

Математическая модель процесса разрушения ледяного покрова на проводах линий электропередачи электродинамическим способом

СУХОРУКОВ С.И., СОЛОВЬЕВ В.А., МОКРИЦКИЙ Б.Я.

Приводится математическое описание для линеаризованного процесса разрушения ледяного покрова на проводах линий электропередачи. Введен ряд допущений, которые позволяют снизить влияние нелинейностей и неопределенностей, присутствующих в системе. Процесс удаления гололеда представлен в виде трех независимых подпроцессов: процесса расплавления тонкого внутреннего слоя ледяного покрытия, обеспечивающего резкое снижение адгезионных свойств контакта «провод–лед»; процесса разлома ледяного цилиндра на составляющие за счет изгибных деформаций; процесса стряхивания элементов расколотого ледяного цилиндра с провода за счет инерционных сил. Полученное математическое описание процесса разрушения ледяного покрова на проводах позволяет оптимизировать параметры электродинамического воздействия и повысить энергетическую эффективность процесса очистки проводов.

Ключевые слова: линии электропередачи, гололед, разрушение ледяного покрова

Точное математическое описание процесса разрушения ледяного покрова на проводах линий электропередачи способом, описанным в [1, 2], является труднодостижимым из-за сугубо нелинейного характера самой задачи, а также нестационарности всей системы при значительном количестве неопределенностей, связанных с неполнотой информации о массе отложившегося льда на проводах, о распределении массы льда вдоль пролета [3], а также о типе льда, отложившегося на проводе при текущих погодных условиях. В статье предпринята попытка создать математическое описание для линеаризованного процесса разрушения ледяного покрова. Для этого введен ряд допущений, которые позволят снизить влияние нелинейностей и неопределенностей, присутствующих в системе.

Представим процесс удаления гололеда в виде трех независимых подпроцессов: расплавления тонкого внутреннего слоя ледяного покрытия, обеспечивающего резкое снижение адгезионных свойств контакта «провод–лед»; разлома ледяного цилиндра на составляющие за счет изгибных деформаций; стряхивания элементов расколотого ледяного цилиндра с провода за счет инерционных сил.

Подпроцесс расплавления внутреннего слоя ледяного покрытия. Введем следующие допущения:

плотность ледяного покрова однородна, структура и теплоемкость льда на протяжении пролета постоянны;

токопроводящий многопроволочный кабель в сечении представляет собой идеальный круг и не имеет антиадгезионного покрытия;

температура ледяного покрова совпадает с температурой кабеля;

теплоемкость несущей стальной жилы принимается равной теплоемкости алюминиевого провода.

В [4, 5] приведены экспериментальные данные по адгезионной прочности контакта «лед – материал», из которых следует, что адгезионная прочность контакта резко снижается при возникновении между льдом и материалом водяной прослойки. Поэтому основной задачей подпроцесса расплавления будем считать образование надежной водяной прослойки толщиной $\Delta d_{пл}$ (м).

При приведенных допущениях тепловая энергия, выделяемая протекающим по проводу током и необходимая для создания водяной прослойки в пролете длиной l (м), может быть определена как

$$W_{в.п} = W_{н.к} + W_{л} = I_{эф}^2 R_{эл} i_{пл}, \quad (1)$$

где $W_{н.к}$ – энергия, затраченная на нагрев токопроводящего кабеля массой m_k , Дж; $W_{л}$ – энергия, необходимая для перевода массы льда $m_{л}$, с начальной температурой t_2 в жидкое состояние при температуре t_1 , Дж; $I_{эф}$ – эффективное значение импульсного тока, А; $I_{эф} = \sqrt{\frac{I_m^2 t_{и}}{T}}$; I_m – амплитуда тока, А; $t_{и}$ – длительность импульса тока, с; T – период колебаний, с; $R_{эл} = \rho_{эл} l / s_k$ – сопротивление токопроводящего кабеля, Ом; $\rho_{эл}$ – удельное сопротивление кабеля, принимаемое равным удельному сопротивлению алюминия $0,028 \cdot 10^{-6}$ Ом·м²/м; s_k – сечение кабеля, м²; $t_{пл}$ – время, необходимое для образования водяной прослойки.

На основании выражений, описывающих затраты тепловой энергии на нагрев кабеля и плавление льда, можно определить требуемую скважность импульсов тока $\gamma = t_{ин} / T$:

$$\gamma = \frac{c_k m_k (t_1 - t_2) + m_l (q_{пл.л} - c_l t_2 + c_v t_1)}{R_{эл} t_{пл} I_m^2}, \quad (2)$$

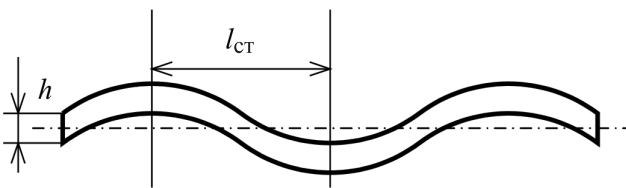
где c_k, c_l, c_v — теплоемкость токопроводящего кабеля, льда и воды соответственно, Дж/(кг·К); $q_{пл.л}$ — удельная теплота плавления льда, Дж/(кг) (масса кабеля и льда в кг, температура — °С).

Подпроцесс разлома. Основным фактором, обуславливающим разлом ледяного цилиндра, сформированного вокруг токоведущего кабеля, на несколько фрагментов, является наличие изгибающих моментов, появляющихся при колебаниях токоведущего кабеля за счет силы Ампера. Частота и амплитуда колебаний кабеля зависят от длины пролета, механических свойств токоведущего кабеля и от параметров импульсов тока, пропускаемых по кабелю.

Если предположить, что ледяной цилиндр можно представить в виде квадратного сечения, тогда изгибу будут подвержены пластины, расположенные в верхней и нижней плоскостях цилиндра, а боковые будут испытывать только сжатие и растяжение. При известном значении изгибающего момента ледяной пластины толщиной h (м) [6] легко выразить изгибающий момент ледяного цилиндра:

$$M_{л.ц} \approx \rho_l g h l_{л.ц}^2, \quad (3)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²; $l_{л.ц} = l_{ст}$ — полудлина волны статического прогиба ледяного цилиндра, м (см. рисунок).



Изгиб ледяной пластины

При известном предельном значении изгибающего момента

$$M_{пр} = \sigma_{изг} h^2 / 6, \quad (4)$$

где $\sigma_{изг}$ — предел прочности льда на изгиб, Н/м², можно определить длину пластины разламываемого цилиндра:

$$l_{л.ц} = \sqrt{\frac{\sigma_{изг} h}{6 g \rho_l}}. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что значение $\sigma_{изг}$ сильно зависит от нескольких факторов: температуры

льда, его структуры и типа. Далее более подробно рассмотрен вопрос зависимости характеристик льда от условий его образования.

В анализируемом случае изгибающий момент будет возникать за счет электродинамического воздействия, создаваемого силой Ампера, при этом, если принять во внимание соблюдение принципа независимости действия сил, то изгибающий момент будет представлять суммарное действие двух моментов:

$$M_{изг} = M_F + M_1 F_1, \quad (6)$$

где M_F — момент, обусловленный статическим действием возмущающей силы $F(t) = F \sin(\theta t)$; F — амплитудное значение силы Ампера; θ — частота вынужденных колебаний электродинамического воздействия; $M_1 F_1$ — составляющая момента, обусловленная действием силы инерции; M_1 — изгибающий момент единичной силы.

Считая провода линий электропередачи на периоде собственных колебаний параллельными друг другу, амплитудное значение силы Ампера определяется известным образом [7].

Предположив, что точка расположения массы провода и точка приложения электродинамического воздействия совпадают, изгибающий момент можно определить через статическое усилие и динамический коэффициент:

$$M_{изг} = k_{дин} M_F, \quad (7)$$

где $k_{дин} = 1 / (1 - \theta^2 / \omega_0^2)$; ω_0 — круговая частота свободных колебаний провода:

$$\omega_0 = \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{T_0}{\mu}}, \quad c^{-1}. \quad (8)$$

Здесь μ — линейная плотность провода, кг/м; T_0 (H) — натяжение провода [8].

С другой стороны, статический момент M_F можно выразить через произведение вынуждающей силы на плечо l и при условии, что колебания провода синусоидальны $l \approx \lambda / 2$, где λ — длина волны колебаний, м.

Таким образом, при известных параметрах колебаний можно определить длину кусков разламываемого ледяного цилиндра и найти массу льда, подлежащего стряхиванию.

Подпроцесс стряхивания фрагментов ледяного цилиндра. Этот подпроцесс будет проходить под динамическим воздействием. При синусоидальности колебаний провода смещение материальной точки участка провода определится как

$$x = A \cos(\omega t + \varphi), \quad (9)$$

где A — амплитуда колебаний материальной точки участка провода; ω — частота колебаний провода; φ — фазовый сдвиг колебаний.

Таким образом, силу, действующую на колеблющийся участок провода (материальную точку), можно представить в виде

$$F_B = (m_K + m_L) A \omega^2 \cos(\omega t + \varphi + \pi), \quad (10)$$

где m_L — масса гололедных отложений на проводе.

Амплитуду вынужденных колебаний материальной точки провода приблизительно можно оценить по [7]:

$$A = \frac{h}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 - 4\beta^2 \omega^2}}, \quad (11)$$

где $h = F_B / (m_{пр} + m_L)$ — отношение амплитуды вынуждающей силы к массе; β — коэффициент затухания колебаний (при $\beta \rightarrow 0$, $A = h / (\omega_0^2 - \omega^2)$).

Отрыв ледяного куска будет наблюдаться при условии, что F_B будет превышать вес этого куска:

$$P = g \rho_L l \pi \Delta d (d + \Delta d), \quad (12)$$

где Δd — толщина ледяного слоя м.

Учет влияния условий гололедообразования на характеристики льда. Известно [9, 10], что при различных погодных условиях (температура, влажность воздуха, скорость ветра, наличие и вид осадков и т.д.) тип и структура образующегося на проводах льда изменяются в широких пределах. Соответственно, изменяются и физико-механические свойства льда. В таблице приведены различные погодные условия и типы льда, соответствующие заданным условиям с наибольшей вероятностью образования.

Если ввести для дополнительных условий льдообразования обозначения:

- 1 — дымка
- 2 — туман
- 3 — морось
- 4 — дождь
- 5 — мокрый снег
- 6 — налипающий мокрый снег
- 7 — крупа,

то для определения типа и свойств льда необходимо использовать нечеткий логический идентификатор с правилами следующего вида:

если $t = -50 \div +10$ и $V = 0$ и $D = 0$,

то вид \rightarrow иней и $\rho_L = 100 \div 300$;

если $t = -2 \div 0$ и $V = 2 \div 4$ и $D = 2$,

то вид \rightarrow гололед и $\rho_L = 600 \div 900$;

если $t = -2 \div 0$ и $V = 2 \div 4$ и $D = 3$,

то вид \rightarrow гололед и $\rho_L = 600 \div 900$;

если $t = -2 \div 0$ и $V = 2 \div 4$ и $D = 4$,

то вид \rightarrow гололед и $\rho_L = 600 \div 900$;

если $t = -8 \div 0$ и $V = 1 \div 8$ и $D = 2$,

то вид \rightarrow ЗИ и $\rho_L = 100 \div 600$;

если $t = -8 \div 0$ и $V = 1 \div 8$ и $D = 3$,

то вид \rightarrow ЗИ и $\rho_L = 100 \div 600$;

если $t = -16 \div -12$ и $V = 0$ и $D = 1$,

то вид \rightarrow КИ и $\rho_L = 10 \div 90$;

если $t = -16 \div -12$ и $V = 0$ и $D = 2$,

то вид \rightarrow КИ и $\rho_L = 10 \div 90$;

если $t = -2 \div 0$ и $V = 0$ и $D = 6$,

то вид \rightarrow МС и $\rho_L = 100 \div 600$;

если $t = -4 \div 0$ и $V = 2 \div 4$ и $D = 2$,

то вид \rightarrow СО и $\rho_L = 250 \div 500$;

если $t = -4 \div 0$ и $V = 2 \div 4$ и $D = 3$,

то вид \rightarrow СО и $\rho_L = 250 \div 500$;

если $t = -4 \div 0$ и $V = 2 \div 4$ и $D = 5$,

то вид \rightarrow СО и $\rho_L = 250 \div 500$;

Вид гололедно-изморозевых отложений	Погодные условия			
	Температура воздуха t , °С	Скорость ветра V , м/с	Дополнительные условия (D)	Плотность гололедно-изморозевых отложений ρ_L , кг/м ³
Иней	-50 ÷ +10	0	—	100 ÷ 300
Гололед	-2 ÷ 0	2 ÷ 4	Туман, морось, дождь	600 ÷ 900
Зернистая изморозь (ЗИ)	-8 ÷ 0	1 ÷ 8	Туман, морось,	100 ÷ 600
Кристаллическая изморозь (КИ)	-16 ÷ -12	0	Дымка, туман	10 ÷ 90
Мокрый снег (МС)	-2 ÷ 0	0	Налипающий мокрый снег	100 ÷ 600
Сложные отложения (СО)	-4 ÷ 0	2 ÷ 4	Туман, морось, крупа, мокрый снег	250—500

если $t = -4 \div 0$ и $V = 2 \div 4$ и $D = 7$),
то вид $\rightarrow CO$ и $\rho_{\text{л}} = 250 \div 500$.

Полученное в результате такой идентификации значение плотности льда используется при моделировании трех представленных ранее подпроцессов разрушения ледяного покрова на проводе. Однако кроме плотности льда от его типа и температуры также зависит и значение предела прочности на изгиб, используемое при моделировании второго подпроцесса. Так например, для монолитного прозрачного льда (гололеда с плотностью $600 \div 900 \text{ кг/м}^3$) пределы прочности для различных температур приведены далее [11]:

Температура t , °С	Предел прочности $\sigma_{\text{изг}}$, Н/м^2
$-30 \div -20$	$22426 \div 21406$
$-20 \div -10$	$21406 \div 19368$
$-10 \div -5$	$19368 \div 16309$
$-5 \div 0$	$16309 \div 10193$

По этим данным также можно составить набор правил нечеткого идентификатора для определения предела прочности льда.

При этом следует учитывать, что если с течением времени изменилась температура льда, то необходимо использовать два разных значения температуры — одно (исходное) — значение, при котором происходило образование ледяного покрова, для определения его типа, а в качестве второго используется текущее значение температуры льда в момент проведения очистки, что позволяет точно определить его предел прочности.

Вывод. Таким образом, полученное математическое описание процесса разрушения ледяного покрова на проводах линий электропередачи учитывает многие факторы электродинамического воздействия на процесс разрушения льда, включая структуру и характеристики ледяных отложений на проводе, существенно зависящие от климатических условий образования. Это, в конечном итоге, позволяет оптимизировать параметры электродинамического воздействия и повысить энергетическую эффективность процесса очистки проводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ 2442256 С1. Способ удаления обледенения с проводов линий электропередачи/ В.М. Козин, В.А. Соловьев, Д.А. Орлов, С.И. Сухоруков, К.С. Малых. — БИ, 2012, № 4.

2. Козин В.М., Соловьев В.А., Орлов Д.А., Сухоруков С.И. Способ удаления гололеда с проводов контактных сетей и линий электропередач. — Сборник статей ИМиМ ДВО РАН, (Комсомольск-на-Амуре) «Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела и прогрессивные технологии в машиностроении», 2013, вып. 4, с. 126–137.

3. Сухоруков С.И., Соловьев В.А., Костин К.Е. К оценке возможностей удаления льда с проводов ЛЭП электродинамическим способом. — Информатика и системы управления (Благовещенск), 2014, № 3, с. 148–158.

4. Гольдштейн Р.В., Епифанов В.П. Адгезионная прочность гололедных отложений на элементах металлических конструкций. — Вестник Новосибирского государственного университета. Сер. Математика, механика, информатика, 2012, т. 12, № 4.

5. Matsumoto K., Kobayashi T. Fundamental study on adhesion of ice to cooling solid surface. — International Journal of Refrigeration, 2007, vol. 30, pp. 851–860.

6. Богородский В.В., Гусев А.В., Доронин Ю.П., Кузнецова Л.Н., Шифрин К.С. Физика океана/Под ред. Ю.П. Доронина. — Л.: Гидрометеиздат, 1978, 287 с.

7. Трофимова Т.И. Курс физики: Учебное пос. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1990, 478 с.

8. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. — М.: Наука, 1980, 240 с.

9. Титов Д.Е. Мониторинг интенсивности гололедообразования на воздушных линиях электропередачи и в контактных сетях: Автореф. дис.... канд. техн. наук. — Саратов, 2014, 150 с.

10. Методические указания по борьбе с гололедом. Кн. 1. — М.: РЖД, Департамент электрификации и электроснабжения, 2004, 132 с.

11. Петров И.Г. Выбор наиболее вероятных значений механических характеристик льда. — Труды АА НИИ, 1976, т. 331, № 7, с. 4–41.

[19.02.16]

Авторы: Сухоруков Сергей Иванович окончил электротехнический факультет Комсомольск-на-Амуре политехнического института (КнаАПИ — ныне Комсомольск-на-Амуре государственный технический университет (КнаАГТУ)) в 2006 г. Ведущий инженер, аспирант КнаАГТУ.

Соловьев Вячеслав Алексеевич окончил электротехнический факультет КнаАГТУ в 1971 г. В 2004 г. защитил докторскую диссертацию «Управление тепловыми и энергетическими процессами на основе нечеткой логики». Заведующий кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок КнаАГТУ.

Мокрицкий Борис Яковлевич окончил механический факультет КнаАПИ в 1971 г. В 2011 г. защитил докторскую диссертацию «Технологическое обеспечение стойкости металлорежущих пластин при обработке заготовок из специальных материалов». Профессор кафедры технологии машиностроения КнаАГТУ.

A Mathematical Model of Ice Cover Destruction on Wires Using the Electrodynamic Method

SUKHORUKOV Sergei Ivanovich (*Komsomol'sk-on-Amur State Technical University – K-on-ASTU, Russia*) – *Leading Engineer, Ph.D. Student*

SOLOV'YEV Vyacheslav Alekseyevich (*K-on-ASTU, Russia*) – *Head of the Department, Dr.Sci. (Eng.)*

MOKRITSKII Boris Yakovlevich (*K-on-ASTU, Russia*) – *Professor, Dr. Sci. (Eng.)*

A mathematical description is presented for a linearized process through which ice cover is destructed on power line wires. A number of assumptions are introduced due to which the effect of nonlinearities and uncertainties existing in the system can be reduced. The entire glare ice removal process is presented as three independent subprocesses: melting of the ice cover thin inner layer, as a result of which the «wire-ice» contact drastically loses its adhesion properties; fragmentation of the ice cylinder into components due to bending deformation; and shaking off the cracked ice cylinder's elements from the wire due to inertial forces. The obtained mathematical description of the ice cover destruction process on wires makes it possible to optimize the electrodynamic impact parameters and to make the wire cleaning process more energy efficient.

Key words: *power lines, icing, ice cover destruction*

REFERENCES

1. **Patent RF 2442256 C1.** *Sposob udaleniya obledeneniya s provodov linii elektropredachi* (A method for removing ice from the wires of power lines) / V.M. Kozin, V.A. Solov'yev, D.A. Orlov, S.I. Sukhorukov, K.S. Malykh. *Bulletin of inventions*, 2012, No. 4.
2. **Kozin V.M., Solov'yev V.A., Orlov D.A., Sukhorukov S.I.** *Sbornik statei «Prikladnye zadachi mekhaniki deformiruemogo tverdogo tela i progressivnye tekhnologii v mashinostroyenii* (Collection of articles of the IMiM DVO RAS (Komsomol'sk-on-Amur) «Application mechanics of deformable solids and advanced technologies in mechanical engineering»), 2013, iss. 4, pp. 126–137.
3. **Sukhorukov A.I., Solov'yev V.A., Kostin K.Ye.** *Informatika i sistemy upravleniya – in Russ. (Computer science and control systems)*. Blagoveshchensk, 2014, No. 3, pp. 148–158.
4. **Gol'dstein R.V., Yepifanov V.P.** *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika, mekhanika, informatika – in Russ. (Bull. of the Novosibirsk State University. Series: Mathematics, Mechanics and Computer Science)*, 2012, vol. 12, No. 4.
5. **Matsumoto K., Kobayashi T.** *Fundamental study on adhesion of ice to cooling solidsurface. – International Journal of Refrigeration*, 2007, vol. 30, pp. 851–860.
6. **Bogorodskii V.V., Gusev A.V., Doronin Yu.P., Kuznetsova L.N., Shifrin K.S.** *Fizika okeana/Pod red. Yu.P. Doronina* (Ocean Physics/Edit. by Yu.P. Doronin). Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1978, 287 p.
7. **Trofimova T.I.** *Kurs fiziki: Ucheb. Posobiye dlya vuzov. 2ye izd.* (Physics course. The manual for high school. 2nd publ.). Moscow, Publ. «Uysshaya shkola», 1990, 478 p.
8. **Merkin D.R.** *Vvedeniye v mekhaniku gibkoi niti* (Introduction to the mechanics of flexible thread). Moscow, Publ. «Nauka», 1980, 240 p.
9. **Titov D.Ye.** *Monitoring intensivnosti gololedoobrazovaniya na vosdushnykh liniyakh elektropredachi i v kontaknykh setyakh* (Monitoring of the intensity of the formation of ice on the overhead power lines and on contact rail networks). Abstract of Diss. for the Degree of Cand. Sci. (Eng.). Saratov, 2014.
10. **Metodicheskiye ukazaniya po bor'be s gololedom.... Kn. 1.** (Guidelines for combating icing... . Book 1. Moscow, Russian Railways. Department of Electrification and Power Supply, 2004, 132 p.
11. **Petrov I.G.** *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo NII – in Russ. (Proc. of the Arctic and Antarctic Scientific and Research Institute)*, 1976, vol. 331, No. 7, pp. 4–41.

* * *

Уважаемые авторы!

Редакция публикует при каждой статье краткие сведения об авторах. В связи с этим просим вас при направлении статьи в редакцию сообщать (желательно и на английском языке):

полные имена и отчества всех авторов;

какой факультет, какого вуза и когда закончил;

когда получил ученую степень, где и по какой тематике (теме) была защита; место работы и должность.

Кроме того, напоминаем, что на каждую статью следует представлять реферат (не менее 100 слов) на русском и английском языках (включая название), а также ключевые слова.

Хроника

ПЕРВОМУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМУ ВУЗУ — 130 лет

130 лет назад, 15 июня 1886 г., в Санкт-Петербурге был создан первый в России электротехнический вуз, сегодня Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ». Электротехнический институт был первым в становлении множества научных направлений и практических начинаний в электротехнике, радиотехнике и электронике. В нем были организованы первые в стране кафедры телеграфии, телефонии, электрических машин, радиотехники, электропривода, техники высоких напряжений, электросварки, рентгеновских и электронно-лучевых приборов, гидро- и тепловых электростанций, гидроакустики, ультразвуковой дефектоскопии, автоматики, телемеханики, высокочастотной электротермии, вычислительной техники, электровакуумной техники, гироскопических приборов, синхронно-следающих систем, биомедицинской аппаратуры. Из них первыми в мире были кафедры: электропривода (1922 г., С.А. Ринкевич), электроакустики (1931 г., С.Я. Соколов) и высокочастотной электротермии (1935 г., В.П. Волгдин); научные разработки ученых этих кафедр имели мировое значение.

В 1930 г. в ЛЭТИ создается специальность «Телемеханика» и несколько позже «Автоматика и телемеханика». В 1935 г. организуется кафедра автоматики и телемеханики (проф. В.А. Тимофеев) и на ее основе ряд других кафедр. Руководителем научного направления деятельности кафедр был член-корреспондент академии наук СССР А.А. Вавилов.

В 1931 г. была создана первая в стране кафедра для подготовки инженеров-электромехаников по счетно-решающим средствам управления стрель-

бой. Теперь это кафедра вычислительной техники, одна из ведущих в этой области.

В 1947 г. создана кафедра систем автоматического управления (на базе кафедры синхронно-следающих систем, основатель Д.В. Васильев).

В 1970-е институт стал одним из первых вузов страны, в котором были созданы проблемные отраслевые научные лаборатории, сеть базовых кафедр на крупных научно-производственных объединениях и в академических организациях, учебно-научно-производственные комплексы.

Признанием заслуг института в подготовке высококвалифицированных специалистов и развитии научных исследований стало награждение ЛЭТИ в 1966 г. орденом Ленина и в 1986 г. орденом Октябрьской Революции. В 1992 г. вуз получил статус технического университета, в 1991 г. в СПбГЭТУ был создан один из первых в стране вузовских технопарков, а в 1998 г. — первый в России вузовский инновационно-технологический центр по развитию малого предпринимательства и инновационной инфраструктуры университетского комплекса. Технопарк объединяет 25 малых и средних инновационных предприятий, работающих в области наукоемкой продукции, принимает активное участие в европейских инновационных проектах и сотрудничает со многими зарубежными фирмами.

Системное и комплексное развитие университета в первое десятилетие XXI в. позиционирует его как один из ведущих научно-образовательных и инновационных центров России. На зарубежном рынке образовательных услуг его партнерами являются более 40 вузов Европы, стран Азии и США.

**ЧИТАТЕЛЯМ, ПОДПИСЧИКАМ, РЕКЛАМОДАТЕЛЯМ
ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»**

Подписка в России и странах СНГ принимается в отделениях связи.

Полные тексты статей в формате pdf размещены на сайте Российской универсальной научной библиотеки (РУНЭБ): www.elibrary.ru

Для желающих представить в журнал статью сообщаем, что правила подготовки рукописей публикуются в №№ 6 и 12 каждого года и на сайте журнала.

Реклама в черно-белом изображении может быть размещена на страницах журнала и на его обложке, а также в виде вкладки.

Возможно размещение рекламы в цветном изображении.

Стоимость оплаты рекламных статей – по договоренности.

При повторении той же рекламы в следующем номере – скидка 10%. При публикации той же рекламы в третьем и последующих номерах – скидка 20%. Последний срок представления рекламного материала – за 1,5 месяца до выхода номера из печати (обычно номер выходит в середине каждого месяца).

Адрес для переписки: 111250 Москва, Красноказарменная ул., 14,
Московский энергетический институт, редакция журнала «Электричество»
тел./факс: (495)362-7485
E-mail: etr1880@mail.ru

Зарубежная подписка

на журнал «Электричество»
оформляется через фирмы-партнеры ЗАО «МК-Периодика» или непосредственно

в ЗАО «МК-Периодика» по адресу:
Россия, 111524 Москва, Электродная ул., 10, стр. 3
ЗАО «МК-Периодика»;
тел. (495) 672-70-12; факс (495) 306-37-57
E-mail: info@periodicals.ru
Internet: <http://www.periodicals.ru>

To effect subscription it is necessary to address to one of the partners of JSC «МК-Periodica» in your country or to JSC «МК-Periodica» directly.

Address: Russia, 111524 Moscow; 10, str.3, Elektrodная ul.
JSC «МК-Periodica»

Tel.: (495) 672-70-12; fax (495) 306-37-57



Международная научно-практическая конференция
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

23-25 ноября 2016 г., Национальный исследовательский университет «МЭИ»



Основные темы конференции:

- Источники ухудшения качества электрической энергии: искажающие нагрузки потребителей, электрическая сеть, окружающая среда
- Измерение качества электрической энергии: приборы, автоматизированные системы, методы измерений результаты измерений качества электрической энергии в сетях, промышленных установках, лабораториях, мониторинг качества электрической энергии и методы мониторинга
- Методы анализа качества электрической энергии: физическое и математическое моделирование, программные средства
- Последствия низкого качества электрической энергии: ущербы, влияние качества электрической энергии на надежность электроснабжения
- Экономические исследования в области качества электрической энергии: оценка ущерба, экономическая ответственность за ухудшение качества электрической энергии
- Качество электрической энергии и рынок: оценка долевого вклада участников рынка электрической энергии в ухудшение ее качества, стоимость электрической энергии с учетом ее качества
- Методы и мероприятия для улучшения качества электрической энергии
- Законодательно-правовые аспекты в области качества электрической энергии
- Нормативно-технические документы в области качества электрической энергии
- Электромагнитная совместимость и качество электрической энергии
- Проблемы качества электрической энергии в интеллектуальных электроэнергетических системах, влияние источников возобновляемой энергии на качество электрической энергии
- Образование в области качества электрической энергии
- Другие вопросы, связанные с качеством электрической энергии

К участию в конференции приглашаются сотрудники научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, электросетевых и сбытовых компаний, оперативно-диспетчерских управлений, образовательных учреждений, надзорных и регулирующих органов, разработчики нормативно-правовых документов, средств измерений и оборудования и все другие специалисты, работающие в области качества электрической энергии

Организаторы:

- ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
- ФГБУН Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН
- Министерство энергетики Московской области

Информационные партнеры:



ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Международный научный комитет конференции:

Ведущие специалисты и ученые в области качества электрической энергии из Вьетнама, Германии, Испании, Польши, Португалии, России, Румынии, США и Чехии

По вопросам участия обращайтесь:

Тульский Владимир Николаевич
Тел.: +7 495 362 70 96
E-mail: conference@icpqm.org
Сайт конференции: www.icpqm.org

Место проведения конференции:

Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Адрес: 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 17

