



(06)-0112-1

## АНАЛІЗ УМОВИ ПОДІБНОСТІ. МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ЗАХВАТУ НА ДРОТИ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ

**Є.В. Горохов, А.М. Альохін**

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

*E-mail: andrey-alyochin@rambler.ru*

*Отримана 10 березня 2006; прийнята 24 травня 2006*

**Анотація.** У статті проведений аналіз умов подібності та представлена методика моделювання інтегрального коефіцієнту захвату на дроти електромережєвих систем.

**Ключові слова:** ожеледь, дроти електромережєвих систем, опори ЛЕП, стисливість повітря, критерій подібності Рейнольда, випробування, зона обмерзання, закон Стокса.

## АНАЛИЗ УСЛОВИЯ ПОДОБИЯ. МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЗАХВАТА НА ПРОВОДА ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ СИСТЕМ

**Е.В. Горохов, А.М. Алёхин**

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

*E-mail: andrey-alyochin@rambler.ru*

*Получена 10 марта 2006; принята 24 мая 2006*

**Аннотация.** В статье произведен анализ условия подобия и представлена методика моделирования интегрального коэффициента захвата действующего на провода электросетевых систем.

**Ключевые слова:** гололед, провода электросетевых систем, опоры ЛЭП, сжимаемость воздуха, критерий подобия Рейнольдса, испытание, зона обледенения, закон Стокса.

## ANALYSIS OF CONDITION OF SIMILARITY. METHOD OF DESIGN OF INTEGRAL COEFFICIENT OF CAPTURE ON WIRES OF ELECTRONETWORK SYSTEMS

**Ye.V. Horokhov, A.M. Alyochin**

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

*E-mail: andrey-alyochin@rambler.ru*

*Received March 10, 2006; accepted May 24, 2006*

**Abstract.** In the article the analysis of condition of similarity is produced and the method of design of integral coefficient of capture of operating on the wires of the electronetwork systems is represented.

**Keywords:** ice, wires of the electronetwork systems, the LEP support, compressibility of air, criterion of the Reynolds similarity, test, area of icing, the Stocks law.

### Введение

Обеспечение безопасности и регулярности использования электросетевых систем в сложных метеорологических условиях продолжает оставаться одной из актуальных проблем современного электроснабжения Украины. Среди возможных погодных воздействий на провода электросетевых систем наибольшую опасность представляет гололед.

Основной объём исследований в условиях обледенения проводится в натурных испытаниях на уже изготовленной опоре ЛЭП. Успешное решение задачи защиты проводов от обледенения может и должно проводиться на основе комплексных исследований, включающих как натурные, так и искусственные.

Опыт исследований, накопленный в результате постановки и проведения испытаний в условиях искусственного обледенения, показывает, что в натурных условиях возможно получить все необходимые сведения для того, чтобы установить на проводах эффективную противообледенительную защиту, с достаточной степенью точности прогнозировать поведение провода в случае отказа защиты.

Натурные испытания, как обычно, должны явиться завершающим этапом, а их программа должна быть составлена с учетом результатов, полученных в условиях искусственного обледенения и содержать минимальный объём

необходимых проверок. Поэтому одной из важных задач является математическая задача об осаждении облачных капель на провода электросетевых систем.

### Анализ условия подобия. Методика моделирования интегрального коэффициента захвата.

Анализ условия подобия для моделирования коэффициента захвата зависит от сжимаемости воздуха на рассматриваемый процесс.

Сжимаемость воздуха оказывает влияние на величину интегрального коэффициента захвата цилиндра не более 3% при скорости обтекания близкой к критической, т.е. [1]:

$$\frac{\bar{E}_{несж} - \bar{E}_{сж}}{\bar{E}_{несж}} \leq |0,03| \quad (1)$$

Влияние сжимаемости воздуха на процесс осаждения облачных капель при скоростях, близких к критическим, также мало. В связи с указанным будем считать, что плотность воздуха для обоих случаев - величина постоянная и не влияет на процесс осаждения облачных капель на препятствия.

Необходимыми и достаточными условиями подобия является равенство численных значений

критериев подобия. Исходя из обобщенного уравнения (1), можно записать условие подобия для натуральных и трубных условий в следующем виде:

$$\begin{aligned} R_e &= R_{e1}; k = k_1; R_{e0} = R_{e01}; \\ Sh &= Sh_1; N = N_1 \end{aligned} \quad (2)$$

На основании условий (2) составим систему уравнений:

$$\begin{aligned} K_V \cdot K_b &= K_V \\ K_d^2 \cdot K_V &= K_b \cdot K_\mu \\ K_d \cdot K_V &= K_V \\ K_V \cdot K_\tau &= K_b \\ K_n \cdot K_{pb} \cdot K_d^3 &= 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Системой уравнений (3) определены условия, в соответствии с которыми достигается полная гарантия точного подобия при исследовании процесса осаждения облачных капель из воздушного потока на подобных телах. Однако система уравнений (3) имеет ограниченное применение, так как уменьшение масштаба моделей должно производиться пропорционально росту потребной для реализации полного подобия скорости потока в аэродинамической трубе. Для большей убедительности приведем числовой пример.

Допустим, что на поверхности провода, на который происходит осаждение облачных капель, находится на малой высоте (параметры атмосферы для обоих случаев одинаковы) со скоростью  $V_0 = 10$  м/сек, в капельном облаке с характерным размером  $d_0 = 20$  мкм. Исходя из технических возможностей аэродинамической трубы, модель для трубных испытаний выбрана в масштабе 1:4. Решением первых двух уравнений системы (3) находим:

$$\text{при } K_b = 0,25, K_V = \frac{1}{K_b}, \text{ откуда}$$

$$V_{01} = V_0 \cdot K_V = 40 \text{ м/сек и далее } K_d = K_b, \text{ и } d_{01} = 5 \text{ мкм.}$$

Как видно из решения, реализация найденных параметров сложна с технической точки зрения и, вместе с тем, полученные результаты

при указанных условиях эксперимента будут бесполезны для практики. При сверхзвуковых скоростях полностью изменится характер обтекания испытываемой поверхности, и проведение испытаний в соответствии с найденными параметрами теряет практический смысл.

Таким образом, постановка испытаний с учетом требования подобия критерию Рейнольдса в большинстве случаев не удастся.

Однако эта ситуация совершенно не означает, что отказ от соблюдения требований подобия по указанному критерию лишает полученные результаты их ценности. В ряде случаев для обтекаемой формы критерий Рейнольдса оказывает существенное влияние только на коэффициент сопротивления ( $C_x$ ) и в отдельных случаях слабо влияет на коэффициент подъемной силы ( $C_y$ ).

Если рассматривать создавшуюся ситуацию с позиции изучаемой задачи, то можно отметить, что определение форм и зон льдообразования на поверхностях проводов проводится на углах атаки значительно меньших, чем критические. Основные же сложности, связанные с отказом от выполнения требования критерия Рейнольдса, встречаются при наличии срывных течений на обтекаемой поверхности [2].

Аналогичная ситуация складывается и с учетом требований подобия по критерию Рейнольдса для капли  $Re_0 = \frac{d_0 \cdot V_0}{\nu}$ .

Этот критерий появляется в формулировке задачи в связи с учетом поправки к закону сопротивления, сформулированному Стоксом. При малых значениях  $Re_0$ , когда  $\frac{C_d \cdot Re_0}{24} = 1$ , определяется первая область автомодельности, относительно  $Re_0$ , при  $Re_0 \geq 10^3$  обнаруживается вторая область автомодельности. Таким образом, влиянию критерия  $Re_0$  подвержены капли не всех размеров и не в разной степени.

Если построить зависимость  $\frac{C_d \cdot Re_0}{24} = f(Re_0)$ , то графическим путем можно определить значение поправки к закону Стокса из-за влияния  $Re_0$ .

В пределах линейного участка зависимости

$$\frac{C_d \cdot Re_0}{24} = f(Re_0)$$

величина поправки определяется тангенсом угла наклона прямой к оси абсцисс и составляет  $x = 0,39$ .

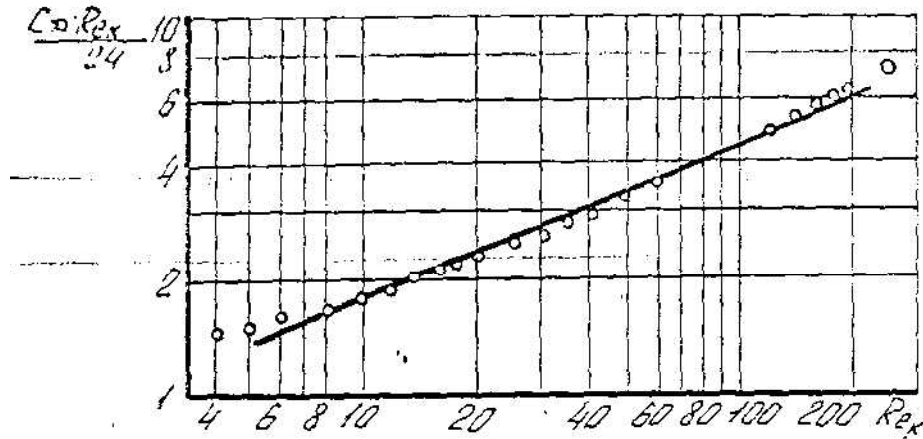


Рис. 1. Величина поправки к закону сопротивления капель в зависимости от числа Рейнольдса.

Возникает вопрос: Насколько существенно введение этой поправки на практические результаты?

В результате испытаний [3] не выявлено заметного влияния критерия подобия  $Re_0$  на указанные параметры. Это влияние находится в пределах точности, с которой моделировалось искусственное облако капель по отношению к натурному, а также в пределах точности, с которой производились измерения величин зон и толщин льда.

Можно сказать, что влияние критерия подобия  $Re_0$  на величину зоны обледенения и конечную толщину льда в диапазоне значений масштаба моделей 1:10 находится в пределах точности эксперимента.

В итоге, обобщенное уравнение для моделирования коэффициента захвата можно записать в виде:

$$\bar{E} = \bar{E}(k; S_h; N) \quad (4)$$

И при этом, если захват капель воды обтекаемой поверхностью происходит при условиях,

когда скорость распространения фронта кристаллизации воды в зоне захвата больше, чем скорость осаждения облачных капель, то такой процесс обледенения будет автомодельным относительно термодинамических факторов. В этом случае уравнение (4) будет справедливым и для моделирования конечной формы льда. В тех случаях, когда местный коэффициент намерзания в каких-либо местах зоны льдообразования меньше единицы, требуется дополнительно рассматривать условия для моделирования конечной формы льда.

### Литература

1. Brun. Serafini. Callager. Impingement of cloud droplets on aerodynamic as affected by compressibility of air flow around the body. NASA. technical note, 2093.
2. Чжен П. Управление отрывом потока. Изд-во «Мир», 1979.
3. Отчет по НИР «Разработка проекта методики исследования обледенения несущих поверхностей самолетов в искусственных условиях», ГосНИИ ЭРАТТ ГА, Рига, 1978.

**Горохов Євген Васильович** працює завідувачем кафедри «Металеві конструкції», ректором Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Президент Української асоціації з металевих конструкцій, закордонний член Російської академії будівництва, Академік Академії Вищої освіти 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.

**Альохін Андрій Михайлович** є аспірантом та викладачем кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: ожеледні навантаження та впливи на будівельні конструкції, надійність повітряних ліній електропередачі.

**Горохов Евгений Васильевич** является заведующим кафедрой "Металлические конструкции", ректором Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, иностранный 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.

**Алехин Андрей Михайлович** является аспирантом и преподавателем кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: гололедные нагрузки на строительные конструкции, надежность воздушных линий электропередачи.

**Horokhov Evgeniy Vasil'evich** is a Principal of Metal Structures department, rector of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a president of Ukrainian Association of Metal Construction. Foreign Member of Russian Building Academy, Member of High School and Building Academy of Ukraine. Member of International Working group in Wind Engineering. His research interests include the reliability of existing metal structures, climatic loads on buildings and structures.

**Alyochin Andrey Michaylovich** is Graduate student a of Metal Structures department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests include the icing loadings in structural design and reliability of overhead lines.