

ISSN 0579 - 2983

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЭНЕРГЕТИКА

10
1989

ИЗДАНИЕ БЕЛОРУССКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

МИНСК

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Тимошенко Н. И., Тишин С. Г., Печенкин С. П., Первина О. В. О целесообразности создания промышленно-отопительной АТЭЦ с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором	3
---	---

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Ерхан Ф. М., Мельник С. Н. Расчет надежности сложноразветвленных сетей энергосистем методом статистического моделирования	7
Лысяк Г. Н., Данилюк А. В. Моделирование преобразователей при расчете установившихся режимов электроэнергетических систем переменного тока	11
Ванько В. И., Яковенко М. Г., Виноградов А. А. Линейная вязко-упругая модель колебаний провода в подпролетах расщепленной фазы	16
Долин А. П., Корягин А. Л. Расчет колебаний жесткой ошиновки ОРУ при ветровых резонансах	21
Тварды Л., Небжидовски Е., Цыганков В. М. Опыт использования микрокомпьютеров на упражнениях по электроэнергетическому хозяйству	26
Мустафаев Р. И., Ледаков В. Г., Гусейн-заде Г. Ю. Динамические характеристики ветра как энергоносителя ветроэлектрических установок	30

Краткие сообщения

Щуцкий В. И., Ляхомский А. В., Крицевый Ю. Ф. Прогнозирование электропотребления с учетом климато-метеорологических условий	34
Саитбаталова Р. С., Скребинов Б. А. Исследование стационарных режимов регулируемых турбогенераторов	37
Глуни Т. С., Саркисян В. О., Погосян Т. А. Метод расчета переходных процессов на отключенной фазе ВЛ СВН в цикле ОАПВ	39
Сергиенко А. С. Электрообеспечение и энергетические характеристики однокамерного плазмотрона	42
Степанчук К. Ф. Расчет вольт-секундных характеристик изоляции при лавинном механизме процесса пробоя	45
Бондаренко А. Ю., Сивак Е. А. Влияние длины кабельного энергопровода на величину перенапряжений на элементах генератора импульсных токов	47
Кочугова И. В. Дисперсионные характеристики слюды флогопит и композиционных материалов на его основе	50

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Фаддеев И. П., Лагерев А. В. Управление кавитационной стойкостью поверхностей упрочняемых конструктивных элементов турбинного оборудования	53
Бухаркин Е. Н. Анализ эффективности нового контактного утилизатора теплоты	57
Иванов Н. И., Вачаев А. В., Литвинов В. К., Осколков С. В. Ультразвуковой контроль трубных элементов теплогенераторов	62
Слесаренко В. И., Щетинин В. М. Особенности режима испарителя струйно-ударного типа	66
Петряев Е. П., Власова В. И., Цодова Н. Н. К оценке эффективности обеззараживания хозяйственно-бытовых сточных вод ионизирующим излучением	70
Курзон А. Г., Мохов А. В. Статические характеристики котла-утилизатора теплоты выходящих газов судового газотурбогенератора	75
Павловский В. А., Федосеев Л. А. Приближенный инженерный расчет осредненных и пульсационных характеристик безотрывного турбулентного течения в каналах переменного сечения	80
Ткачук А. Я. Применение метода особенностей к анализу осредненного турбулентного движения в пограничном слое и трубах	87

При направлении статей в редакцию авторы должны придерживаться следующих правил.

1. Тщательно выверенная рукопись должна быть подписана автором (авторами) с указанием фамилии, имени, отчества, ученой степени, ученого звания, почтового адреса (с индексом), номера телефона и наименования учебного заведения, откуда исходит статья.

2. Шапку статьи необходимо оформлять в строгом соответствии с принятой в журнале формой: в левом углу сверху проставляется индекс по универсальной десятичной классификации (УДК), затем заглавие, звание, фамилия и инициалы автора, название института или учреждения, представляющего рукопись для опубликования.

3. Объем статьи вместе с таблицами, списком литературы и подрисованными подписями не должен превышать 7 страниц и 3 рисунка, включая рисунки, помеченные буквами а, б и т. д.

4. Рукопись представляется в двух экземплярах, напечатанных на машинке (не портативной!) на листах стандартного формата с полями шириной 2,5—3 см с левой стороны. Все материалы — текст, литература, подрисованные подписи — должны быть напечатаны через два интервала. Реферат должен быть напечатан на отдельном листе, объем — не более 1/3 страницы.

5. В рукописи должны применяться единицы Международной системы (СИ).

6. Формулы и обозначения вписываются в оба экземпляра рукописи черной тушью или чернилами свободно, крупно: заглавные буквы 8 мм, строчные 4 мм, индексы 2 мм; расстояние между текстом и формулой и формулами не менее 1 см. Должны быть соблюдены различия в начертании прописных и строчных букв, особенно таких, как С и с, К и к, Р и р, U и u, V и v и т. п.

Прописные буквы подчеркиваются простым карандашом двумя черточками снизу (S), строчные — сверху (s). Обозначения векторных величин отмечаются синим карандашом прямой скобкой снизу (C). Для отличия от буквы O нуль отмечается прямой скобкой снизу (0). Индексы степени должны быть написаны строго ниже и выше тех символов, к которым они относятся; индексы отмечаются скобкой (), показатели степени — скобкой (). Буквы греческого алфавита должны быть обведены красным карандашом. Буквы латинского алфавита необходимо снизу обозначать курсивом (волнистой линией P), буквы русского алфавита, тригонометрические функции (sin, cos,

tg и т. д.), знаки гиперболических функций (sh, ch, th и т. д.), обозначения химических элементов (Ca, Na, Cu и т. д.), некоторые математические термины (lim, lg, ln, arg, const, var и т. д.), числа или критерии (Re, Pr, M, Nu и т. д.) отмечаются прямой скобкой снизу (tg, Na, const, M и т. д.).

Пример разметки формул

$$\ddot{u}(\omega t) = \sum_{k=0}^{\infty} U_k \sin(k\omega t + \varphi_k) + \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin(k\omega t + \varphi_k)$$

7. Иллюстрации представляются в двух экземплярах, выполненных черной тушью. На обратной стороне каждого рисунка указывается его порядковый номер и фамилия автора. Рисунки не вклеивать в текст! Подрисованные подписи должны быть напечатаны на отдельном листе.

8. Каждая таблица должна быть напечатана на отдельном листе, иметь поясняющий заголовок и ни в коем случае не дублировать графический материал. В таблицах следует избегать длинных наименований, применяя используемые в рукописи обозначения и общепринятые сокращения.

9. Перечень литературных источников (литература) представляется общим списком в конце рукописи. Список составляется в последовательности ссылок в тексте (а не в алфавитном порядке). В тексте рукописи ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки (напр., [2]). Ссылки на работы, не опубликованные в печати, не допускаются. Литературные ссылки должны быть сделаны в соответствии с ГОСТом 7.1-84.

Примеры библиографических описаний.

1. Александров Г. Н. Коронный разряд на линиях электропередачи. — М.: Энергия, 1964. — 288 с.

2. А. с. 513351 (СССР). Стабилизатор постоянного тока / С. Г. Перминов // Бюл. изобр. — 1976. — № 17.

3. Результаты перевода пылеугольного котла паропроизводительностью 89 кг/с на сжигание водоугольной суспензии / А. М. Хидиятов, В. В. Осинцев, С. В. Гордеев и др. // Теплоэнергетика. — 1987. — № 1. — С. 5—10.

4. Братчиков В. Н. Золовой износ труб, наклонно расположенных к потоку // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). — 1959. — № 5. — С. 95—100.

10. В статье обязательно должна быть указана область практического применения рассматриваемых вопросов в энергетике.

11. При несоблюдении указанных требований статья возвращается автору без рассмотрения.

12. Гонорар авторам не выплачивается, отски не высылаются.

Кожевников С. Н. Геометрический критерий плавности контура профиля турбинной лопатки	91
Гнесин В. И., Солодов В. Г. Численное исследование нестационарных характеристик турбинных ступеней, аэродинамически взаимодействующих с камерой отбора	93
Брянцев В. А., Федоров Л. Ф., Гусев Г. Б. О влиянии локальной закрутки однофазного потока на гидравлическое сопротивление горизонтальных и вертикальных стержневых сборок	97
Семенюк Л. Г., Моисеев В. И., Дугинов В. Е., Кунцевич Б. В., Мороз С. П. Влагодосодержание продуктов сгорания комплексных энергоустановок	100
Барболин В. С., Берг Б. В., Филипповский Н. Ф. Эрозионный износ труб в кипящем слое	104

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Кехтохян Г. Д. Определение коррективов потенциальной энергии и негидростатичности в выходном сечении напорных донных водосбросов при свободном растекании за ними	107
Гривнин Ю. А. Математическая модель динамического воздействия кавитации	112
Морошкин М. Я. Автоколебательные режимы истечения двухфазных сред из регулируемых струйных сопел при удалении осадков	118

ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ

Ахундов Э. Б., Кириленко В. О., Гладышева И. Н. О формировании структуры энергосистем европейской части СССР	123
--	-----

БИБЛИОГРАФИЯ

Лебедев И. К., Карякин С. К. О книге В. А. Веникова, Е. В. Путятина «Введение в специальность: электроэнергетика»	127
---	-----

ЮБИЛЕИ

Профессор Анатолий Иванович Андрущенко (к 75-летию со дня рождения)	128
---	-----



Главный редактор М. И. Стрелюк

Редакционная коллегия

А. И. АНДРЮЩЕНКО, Д. А. АРЗАМАСЦЕВ, С. Н. АСАМБАЕВ, Р. И. БОРИСОВ, Ю. М. ВОЛОКОБИНСКИЙ, Д. Я. ГЛУХОВ, И. А. ГРУЗДЕВ, В. А. ИВАНОВ, А. С. КАРИМОВ, В. С. КАХАНОВИЧ (зам. главного редактора), А. И. КИРИЛЛОВ, А. Д. КЛЮЧНИКОВ, Д. П. КУЛУМБЕГАНШВИЛИ, В. П. ЛАРИОНОВ, А. Т. ЛЕБЕДЕВ, А. М. ЛЕОНКОВ, В. Г. ЛИСИЕНКО, Ю. А. МАЛЕВИЧ (зам. главного редактора), Б. Н. НЕКЛЕПАЕВ, В. И. НОВАШ, В. И. ОБРЕЗКОВ, Г. М. ПАВЛОВ, Г. Е. ПОСПЕЛОВ, Н. Г. РАССОХИН, Е. Я. СОКОЛОВ, В. И. ХВОСТОВ, В. М. ЧЕБАН, Д. С. ЩАВЕЛЕВ, Ю. Я. ЩЕЛЫКАЛОВ, Ю. В. ЩЕРБИНА, И. П. ЭПИК.

Ответственный секретарь редакции Т. В. Ермоленко

Редактор Т. Ф. Добыш

Корректор Т. Н. Качан

Сдано в набор 20.07.89. Подписано к печати 12.09.89. АТ 10761. Формат бумаги 70×108¹/₁₆. Бумага типографская № 2. Печать высокая. Усл. печ. л. 11,2. Усл. краско-отт. 12,25. Уч.-изд. л. 12,3. Тираж 2485 экз. Заказ 316. Цена 1 р. 20 к.

Адрес редакции: 220027, Минск, Ленинский пр., 65. Белорусский политехнический институт, корп. 2, ком. 327. Телефон 32-65-14.

Адрес ордена Трудового Красного Знамени типографии издательства ЦК КП Белоруссии: 220041, Минск, Ленинский пр., 79.

Теперь управление величинами $\tilde{\delta}$ и $\tilde{\omega}$ производится за счет вариации схемы расстановки распорок в пролете.

Схему расстановки распорок, т. е. систему значений геометрических параметров η_1, \dots, η_m , назовем оптимальной, если она обеспечивает максимальное значение δ .

Имеем необходимые условия оптимальности схемы расстановки:

$$\partial\Psi_1/\partial\eta_1=0, \dots, \partial\Psi_1/\partial\eta_m=0.$$

Решая систему нелинейных уравнений относительно η_1, \dots, η_m , получим оптимальную расстановку распорок.

Разработанный алгоритм дает возможность оценивать на стадии проектирования РФ ту или иную схему расстановки распорок.

ВЫВОДЫ

1. Построена линейная вязко-упругая модель колебаний провода в подпролетах расщепленной фазы.
2. Показаны возможности количественной оценки диссипирующих свойств фазы и вязких свойств распорок.
3. Предложена схема построения методики оптимального проектирования расщепленной фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванько В. И., Яковенко М. Г., Виноградов А. А. Колебания проводов расщепленной фазы воздушных ЛЭП в подпролетах // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений).— 1989.— № 9.— С. 27—32.
2. О вибрациях проводов воздушных линий электропередачи и о борьбе с ними / В. В. Болотин и др. // Тр. МЭИ.— 1959.— № 32.— С. 21—53.
3. Ванько В. И. О собственных частотах колебаний проводов воздушных ЛЭП // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений).— 1987.— № 8.— С. 7—11.
4. Бидерман В. Л. Прикладная теория механических колебаний.— М.: Высшая школа, 1972.— 415 с.
5. Степанов В. В. Курс дифференциальных уравнений.— М.: Физматгиз, 1959.— 468 с.

Представлена кафедрой
прикладной математики

Поступила 29.06.1988

УДК 621.316.35.056.4.001.24

РАСЧЕТ КОЛЕБАНИЙ ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКИ ОРУ ПРИ ВЕТРОВЫХ РЕЗОНАНСАХ

Канд. техн. наук, доц. ДОЛИН А. П., инж. КОРЯГИН А. Л.

*Московский ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции
энергетический институт*

В ОРУ 110 кВ и выше все шире используются конструкции с жесткими трубчатыми шинами, обладающие высокими технико-экономическими показателями. Опыт эксплуатации показал, что они могут быть подвержены поперечным колебаниям при относительно небольших скоростях ветра. Колебания шин обусловлены срывами вихрей, направление которых попеременно меняется.

Если частота срыва вихрей совпадает с частотой собственных колебаний шин, может наступить ветровой резонанс (ветровое возбуждение). Продолжительные вибрации шин приводят к ослаблению болтовых контактов и крепежных соединений, дополнительным нагрузкам на элементы конструкции и даже усталостным повреждениям.

В статье излагается методика расчета наибольших прогибов шин, ме-

ханических напряжений в их материале, а также нагрузок на изоляторы при ветровых резонансах.

При расчете колебаний шины можно рассматривать как балку с равномерно распределенной массой [1]. Движение горизонтально расположенной шины при вихревых возбуждениях происходит в вертикальной плоскости, т. е. в плоскости осей изоляторов. Поэтому последние можно считать практически абсолютно жесткими, не участвующими в колебаниях.

Диссипативные силы, учитывающие рассеяние механической энергии при колебаниях шин, для упрощения расчета примем не зависящими от амплитуды колебаний. Тогда движение шины с учетом рассеяния энергии описывается дифференциальным уравнением [2]

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \mu EJ \frac{\partial^3 y}{\partial t \partial x^4} = q, \quad (1)$$

где E — модуль упругости материала шины, Па;

J — момент инерции, м^4 ;

y — прогиб, м;

m — погонная масса шины, кг/м;

q — нагрузка, Н/м;

μ — параметр затухания колебаний, связанный с коэффициентом h и логарифмическим декрементом затухания δ зависимостями

$$h = \frac{\delta \omega}{2\pi} = \mu \omega^2 / 2; \quad (2)$$

здесь ω — угловая частота, рад/с, собственных колебаний шины без учета затухания.

Нагрузка, Н/м, при ветровом резонансе равна [3, 4]

$$q = \frac{1}{2} \rho_v c_y D V_S^2 r_S, \quad (3)$$

где ρ_v — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c_y — коэффициент аэродинамических нагрузок (подъемной силы);

D — внешний диаметр шины, м;

V_S — струхалевская скорость ветра, м/с;

r_S — коэффициент, определяющий область скоростей ветра при устойчивых колебаниях.

Струхалевская скорость (т. е. скорость потока, при которой частота срыва вихрей с поверхности неподвижного тела совпадает с частотой его собственных колебаний) при направлении ветра, перпендикулярном оси шины, вычисляется по формуле

$$V_S = D f_k / Sh, \quad (4)$$

где $Sh \approx 0,2$ — число Струхалия;

k — номер формы собственных колебаний шины.

Собственные частоты колебаний

$$f_k = \sqrt{\omega_k^2 - h_k^2} / 2\pi = \Omega_k / 2\pi,$$

$$\text{где } \omega_k = \frac{r_k^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}; \quad (5)$$

здесь l — длина пролета шины, м;

r_k — параметры частоты (корни характеристического уравнения колебания балки).

Резонансные колебания наблюдаются не только при струхалевской скорости ветра, но и в диапазоне скоростей $V_S r_{S \min} \leq V \leq V_S r_{S \max}$. Области изменения скоростей ветра (коэффициента r_S) зависят от диаметра шин [4] и других факторов. Наименьшие значения коэффициента $r_{S \min}$ составляют 0,7—1,0, а наибольшие — $r_{S \max}$ — 1,0—1,37 [3—5].

Коэффициент аэродинамических нагрузок при резонансных срывах вихрей изменяется приближенно по гармоническому закону $c_y = c_{y0} \sin pt$. Безразмерный коэффициент c_{y0} связан с амплитудой колебаний [3]

$$c_{y0} \approx c_0 + 0,17 y_{*0} + 1,0 y_{*0}^3 - 0,7 y_{*0}^5, \quad (6)$$

где c_0 — коэффициент подъемной силы неподвижного цилиндра;

$y_{*0} = y_0 / D$ — отношение амплитуды колебаний цилиндра к его диаметру.

При числах Рейнольдса меньше критического значения ($Re_{кр} \approx 2 \cdot 10^5$), что характерно для шин ОРУ при ветровом резонансе, коэффициент c_0 равен 0,8. В соответствии с (6) c_{y0} лежит в пределах 0,8—1,3 и достигает максимального значения при $y_{*0} \approx 0,95$. При больших значениях относительного прогиба c_{y0} можно принять постоянным, равным 1, 3 [3].

Таким образом, нагрузка в правой части уравнения (1) является функцией времени t , а также амплитуд колебаний $y_0(x)$. В практических расчетах распределение подъемной силы вдоль балки можно представить кусочно-постоянной функцией, которая в пределах выделенных интервалов $\{x_{n-1}, x_n\}$ ($n=1, 2, \dots, N$) зависит от амплитуды только одной точки, например с координатой $x_{cn} = (x_{n-1} + x_n) / 2$ (рис. 1).

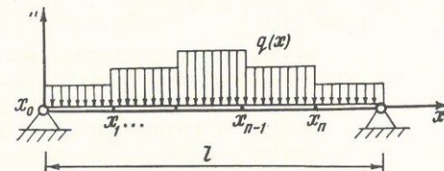


Рис. 1

Решение дифференциального уравнения (1) имеет вид суммы общего решения y_1 однородного уравнения и частного решения y_2 уравнения с правой частью. Составляющая y_1 полного прогиба определяет свободные колебания шины, которые вследствие внутреннего и внешнего трения с течением времени затухают. Составляющая y_2 , равная прогибу в установившемся режиме, отыскивается в виде разложения по фундаментальным функциям

$$y(x, t) = y_2(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} S_k(t) X_k(x), \quad (7)$$

где S_k — функции времени;

X_k — фундаментальные (собственные) функции, зависящие от граничных условий.

Например, при шарнирном опирании балок (характерном для шин ОРУ) собственные функции, ортонормированные в интервале $(0, l)$, имеют вид

$$X_k = \sqrt{2} \sin \frac{r_k x}{l} / \sqrt{l},$$

где $r_k = k\pi$ ($k=1, 2, 3, \dots$) [2].

Подставляя (7) в (1), с учетом ортогональности и нормировки фундаментальных функций, после преобразования приходим к обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка

$$S_k''(t) + \mu \omega_k^2 S_k'(t) + \omega_k^2 S_k(t) = \frac{1}{m} H_k(t), \quad (8)$$

где

$$H_k(t) = \int_0^l q(y_{0n}, x, t) X_k(x) dx.$$

Решение уравнения (8) с учетом (2)

$$S_k(t) = \int_0^t \frac{e^{-h_k(t-\tau)}}{m \Omega_k} H_k(\tau) \sin \Omega_k(t-\tau) d\tau. \quad (9)$$

Принимая во внимание, что в режиме установившихся резонансных колебаний $\lim_{t \rightarrow \infty} \exp(-h_k t) = 0$, решение (7) имеет вид

$$y(x, t) = \sum_{k=1}^N \frac{\left[\sum_{n=1}^N q_n(y_{0n}) (\cos r_h \zeta_{n-1} - \cos r_h \zeta_n) \right] \sin \frac{r_h x}{l}}{m \Omega_k r_h} \times \left[\frac{h_k \cos pt + (\Omega_k + p) \sin pt}{h_k^2 + (\Omega_k + p)^2} - \frac{h_k \cos pt - (\Omega_k - p) \sin pt}{h_k^2 + (\Omega_k - p)^2} \right], \quad (10)$$

где $q_n(y_{0n})$ — значение нагрузки равномерно распределенной на интервале $\{\zeta_{n-1} = x_{n-1}/l; \zeta_n = x_n/l\}$.

Нагрузки на изоляторы, H , и напряжения в материале шины, σ , определяются по формулам

$$R = 2EJ \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \Big|_{x=0}^{x=l} \quad \text{и} \quad \sigma = \frac{EJ}{W} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2},$$

где W — момент сопротивления поперечного сечения шины, м^3 .

Расчеты показывают, что максимальные прогибы, нагрузки и напряжения наступают при времени, равном $t_{\text{расч}} \approx (j-1)\pi/\Omega_k$ (где $j = 1, 2, 3, \dots$). Подставляя $t = t_{\text{расч}}$ в уравнение (10) и требуя его выполнения в точках с координатами $x = x_{cn} = (x_{n-1} + x_n)/2$ ($n = 1, 2, \dots, N$), в результате приходим к системе N уравнений вида

$$y_{0n} = f(y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0N}), \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

решение которой проводилось методом последовательных итераций. В качестве начальных приближений взяты y_{0n} при равномерно распределенной по длине шины нагрузке, пропорциональной наименьшему аэродинамическому коэффициенту c_{y0} , равному 0,8.

Если условия опирания (закрепления) шины на изоляторах (граничные условия) одинаковые, то распределение нагрузки симметрично относительно середины пролета и четные формы колебаний ($k = 2, 4, 6, \dots$) не возбуждаются. При расчетах таких конструкций удерживалось три члена ряда разложения (7) по нечетным фундаментальным функциям, а четные — принимались равными нулю. При разбиении пролета шины на 5 интервалов и относительной погрешности расчета 0,005 продолжительность вычислений на ЭВМ ЕС 1045 прогибов, нагрузок и напряжений для одного варианта составляла менее 1 с.

Были проведены расчеты наибольших прогибов, а также нагрузок на изоляторы и напряжений в материале шин конструкций с длиной пролета 8—21 м, диаметром шин 80—250 мм, толщиной стенки 4—12 мм, декрементом затухания 0,01—0,4. Наиболее тяжелые условия работы шинных конструкций возникают при ветровом резонансе первой (основной) формы колебаний. При резонансе третьей формы наибольший прогиб оказывается в 2—3,5 раза меньше, чем при ветровых возбуждениях с частотой основного тона.

В качестве примера на рис. 2 приведены зависимости наибольших относительных прогибов шин от декремента затухания при ветровых резонансах первой (кривые 1 и 2), а также третьей (кривая 3) форм колебаний двух шинных конструкций, имеющих следующие параметры:

Конструкция	Номер кривой на рис. 2	D , мм	b , мм	l , м	m , кг/м	f_1 , Гц	V_{S1} , м/с
I	1; 3	90	4,5	15,4	3,7	2,94	1,32
II	2	120	10	14,0	9,6	1,57	0,94

(здесь b — толщина стенки шины; V_{S1} — струхалевская скорость при резонансе первой формы).

На рис. 3 представлены зависимости нагрузок на изоляторы и напряжений в материале шины при резонансе с частотой основного тона кон-

струкции I. Модуль упругости материала шины E принят $7 \cdot 10^{10}$ Па, коэффициент $r_s = 1,0$.

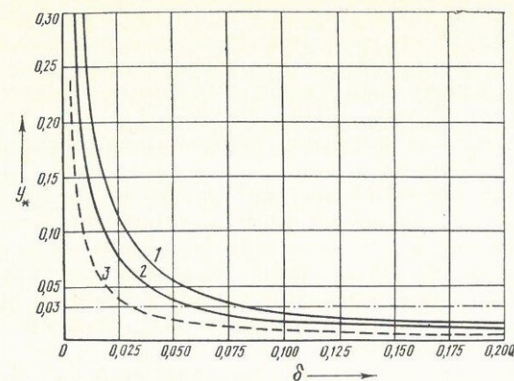


Рис. 2

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшие относительные прогибы практически не зависят от длины пролета шины, прямо пропорциональны диаметру и обратно пропорциональны толщине стенки шины, плотности ее материала и декременту затухания. Поэтому при гололеде следует ожидать увеличения амплитуды колебаний при вихревых возбуждениях. Напряжения в материале шин и нагрузки на изоляторы невелики и, как правило, остаются много ниже соответственно временных сопротивлений разрыву (а также пределов выносливости) алюминиевых сплавов и разрушающих нагрузок изоляторов.

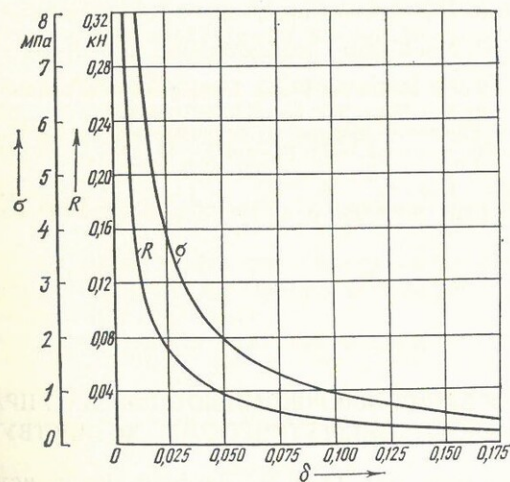


Рис. 3

Результаты расчетов сопоставлялись с экспериментальными данными [5]. Аналитические значения прогибов, вычисленные при $r_s \approx 0,7-1,0$, отличаются на 5—70% от полученных при испытаниях. Однако измеренные амплитуды колебаний не всегда достигали установившихся (наибольших) значений. В расчетах не учитывалась также зависимость затухания от амплитуды колебаний и декременты принимались равными средним значениям, указанным в [5]. Погрешность расчета значительно уменьшается (не превосходит 10%), если скорость ветра принять равной наименьшей резонансной скорости (т. е. $r_s = 0,7$).

Устойчивым поперечным ветровым вибрациям предшествуют беспорядочные колебания с малой амплитудой [3—5]. При резонансной скорости ветра амплитуды постепенно возрастают и процесс может стабилизироваться. Синхронизация отрывов вихрей и стабилизация колебаний наблюдаются при относительной амплитуде колебаний y_{*0} , равной 0,015—0,1. Бóльшее значение определено в лабораторных условиях при испытаниях круглых цилиндров [3], меньшая амплитуда синхронизации установлена при колебаниях шин диаметром 250 мм [5]. Для шин диаметром до 120 мм относительная амплитуда синхронизации составляет, по-видимому, не менее 0,025—0,03.

Если увеличить рассеяние энергии (декремент затухания), можно снизить амплитуду колебаний и в итоге предотвратить устойчивые ветровые вибрации. На рис. 2 штрих-пунктирной прямой ограничены области малых амплитуд колебаний с низкой вероятностью синхронизации отрыва вихрей. Точки пересечения этой прямой с кривыми прогибов определяют наименьшие значения декрементов затухания, при которых вихревое возбуждение не возникает.

Для искусственного увеличения диссипативных сил внутри трубчатых шин прокладывают отрезки проводов (тросов) или стержни, применяют специальные шинодержатели, увеличивающие рассеяние энергии при колебаниях шин, и другие устройства. Например, шинные конструкции заводского изготовления напряжением 110 кВ с шинами диаметром 90—120 мм, как показали экспериментальные исследования, обычно имеют декремент затухания не менее 0,15—0,25. Расчеты и длительная практика эксплуатации подтверждают надежную «отстройку» этих конструкций от устойчивых ветровых резонансных колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев Е. П., Долин А. П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств.— М.: Энергия, 1981.— 96 с.
2. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем.— М.: Машиностроение, 1970.— 736 с.
3. Девнин С. И. Аэромеханика плохообтекаемых конструкций.— Л.: Судостроение, 1983.— 320 с.
4. Diana G., Falco M. On the Forces Transmitted to a Vibrating Cylinder by a Blowing Fluid // *Meccanica*.— 1971.— Vol. 6.— N 1.— P. 9—22.
5. Schlotz H. Eigenschwingungen an Stromschienen aus Al-Röhren und deren Dämpfung // *Elektrizitäts wirtschaft*.— Ig 74.— 1975.— H. 18.— S. 697—702.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 31.12.1987
После доработки 28.06.1988

УДК 621.316.17

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОКОМПЬЮТЕРОВ НА УПРАЖНЕНИЯХ ПО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ХОЗЯЙСТВУ

*Докт. техн. наук, доц. ТВАРДЫ Л., докт. техн. наук, доц.
НЕБЖИДОВСКИ Е.*

Белостокский политехнический институт (ПНР)

Канд. техн. наук, доц. ЦЫГАНКОВ В. М.

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт

Развитие вычислительной техники в 80-е годы характеризуется появлением микрокомпьютеров (персональных ЭВМ) и революцией в области их использования. Возможности, создаваемые персональными ЭВМ (дешевизна, легкость обслуживания, доступность, иллюстративность, эффективность расчетов), способствуют их широкому внедрению и для обучения студентов.

Продолжается подписка на 1990 год

на ежемесячный научно-технический журнал ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ЭНЕРГЕТИКА

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав, научных сотрудников и студентов вузов, преподавателей и учащихся техникумов, на научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных институтов, энергетических и промышленных предприятий и организаций.

В пяти основных тематических разделах журнала (общая энергетика, электроэнергетика, теплоэнергетика, гидроэнергетика, экономика энергетике) публикуются статьи:

обзорно-проблемные по ведущим направлениям развития энергетике;

по электроэнергетическим системам, их автоматизации и релейной защите;

по электрической части электростанций и подстанций, электрическим сетям и линиям электропередачи, технике высоких напряжений, по электроснабжению городов, промышленных предприятий и сельского хозяйства;

по термодинамике и теплофизическим свойствам веществ, атомной энергетике, тепловым электростанциями и теплоснабжению, промышленной теплоэнергетике и энергетике теплотехнологий, по тепло- и массообмену в энергетических установках;

по различным вопросам гидроэнергетики и экономики энергетике.

В журнале публикуются также дискуссии по актуальным вопросам энергетике, статьи по научно-методическим основам изложения отдельных курсов и понятий, научно-техническая информация, материалы научных конференций и совещаний, отзывы на учебники, учебные пособия и монографии, информация о выходе из печати новых книг по энергетике, отмечаются юбилейные даты институтов, кафедр, видных ученых.

Подписка, индивидуальная и коллективная (на кафедру, отдел, лабораторию, студенческую группу), принимается с любого очередного месяца отделениями «Союзпечати» и общественными распространителями печати. Отдельные номера можно выписать наложенным платежом через редакцию журнала.

Подписная цена на год — 14 р. 40 к.

Цена отдельного номера — 1 р. 20 к.

Индекс журнала по каталогу «Союзпечати» — 70385.

За рубежом можно оформить подписку через фирмы и организации, распространяющие советские периодические издания.

Международный индекс журнала ISSN 0579—2983.

Адрес редакции: 220027, Минск, Ленинский проспект, 65. Белорусский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт, корп. 2, к. 327, тел. 32-65-14.