



(06)-0119-1

## МАТЕМАТИЧНЕ ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ПРО ОСАДЖЕННЯ ХМАРНИХ КРАПЕЛЬ 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 24 липня 2006; прийнята 28 серпня 2006*

**Анотація.** У статті сформульована математична задача про осадження хмарних крапель на дроти електромережових систем.

**Ключові слова:** зледеніння, дроти електромережових систем, модель, натурні умови, інтегральний коефіцієнт захоплення, хмарні краплі, лід, місцевий коефіцієнт намерзання.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ОБ ОСАЖДЕНИИ ОБЛАЧНЫХ КАПЕЛЬ 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 24 июля 2006; принята 28 августа 2006*

**Аннотация.** В статье сформулирована математическая задача об осадении облачных капель на провода электросетевых систем.

**Ключевые слова:** обледенение, провода электросетевых систем, модель, натурные условия, интегральный коэффициент захвата, облачные капли, лед, местный коэффициент намерзания.

## MATHEMATICAL PROBLEM DEFINITION ABOUT BESIEGING OF CLOUDY DROPS 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 July 24, 2006; accepted August 28, 2006*

**Abstract.** A mathematical task about besieging of cloudy drops on the wires of the electro-network systems is formulated in the article.

**Keywords:** icing, wires of the electronetwork systems, model, model terms, integral coefficient of capture, cloudy drops, ice, local coefficient of freezing.

## Введение

Электросетевые конструкции составляют значительную часть основных производственных фондов предприятий электрических сетей Украины. В отличие от большинства инженерных сооружений, для которых определяющими являются нагрузки, так или иначе связанные с деятельностью человека и поэтому поддающиеся сравнительно точному вычислению, для опор линий электропередачи решающими являются нагрузки климатического характера: ветер, гололед и косвенно - температура, влияющая на величину тяжения по проводам и тросам, и действующая в различных сочетаниях.

Несущая часть линий электропередачи представляет собой совокупность опор, расположенных на таком большом протяжении, что воздействия климатических факторов в различных сочетаниях по разному могут проявляться на отдельных участках линий. Ввиду чрезвычайно большого количества таких возможных сочетаний нагрузок действующими в настоящее время «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) особое внимание необходимо уделять гололедным нагрузкам действующим на опоры.

В Украине значительная часть (более 1/3) находящихся в эксплуатации конструкций электросетевого строительства исчерпала свой ресурс, или он близок к окончанию [1].

Поэтому в ближайшее время можно ожидать существенное увеличение количества аварий и отказов, вызванных потерей работоспособности опор ВЛ и порталов ОРУ. В этой ситуации чрезвычайно актуален вопрос о повышении надежности и долговечности эксплуатируемых конструкций. Данная работа направлена на то, чтобы предотвратить поток аварий и отказов, продлить сроки нормальной эксплуатации линий электропередачи и подстанций, снизить экономический ущерб энергосистем и потребителей электроэнергии в результате действия климатических нагрузок.

## Математическая формулировка задачи об осаждении облачных капель на провода электросетевых систем

Исследование, проводимое по методу модели, включает в себя две, по существу, разные и

самостоятельные задачи: сначала нужно воспроизвести явление, подобное натуре, а затем на модели выполнить весь необходимый комплекс наблюдений и измерений, результат которых в главной степени будет, применим и к натуре, и к модели.

По постановке задачи нас интересуют оба вопроса. Однако сначала остановимся на первой части программы и попытаемся сформулировать условия, в соответствии с которыми на модели можно воспроизвести явление, подобное натуре.

Физическая сущность обледенения провода в натуральных условиях и на модели одинакова. Оба явления отличаются только масштабами происходящих процессов, а как объекты теоретического анализа натура и модель тождественны.

Если сформулировать задачу в безразмерной форме, то есть, если выразить все переменные и параметры, характерные для рассматриваемого явления в относительной форме, и представить их в виде определенных комбинаций, то в дальнейшем исследование будет связано только с относительными и, более того, с обобщенными величинами. При такой постановке исследований полнота и надежность полученных результатов должна определяться тем, насколько были правильными теоретические представления, которые положены в основу формулировки задачи.

Процесс обледенения проводов электросетевых систем связан со сложными малоизученными явлениями, возникающими в результате взаимодействия провода с воздушной средой, содержащей переохлажденные капли воды. Рассматриваемый процесс характерен еще и тем, что он происходит под влиянием множества разнородных физических факторов, учет которых, а также форма их введения в формулировку задачи, представляет основную сложность.

Массовая интенсивность намерзания льда на поверхности провода можно выразить зависимостью:

$$I_m = \bar{E} \cdot \bar{\theta} \cdot W \cdot b \cdot V_0 \quad (1.1)$$

В этом выражении  $\bar{E}$  - интегральный коэффициент захвата, который определяется



Толщина льда в какой-либо точке зоны захвата определяется следующей зависимостью:

$$h_i = \frac{\varepsilon_i \cdot v_i \cdot V_0 \cdot W \cdot \tau}{\rho_{li}} \quad (1.5)$$

Попытаемся сформулировать условия, в соответствии с которыми в эксперименте можно получить форму льда, подобную той, которая образуется на натурном объекте в условиях естественного обледенения.

В безразмерном виде эти условия можно записать в виде:

$$\frac{h_i}{b} = \frac{h_{i1}}{b_1} = \bar{h}_i = \bar{h}_{i1} = const \quad (1.6)$$

По существу, записанные условия имеют более широкий смысл, нежели достижение равенства относительных толщин льда в какой-либо сходственной точке модели и природы. Указанные условия должны определять подобие полей распределения толщин льда в зоне захвата на модели и натуре, то есть должно выполняться соответствие Ni(s)-Ni1(s1).

Здесь и в дальнейшем индекс «1» относится к параметрам модели, а символ  $\sim$  означает подобие.

Определим пути реализации указанных условий. Отношение значений  $\bar{h}_i$ , на модели и натуре приводит к следующему выражению [3]:

$$\frac{\bar{h}_{i1}}{\bar{h}_i} = \frac{\varepsilon_{i1} \cdot v_{i1} \cdot V_{01} \cdot W_1 \cdot \tau_1 \cdot \rho_{li} \cdot b}{\varepsilon_i \cdot v_i \cdot V_0 \cdot W \cdot \tau \cdot \rho_{li} \cdot b_1} \quad \text{или} \quad \bar{h}_{i1} = k' \cdot \bar{h}_i \quad (1.7)$$

где

$$k' = \frac{k_\varepsilon \cdot k_g \cdot k_w \cdot k_v \cdot k_\tau}{k_{\rho_s} \cdot k_b}$$

$k_i$  — масштабные коэффициенты, соответствующие отношению сходственных величин для условий искусственного и естественного обледенения.

Очевидно, что условие (1.7) можно выполнить только в том случае, если  $k' = 1$ . Указан-

ном решением открываются пути достижения поставленной цели.

Если сформулировать задачу таким образом, чтобы относительные массы захваченной из потока воды для модели и природы были бы равны, то значения интегрального и местного коэффициентов захвата для обоих случаев будут одинаковы ( $\bar{E} = \bar{E}_1$ ;  $\varepsilon = \varepsilon_1$  и  $k_\varepsilon = 1$ ).

Далее, если относительная скорость распространения фронта кристаллизации воды в каждой точке зоны захвата для обоих случаев будет также одинакова, то значение полного и местного коэффициентов намерзания окажутся равными ( $\bar{\theta} = \bar{\theta}_1$ ;  $\mathcal{G} = \mathcal{G}_1$  и  $k_v = 1$ ).

Таким образом, если определить условия для моделирования коэффициентов захвата и намерзания, то задача определения условий моделирования обледенения в целом значительно упрощается [2]. В этом случае остается удовлетворить условию:

$$k'' = \frac{k_w \cdot k_v \cdot k_\tau}{k_{\rho_s} \cdot k_b} = 1 \quad (1.8)$$

Учитывая зависимость коэффициентов захвата и намерзания от параметров, входящих в выражение (1.8), можно ожидать, что, отыскав условие моделирования  $\bar{E}$  и  $\bar{\theta}$ , автоматически определятся условия для удовлетворения равенству (1.7).

В результате проведенного анализа, приходим к выводу, что задача, связанная с моделированием процесса обледенения поверхности провода состоит из двух частей: динамической и термодинамической.

Динамическая часть задачи связана с нахождением условий, в соответствии с которыми траектории движения облачных капель относительно модели и природы были бы подобны, и их осаждение на препятствии происходило бы в сходных точках. В итоге эта часть задачи сводится к отысканию условий моделирования коэффициентов захвата ( $\bar{E}$ ;  $\varepsilon$ ).

Вторая часть задачи — термодинамическая и связана с нахождением условий, в соответствии с которыми формы льда, образующиеся на модели и натуре, были бы подобны. В конечном итоге эта часть задачи сводится к нахождению условий моделирования коэффициентов намерзания ( $\bar{\theta}$ ;  $\mathcal{G}$ ).

С учетом результатов проведенного анализа условия для нахождения конечной формы льда на модели несущей поверхности провода можно записать в виде:

$$H_i(s) = H_i(s)(\bar{E}; \bar{\theta}) \quad (1.9)$$

## Литература

1. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи /Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.В. Турбин, Я.В. Назим и др; под ред. Е.В. Горохова. — Донецк, 2005. — 348 с.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. — М.: Изд-во «Наука», 1967.
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 по вивченню впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні впливи на будівельні конструкції.

**Альохін Андрій Михайлович** є аспірантом та преподавателем 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, 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.

**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.