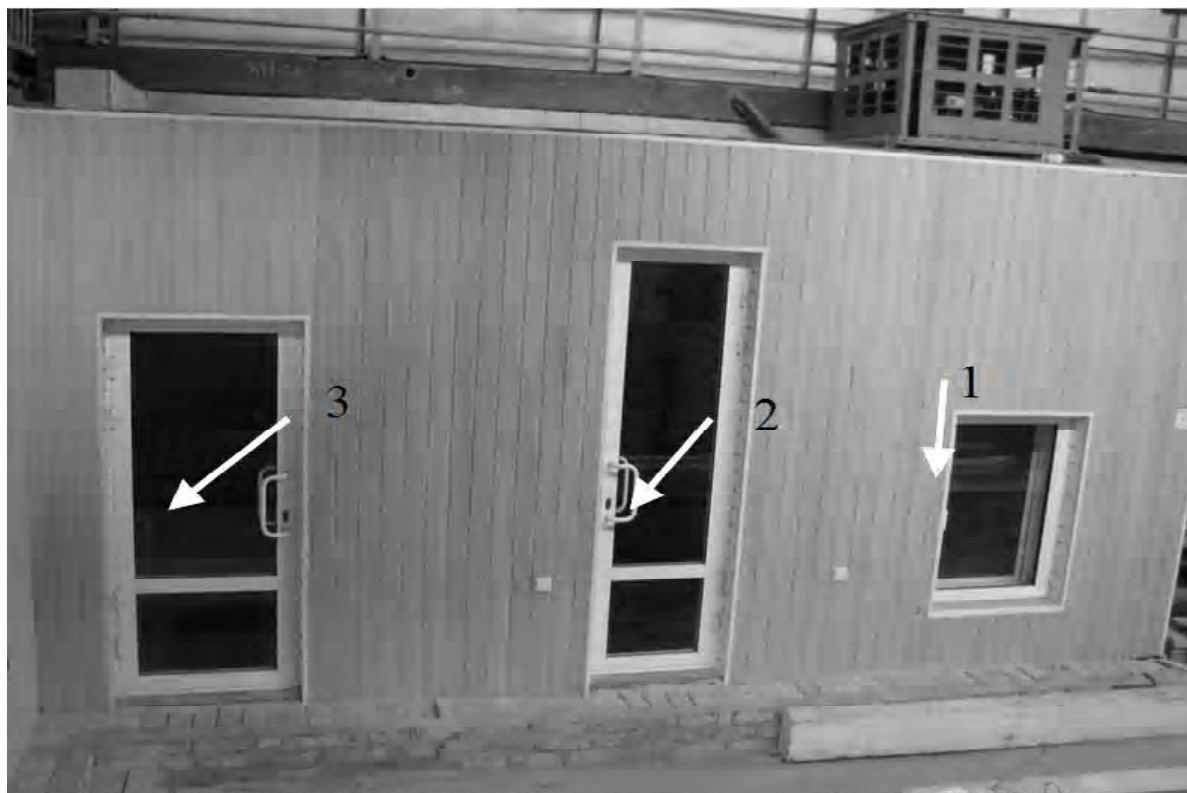


Рис. 1. Общий вид климатической камеры ДонНАСА: 1) холодная камера; 2) теплая камера; 3) операторская комната.

малопроизводительного компрессора 8. Вода поступала в сопла форсунок по трубкам сечением $\text{Ø}8\text{-}14$ мм, вокруг которых на всем протяжении от резервуара до форсунок подавался нагретый сжатый воздух. Такой способ подачи воды в форсунки при низкой температуре внешней среды предотвращал замерзание воды в коллекторе.

Также для рассеивания облачных капель применялся распылитель 7, со съёмными соплами, позволяющими создавать диаметры капель от 0,2 до 3,0 мм.

Давление в распылитель подавалось промышленным компрессором 8, находящимся в теплой камере. Скорость и направление ветра на профиль 1 осуществлялось ветровой установкой 9 с диапазоном изменения скоростей 0,3...25,0 м/сек. Перед началом испытаний ветровая установка прошла тарировку на цифровом анемометре марки АП-1. Полученные значения с цифрового анемометра с поправочным коэффициентом переносились на механический анемометр 11. Показания о текущих значениях,

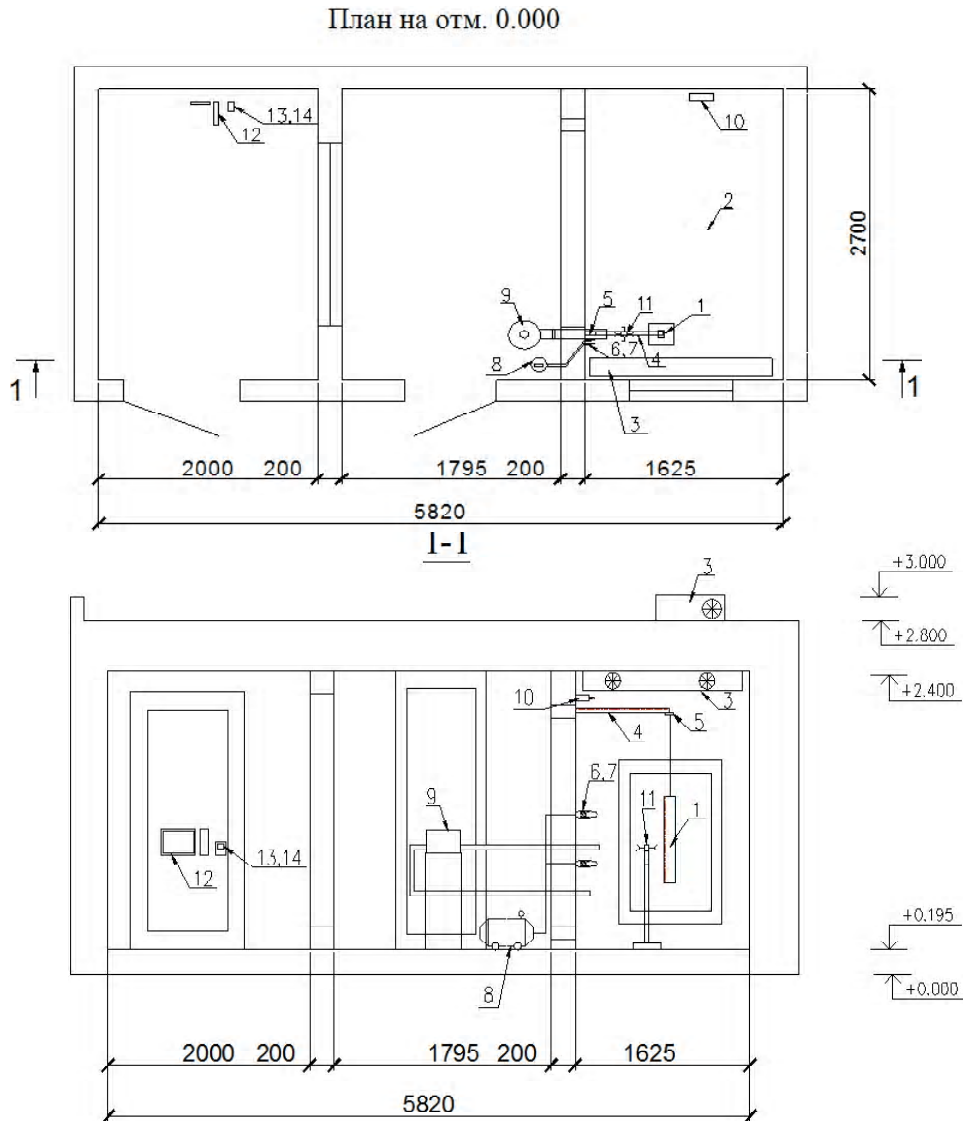


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1) испытуемый профиль; 2) холодная камера; 3) компрессор BL-75; 4) рычаг; 5) электронный динамометр; 6) форсунки; 7) распылитель; 8) компрессор; 9) ветровая установка; 10) датчик температуры и влажности; 11) анемометр; 12) персональный компьютер; 13) регулятор ТРМ138; 14) приборы СИ-8, ПКП-1.



Рис. 3. Общий вид испытательной установки.

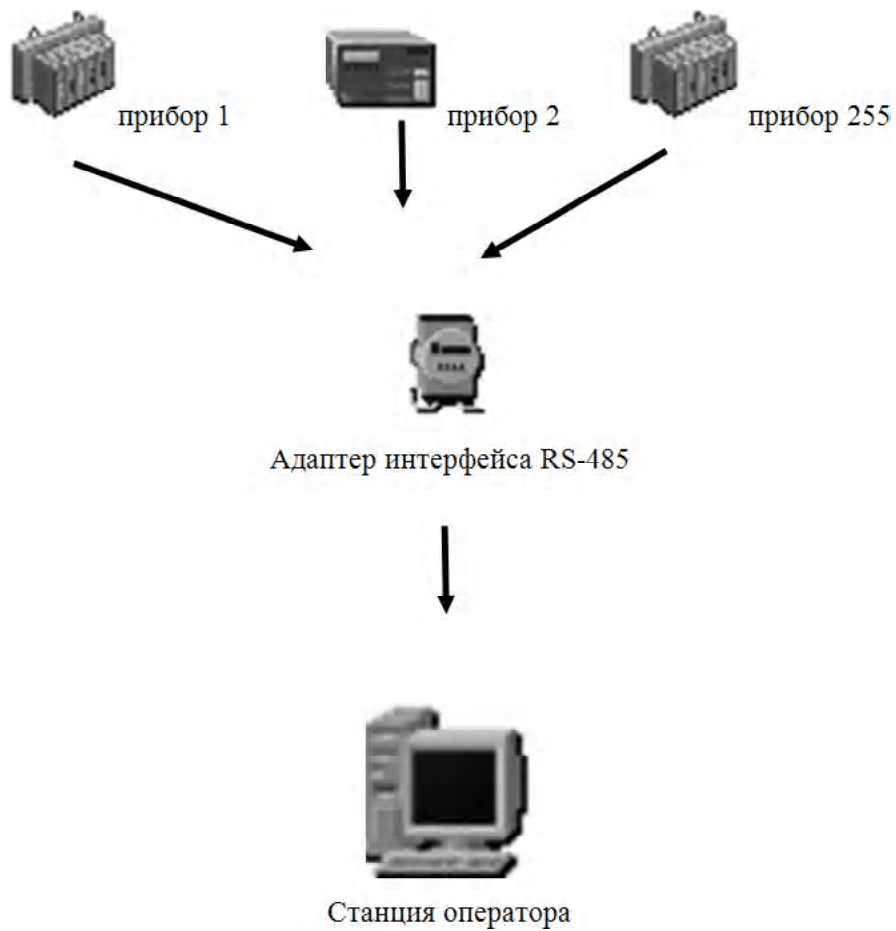


Рис. 4. Система "Овен 2.04" при подключении приборов через адаптер RS-485.



Рис. 5. Блок-схема имитации гололеда в камере.

контролируемые датчиками температуры, влажности 10, анемометром 11 и электронным динамометром 5, расположенные в холодном помещении камеры, поступали на персональный компьютер 12, установленный в операторской камере, и записывались программным комплексом "Овен 2.04", работающим в среде WINDOWS XP, через групповой коммутатор.

Система Овен — это система сбора данных, которая позволяет отслеживать в реальном времени показания различных приборов, подключенных к компьютеру, а также сигнализировать о выходе параметров за допустимые пределы, накапливать историю изменения параметров во времени и просматривать эту историю в виде графиков и таблиц событий. Система Овен состоит из двух независимых подсистем:

1. Подсистема Owen Process Manager используется для разработки описаний технологических процессов и сохранения этих описаний на диске для последующего использования. В ней также осуществляется запуск процессов на исполнение, что предусматривает

опрос всех приборов с периодичностью, отдельно задаваемой для каждого прибора, отображение результатов этого опроса в главном окне системы, а также сброс получаемых значений в файлы протокола.

2. Подсистема Owen Report Viewer обеспечивает отображение сохраненной в файлах рапорта информации в виде настраиваемых пользователем таблиц и графиков.

При проведении эксперимента использовался адаптер интерфейса AC-3 (RS-485), к которому подключались универсальный многоканальный регулятор ТРМ138 13 и приборы СИ-8, ПКП-1 14 (рис. 4).

2 Этапы и стадии испытаний

Экспериментальная установка позволяет производить испытания при различных геометрических параметрах профилей. Процесс испытаний был разбит на 7 этапов, состоящий из 63-х стадий. На каждом из этапов производилось изменение температуры наружного воздуха,

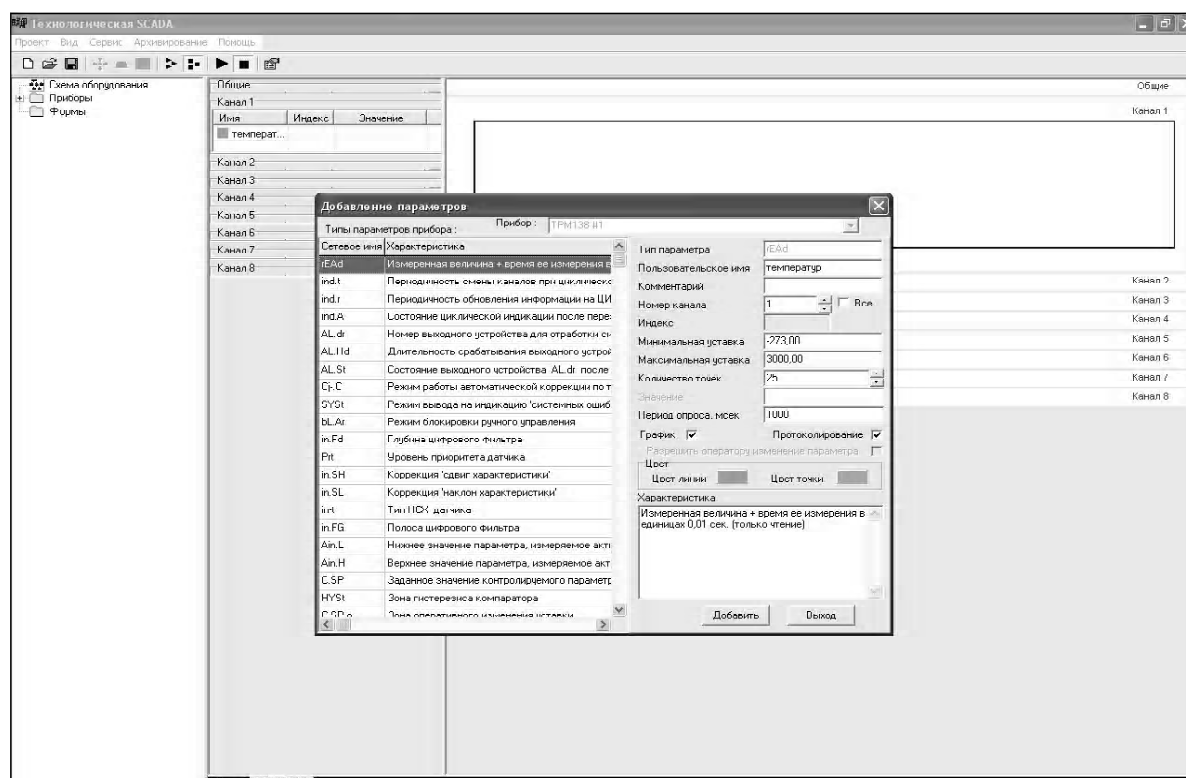


Рис. 6. Программа сбора данных "Овен".

направление и скорость ветрового потока, изменение атмосферных осадков (мороси, тумана, облачности и дождя) и времени действия осадков. Блок-схема проведения испытаний представлена на рис. 5.

На втором этапе испытаний на рычаг устанавливался профиль — равнополочный уголок сечением $\perp 45 \times 5$. Собственный вес профиля без гололеда в реальном масштабе времени записывался программой "Овен 2.04" (рис. 6) и представлен на ПК в виде графика зависимости веса в граммах от времени в секундах.

В течение 120 минут охлаждался профиль до температуры наружного воздуха $t_{\text{н}} = -3$ °С. Наиболее опасными направлениями ветра на антенные опоры является ветер под углами 90° (рис. 7а) и 45° (рис. 7б), поэтому для проведения испытаний на втором этапе задавалось направление ветра под углом 90° .

Скорость ветра регулировалась по двум ориентациям относительно воздушного потока — наибольшего и наименьшего сопротивления ($V = 3 \div 18$ м/с), так как ветер редко дует с постоянной силой, эта его особенность связана с трением между слоями и конвекционными потоками, приводящими к пульсации воздуха.

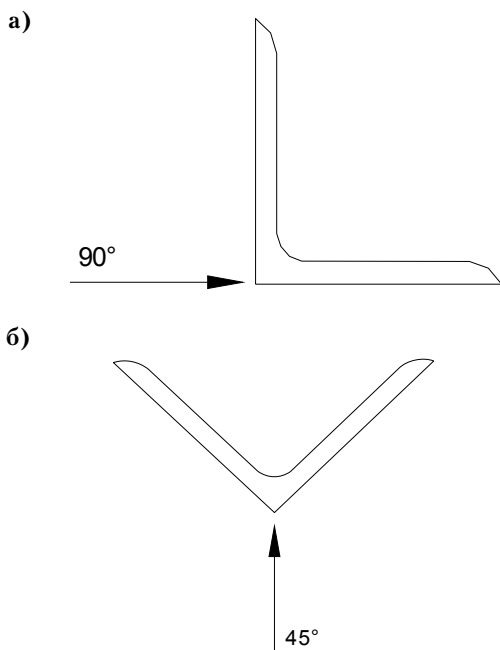


Рис. 7. Направление ветра на несущие профили под углами: а) 90° ; б) 45° .

Центробежными форсунками имитировалась морось с радиусом капель $2,5 \dots 25$ мкм.

Вода охлаждалась до температуры наружного воздуха, подобной натуре. Испытания продолжались $40 \div 60$ минут [9, 12].

В процессе испытаний все данные записывались ПК и представлялись в виде графиков в реальном масштабе времени.

После окончания наращивания гололеда замерялись размеры отложения и его вес, определялся коэффициент μ_2 — отношение площади поверхности элемента, подверженной обледенению A_1 , к полной площади поверхности элемента A_2 (рис. 8) [5, 10, 11].

Полученный коэффициент учитывается при расчете антенных опор на гололедные нагрузки по формуле 10.3 [5]:

$$G_e = b k \mu_2 \rho g,$$

где: b — толщина стенки гололеда, мм, определяемая по табл. 10.1 с учетом требований п.10.7 [101]; k — коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте h , и принимается по табл. 10.2 [5]; μ_2 — коэффициент, учитывающий отношение площади поверхности элемента, подверженной обледенению A_1 , к полной площади поверхности элемента A_2 . При отсутствии данных наблюдений допускается принимать $\mu_2 = 0,6$; $\mu_2 = A_1/A_2$; ρ — плотность льда, принимаемая равной $0,9$ г/см³; g — ускорение свободного падения, м/с².

Таким образом, на семи этапах производилась замена профилей, применяемых при проектировании, расчете и испытании антенной опоры.

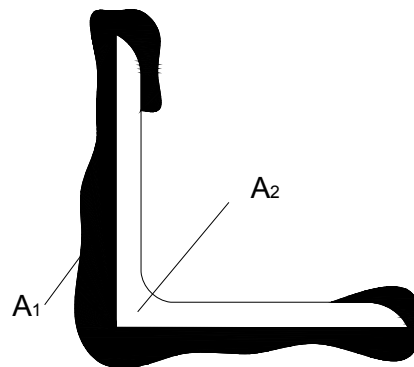


Рис. 8. Схема для определения коэффициента μ_2 .

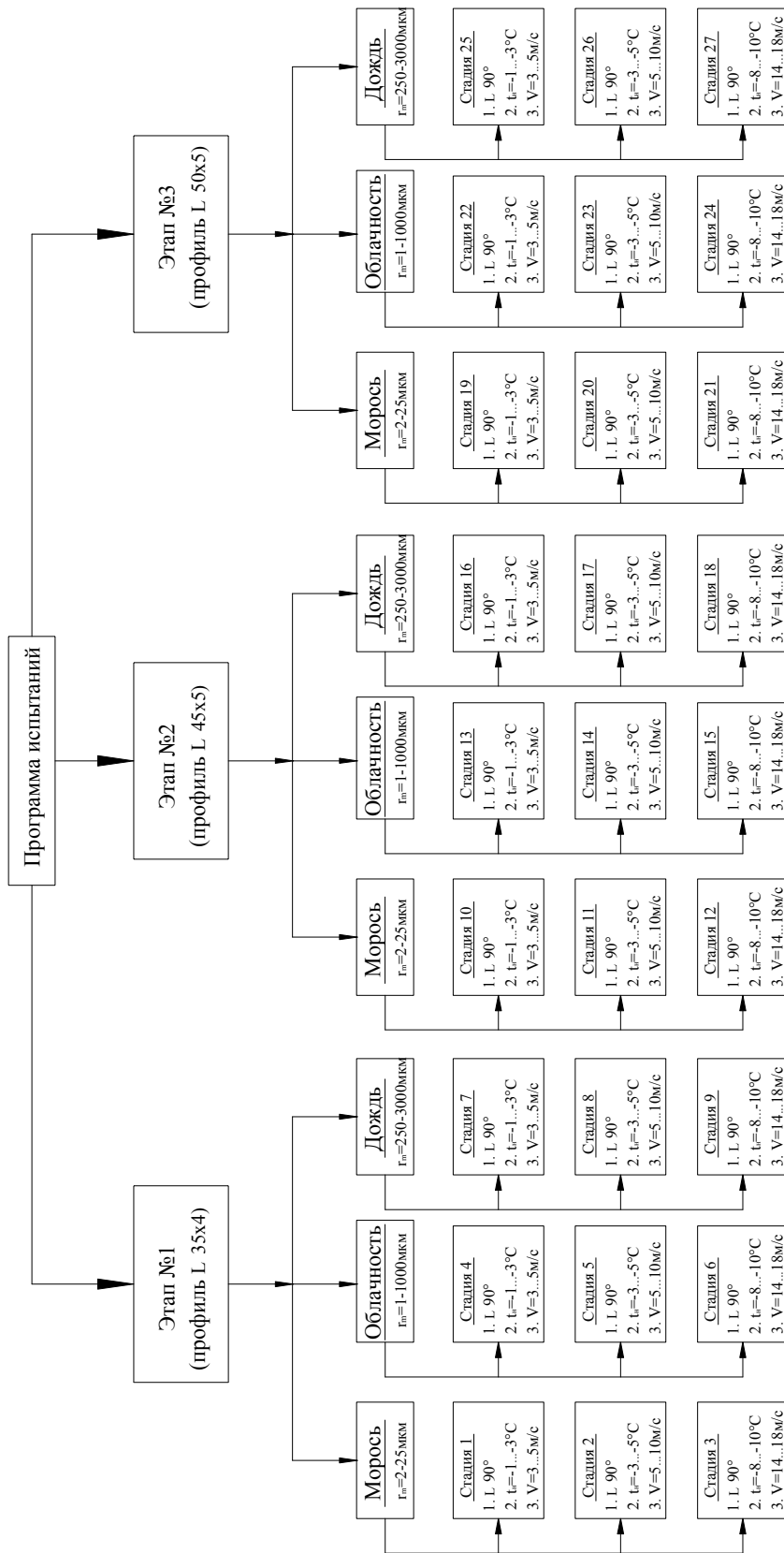


Рис. 9. Общая схема проведения испытаний: этапы 1-3.

На втором этапе изменялось направление ветра — ветер под углом 45° . Температура воздуха, скорость ветра и радиус капель не изменялся.

В свою очередь, каждый этап был разделен на отдельные стадии, для которых изменялись температура наружного воздуха, скорость и направление ветра по отношению к профилю, радиусы капель и водность облака, имитирующих морось, туман, облачность и дождь. Таким образом, непосредственно для каждой стадии данные формировались ПК. В этом случае общая программа испытаний может быть проиллюстрирована при помощи схемы на рис. 9.

Выводы:

1. Разработан испытательный стенд для моделирования гололеда.
2. Разработана методика проведения испытаний в климатической камере, которая позволит проверить экспериментальным путем полученные теоретические данные с уточненными гололедными нагрузками в климатической камере, а также провести динамические испытания антенных опор под действием гололедно-ветровых воздействий.

Литература

1. Аппаратно-программный комплекс технической диагностики строительных металлических конструкций / Горохов Е.В., Югов А.М., Некрасов Ю.П. // Материалы 3-й Международной научно-практ. конф. "Информационные технологии в учебно-методической деятельности" ИНФО-ТЕХ-2000. — Севастополь. — 2000.
2. Горохов Е. В., Алехин А. М. Математическая фор-

- мулировка задачи об осаждении облачных капель на провода электросетевых систем. // Металлические конструкции. — Т. 10.— № 2.—2006.
3. Горохов Е.В., Васылев В.Н., Тимофеев Н.В., Саливон Ю.И., Алехин А.М. Климатическая камера ДонНАСА // Вісник ДонДАБА. — Макіївка, 2004. — Вып. 2004-2(44). — С. 150-153.
 4. Горохов Е.В., Васылев В.Н., Коваль В.И., Алехин А.М. Краевые условия для постановки испытаний в условиях искусственного обледенения // Металеві конструкції. — Т. 13. — № 2.—2007.— С. 97-102.
 5. ДБН В.1.2-2:2006 "Нагрузки и воздействия". Нормы проектирования. Издание официальное. — Киев: Минстрой Украины, 2006.
 6. Паж Д.Г. и др. Форсунки в химической промышленности. — М.: Химия, 1971.
 7. Строительная климатология и геофизика: СНиП 2.01.01-85. — М.: Стройиздат Госстроя СССР, 1983. — 136 с.
 8. Хавкин Ю.И. Центробежные форсунки / Хавкин Ю.И. — Л.: Изд-во "Машиностроение", 1976.
 9. Horokhov Ye.V. Principles of Overhead Line Reliability and Longevity Increasing under Ice and Wind Loads / Horokhov Ye.V., Turbin S.V., Grimud G.I. // 15 Internationale Baustoffagung. — Weimar. Bundesrepublik Deutschland, 2003. — Band 1. — PP. 1427-1439.
 10. Freathy P.E. Mis-use of standards: why wind damage occurs at low wind speeds? / Freathy P.E. Proc / of the 4th UK Conf. on Wind Engineering. Victoria Rooms. Bristol, (UK), 1998. — PP. 201-202.
 11. Goia L.M. Experimental panel to study the influence of combined mechanical loads on overhead lines / Goia L.M, Gheorghita G. // Pros. of IWAIS`98. Reykjavik (Iceland), 1998. — PP. 283-296.
 12. Kazakevitch M. Interaction of Wind with the Ice-Covered Members / Kazakevitch M., Grafsky I. Proc. 12th Congress IABSE. Vancouver, 1984. — PP. 853-857.

Горохов Євген Васильович — завідувач кафедри "Металеві конструкції", ректор Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Президент Української асоціації з металевих конструкцій, закордонний член Російської академії будівництва, Академік академії вищої школи та Академії будівництва України. Член Міжнародного комітету з вивчення впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні впливи на будівельні конструкції.

Василев Володимир Миколайович — викладач кафедри "Металеві конструкції", начальник Лабораторії випробувань будівельних конструкцій і споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Лауреат Державної премії. Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження робіт опор ліній електропередачі; регулювання і облік внутрішнього напруженого стану гарячекатаного прокату в будівельних конструкціях.

Альошин Андрій Михайлович — викладач кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: ожеледні навантаження та впливи на будівельні конструкції; надійність повітряних ліній електропередачі, випробування будівельних конструкцій.

Горохов Евгений Васильевич — заведующий кафедрой "Металлические конструкции", ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Иностраный член Российской Академии строительства, Академик академии высшей школы и Академии строительства Украины. Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

Васылев Владимир Николаевич — преподаватель кафедры "Металлические конструкции", начальник Лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Лауреат Государственной премии. Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работ опор линий электропередачи; регулирование и учет внутреннего напряженного состояния горячекатанного проката в строительных конструкциях.

Алехин Андрей Михайлович — преподаватель кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: гололедные нагрузки на строительные конструкции, надежность воздушных линий электропередачи, испытание всех видов строительных конструкций.

Gorokhov Evgeny Vasil'yevich — Head of the Department "Metal Structures", Rector of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. President of the Ukrainian Association of Metal Structures, a foreign member of the Russian Academy of Civil Engineering, an academician of the Higher School Academy and the Academy of Civil Engineering of Ukraine. A member of the International Committee on studying wind influence on buildings and structures. Scientific interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.

Vasylev Vladimir Nikolayevich — a lecturer of the Department "Metal Structures", head of the Laboratory of testing building structures and building of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A state prize-winner. Scientific interests: experimental and theoretical investigation of power transmission tower operation, control and record of the inner stressed state of the hot-rolled metal in building structures.

Alyokhin Andrey Mikhailovich — a lecturer of the Department "Metal Structures" of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: icing loads on building structures, reliability of overhead power transmission lines, testing of all types of building structures.