ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 60287-1-2— 2009

КАБЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ. РАСЧЕТ НОМИНАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ

Часть 1-2

Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Коэффициенты потерь, обусловленных вихревыми токами в оболочке, для двух цепей, расположенных в одной плоскости

IEC 60287-1-2:1993
Electric cables — Calculation of the current rating — Part 1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses — Section 2: Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation
(IDT)

Издание официальное

БЗ 12—2008/499

Москва
Стандартинформ
2009

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ОАО «ВНИИКП») на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 46 «Кабельные изделия»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 июня 2009 г. № 216-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60287-1-2:1993 «Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Раздел 2. Коэффициенты потерь, обусловленных вихревыми токами в оболочке, для двух цепей, расположенных в одной плоскости» (IEC 60287-1-2:1993 «Electric cables — Calculation of the current rating — Part 1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses — Section 2: Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении А

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2009

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Обозначения . . . 1
4 Описание метода . . . 2
4.1 Общие положения . . . 2
4.2 Основные положения метода . . . 3
4.3 Критерии для выбора формул и коэффициентов . . . 3
5 Формула коэффициентов потерь для оболочек с высоким сопротивлением в единичной цепи λ_0 . . . 4
6 Расчет коэффициентов H, N и J . . . 4
6.1 Распределение коэффициентов для каждого кабеля, временная последовательность и идентификация фаз . . . 4
6.2 Расчет коэффициентов H (1, 2 и 3), таблица 1 . . . 5
6.3 Расчет коэффициентов N (1, 2, 3, 4, 5 и 6), таблица 2 . . . 6
6.4 Расчет коэффициентов J (1, 2, 3, 4, 5 и 6), таблицы 3—11 . . . 6
6.5 Расчет коэффициентов G_s и g_s . . . 7
7 Транспозиция кабелей . . . 7
8 Примеры расчета потерь, обусловленных вихревыми токами . . . 8
8.1 Введение . . . 8
8.2 Пример 1 . . . 8
8.3 Пример 2 . . . 9
Приложение А (справочное) Сведения о соответствии национальных стандартов Российской Федерации ссылочным международным стандартам . . . 19

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАБЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ. РАСЧЕТ НОМИНАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ

Часть 1-2

Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Коэффициенты потерь, обусловленных вихревыми токами в оболочке, для двух цепей, расположенных в одной плоскости

Electric cables. Calculation of the current rating. Part 1-2. Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses. Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation

Дата введения — 2010—01—01

1 Область применения

В настоящем стандарте приведен метод расчета потерь, обусловленных вихревыми токами, в металлических оболочках одножильных кабелей, расположенных в одной плоскости в двух трехфазных цепях. Оболочки соединены в одной точке или перекрестно для того, чтобы не было в оболочках значительных циркулирующих токов. Если металлические оболочки соединены с обоих концов, имеют место значительные циркулирующие токи, которые влекут за собой уменьшение допустимой токовой нагрузки. Метод расчета потерь, обусловленных циркулирующими токами, для двух трехфазных цепей находится в стадии рассмотрения.

Метод, описанный в настоящем стандарте, дает поправочные коэффициенты, которые применяются для корректировки коэффициентов потерь в оболочках единичной изолированной трехфазной цепи. Этими поправками можно пренебречь для кабелей, у которых параметр m менее 0,1 ($m = \omega/10^7 R_s$), что соответствует продольному сопротивлению оболочки более 314 мкОм/м при частоте 50 Гц.

Соответственно этот метод следует использовать для большинства сечений кабелей с алюминиевой оболочкой, но нет необходимости его применять для кабелей со свинцовой оболочкой при условии, что они не имеют слишком больших сечений жил.

Коэффициенты даны в таблицах и рассчитаны на основе фундаментальных формул для потерь в оболочках, для вычисления коэффициентов требуется программирование на ЭВМ, что иногда трудно осуществить в текущих коммерческих ситуациях. В стадии рассмотрения находится создание упрощенных формул для некоторых коэффициентов, приведенных в таблицах.

Расчет потерь для кабелей в единичной цепи приведен в МЭК 60287-1-1.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий международный стандарт:

МЭК 60287-1-1:2006 Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения.

Примечание — Для датированных ссылок используют только указанное в ссылке издание. Для недатированных ссылок используют самое последнее издание (включая изменения).

3 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

A, B, C, D — коэффициенты, используемые при определении H и J методом интерполяции;

Издание официальное

D_s — наружный диаметр металлической оболочки, мм;

D_{it} — диаметр воображаемого соосного цилиндра, касающегося внутренней поверхности впадин гофрированной оболочки, мм;

D_{oc} — диаметр воображаемого соосного цилиндра, касающегося выступов гофрированной оболочки, мм;

G_s — коэффициент, который учитывает потери, обусловленные вихревыми токами в толще оболочки, вызываемыми током в жиле;

R — сопротивление жилы переменному току при максимальной рабочей температуре, Ом/м;

R_s — сопротивление оболочки, Ом/м;

S, T, U, V — коэффициенты, используемые при определении J методом интерполяции;

c — расстояние между осями кабелей двух соседних цепей (см. рисунок 1), мм;

d — средний диаметр оболочки, мм;

f — частота системы, Гц;

g_s — коэффициент, который учитывает потери, обусловленные вихревыми токами в толще оболочки, вызываемыми токами в соседних кабелях;

m — $\frac{\omega}{R_s}10^{-7}$;

s — расстояние между осями кабелей одной цепи, мм;

t_s — толщина оболочки, мм;

y — $\frac{s}{c}$;

z — $\frac{d}{2s}$;

β_1 — коэффициент, используемый в 6.5;

λ_0 — коэффициент потерь для оболочки с высоким сопротивлением в единичной цепи;

λ_1^* — коэффициент потерь для оболочки с низким сопротивлением в единичной цепи;

λ_{1d}^* — коэффициент потерь для оболочки с низким сопротивлением для двух трехфазных цепей;

ρ_s — удельное электрическое сопротивление материала оболочки при рабочей температуре, Ом · м;

ω — угловая частота системы ($2\pi f$), 1/с.

4 Описание метода

4.1 Общие положения

Метод, представленный в настоящем стандарте, аналогичен расчету единичных цепей по МЭК 60287-1-1. Там приведены формулы для коэффициентов потерь для оболочек, имеющих продольное сопротивление, при котором m менее 0,1 (R_s = 314 мкОм/м при частоте 50 Гц), совместно с эмпирическими формулами, позволяющими рассчитать поправочные коэффициенты для оболочек с меньшим сопротивлением.

Однако для двух трехфазных цепей точные эмпирические формулы, охватывающие полную гамму коэффициентов, должны иметь такое большое число членов, что использование таких формул давало бы мало или совсем не давало преимуществ по сравнению с использованием точных коэффициентов, представленных в таблицах наряду с возможностью их интерполяции. Последний подход дает то преимущество, что точность коэффициентов потерь может быть равна точности исходных расчетов и давать погрешность не более 1 %.

Эмпирические формулы для ограниченного диапазона коэффициентов находятся в стадии рассмотрения.

Для наглядности для описания метода выбран способ, позволяющий выполнять расчеты вручную. Но принимая во внимание значительный объем расчетов для получения коэффициентов потерь для шести кабелей, предполагается, что расчеты будут выполняться на ЭВМ. В этих условиях совершенно оправдана (при необходимости) интерполяция между табличными значениями.

Однако во многих случаях значения соответствующих параметров будут таковы, что интерполяция будет не нужна или она может быть выполнена с достаточной точностью простым подбором.

Поправочные коэффициенты, учитывающие эффект вихревых токов в оболочке, получены с использованием тех же формул, которые приведены в МЭК 60287-1-1.

4.2 Основные положения метода

Коэффициент потерь в оболочке данного кабеля для двух трехфазных цепей, расположенных в одной плоскости (см. рисунок 1), рассчитывают следующим образом:

$$\lambda'_{1d} = \frac{R_s}{R}\,[\,\lambda_0\, H(\text{от 1 до 3})\, N(\text{от 1 до 6})\, J(\text{от 1 до 6})\, g_s + G_s], \qquad (1)$$

где λ'_{1d} — коэффициент потерь для оболочки с низким сопротивлением для двух трехфазных цепей;

λ_0 — коэффициент потерь для оболочки с высоким сопротивлением в единичной цепи;

H (от 1 до 3) — поправочные коэффициенты для сопротивления оболочки, относящиеся к кабелям 1, 2 или 3 в единичной цепи;

N (от 1 до 6) — коэффициенты, учитывающие взаимные влияния между цепями и в связи с этим зависящие от порядка следования фаз в кабелях 1—3 и 4—6;

J (от 1 до 6) — коэффициенты, зависящие от положения кабелей 1—3 и 4—6 в каждой цепи;

g_s — коэффициент, учитывающий потери, обусловленные вихревыми токами в толще оболочки, вызываемыми токами в соседних кабелях;

G_s — коэффициент, учитывающий потери, обусловленные вихревыми токами в толще оболочки, вызываемыми током в жиле.

Роль, которую играют коэффициенты N и J, не связана непосредственно с физической функцией, но они выбраны для упрощения табличного представления. Обозначения являются произвольными.

Значения H, N и J получают из таблиц 1—11 и выбирают в зависимости от представленных ниже параметров, а также от положения кабеля и фазовой последовательности токов в жилах:

$$m = \frac{\omega}{R_s}\,10^{-7},$$

где $\omega = 2\pi f$;

f — частота системы, Гц;

R_s — сопротивление оболочки при рабочей температуре, Ом/м;

$$z = \frac{d}{2s},$$

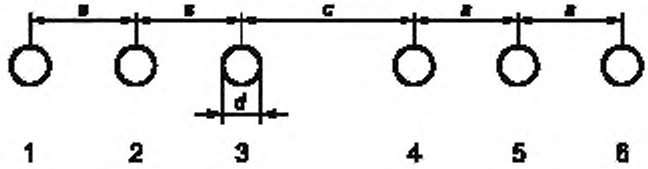
где s — расстояние между осями кабелей одной цепи, мм;

d — средний диаметр оболочки, мм;

$$y = \frac{s}{c},$$

где c — расстояние между осями кабелей двух соседних цепей (см. рисунок 1), мм.

Рисунок 1 — Расположение кабелей



Примечание — Для единичной цепи с оболочками с низким сопротивлением коэффициенты потерь могут быть получены с использованием только коэффициентов H (1, 2 и 3), как представлено ниже

$$\lambda'_1 = \frac{R_s}{R}[\lambda_0\, H\,(\text{от 1 до 3})\, g_s + G_s].$$

4.3 Критерии для выбора формул и коэффициентов

Для оболочек, значение m у которых менее 0,1, что имеет место для большинства кабелей в свинцовой оболочке, можно принять, что коэффициенты H, N, J и g_s равны единице, и G_s равен нулю. При этих условиях λ_0 можно использовать для двух трехфазных цепей без коррекции.

Если значение m равно или более 0,1, что обычно характерно для всех кабелей, за исключением кабелей небольших размеров в алюминиевой оболочке, следует определять значения H, N, J и g_s. Коэффициент G_s следует определять, только если значение m равно или более единицы.

5 Формула коэффициентов потерь для оболочек с высоким сопротивлением в единичной цепи λ_0

Коэффициент потерь в оболочке λ_0 определяют по следующей формуле:

$$\lambda_0 = C\frac{m^2}{(1+m^2)}\left[\frac{d}{2s}\right]^2. \qquad (2)$$

Для трех расположенных в одной плоскости одножильных кабелей коэффициент C следующий:

Кабель	Коэффициент C
Центральный кабель Внешние кабели	6 1,5

6 Расчет коэффициентов *H*, *N* и *J*

6.1 Распределение коэффициентов для каждого кабеля, временная последовательность и идентификация фаз

Важно отметить, каким образом коэффициенты *H*, *N* и *J* зависят от временной последовательности токов и физического положения жил.

Кабели должны быть пронумерованы в соответствии с рисунком 1.

Коэффициенты *H* (1, 2 и 3), таблица 1, распределены в зависимости от временной последовательности, связанной с положением кабелей так, что, например, следующие схемы расположения кабелей единичной цепи имеют ту же временную последовательность:

Номер кабеля	1	2	3
Последовательность (схема 1)	R	S	T
Последовательность (схема 2)	S	T	R
Последовательность (схема 3)	T	R	S
с коэффициентами	H_1	H_2	H_3.

В вышеприведенном примере кабель 1 всегда является внешним проводником опережающей фазы и соответствует коэффициенту H_1. Кабель 3 является внешним проводником отстающей фазы и соответствует коэффициенту H_3.

Очевидно, что для этих кабелей идентификация фаз символами R, S и T[1)] не является важной, важна только временная последовательность.

В двух трехфазных цепях, если любая из цепей имеет обратную последовательность, значения *H* должны быть присвоены кабелям в обратном порядке. Распределение коэффициента *H* зависит от временной последовательности в пределах каждой цепи.

В конфигурации из двух трехфазных цепей идентификация фаз, выражаемая символами, существенна в том, что идентификация фаз в отношении положения кабелей в единичной цепи может быть или такой, как в другой цепи (прямая последовательность), либо быть зеркальным отражением (обратная последовательность).

Два набора коэффициентов *N* (1, 2, 3, 4, 5 и 6), соответствующие прямой и обратной последовательностям, приведены в таблице 2. Если положения кабелей маркированы последовательно в соответствии с правилами идентификации фаз, коэффициенты распределяют на той же основе, что и коэффициент *H*. Следует отметить, что значения для кабелей 4, 5 и 6 в обратной последовательности представляют собой отражение значений для кабелей 1, 2 и 3.

Число входных параметров, необходимых для коэффициентов *J* (1, 2, 3, 4, 5 и 6), требует использования нескольких таблиц. Таблицы 3—8 — для каждого кабеля при установке в прямой последовательности. Таблицы 9—11 — для обратной последовательности, а коэффициенты для кабелей 1—3 используют также для кабелей 6—4 в указанном порядке. Распределение коэффициентов — в тех же направлениях, что и коэффициента *N*.

[1)] Буквы R, S, T использованы для удобства и эквивалентны другим известным наборам символов для указания временной последовательности и идентификации фаз, таких как L_1, L_2, L_3; a, b, c, R, Y, B и т. д.

Ниже даны примеры для четырех обычных вариантов:

Прямая последовательность

Номер кабеля	1	2	3	4	5	6	
Последовательность	R	S	T	R	S	T	
Распределение H	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	таблица 1
Распределение N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	таблица 2/прямая
Распределение J	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	таблицы 3—8/прямая.

Прямая последовательность

Номер кабеля	1	2	3	4	5	6	
Последовательность	T	S	R	T	S	R	
Распределение H	H_3	H_2	H_1	H_3	H_2	H_1	таблица 1
Распределение N	N_6	N_5	N_4	N_3	N_5	N_1	таблица 2/прямая
Распределение J	J_6	J_5	J_4	J_3	J_2	J_1	таблицы 3—8/прямая.

Обратная последовательность

Номер кабеля	1	2	3	4	5	6	
Последовательность	R	S	T	T	S	R	
Распределение H	H_1	H_2	H_3	H_3	H_2	H_1	таблица 1
Распределение N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	таблица 2/обратная
Распределение J	J_1	J_2	J_3	J_4	J_2	J_6	таблицы 9—11/обратная.

Обратная последовательность

Номер кабеля	1	2	3	4	5	6	
Последовательность	T	S	R	R	S	T	
Распределение H	H_1	H_2	H_3	H_3	H_2	H_1	таблица 1
Распределение N	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	таблица 2/обратная
Распределение J	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	таблицы 9—11/обратная.

6.2 Расчет коэффициентов H (1, 2 и 3), таблица 1

Каждый из коэффициентов H получают по таблице 1 с использованием параметров m и z, с учетом положения каждого кабеля (см. 6.1).

Если для значений параметров m и z требуется интерполяция между значениями таблицы 1 и интерполяция подбором нежелательна, можно использовать следующую процедуру.

Из соответствующей части таблицы 1 получают значения H (a, b, c, d), как показано ниже:

	z_0	z	z_1
m_0	H_a		H_c
m		H	
m_1	H_b		H_d

,

где m_0, m_1, z_0 и z_1 являются табличными значениями, бóльшими и меньшими, чем значения m и z.

Значения представляют следующим образом:

m_0 _____
m_1 _____
z_0 _____
z_1 _____
H_a _____
H_b _____
H_c _____
H_d _____

$M = (m_1 - m_0)$ _____

$Z = (z_1 - z_0)$ _____

Затем определяют коэффициенты A, B,C, D:

$A = H_a$ =_____
$B = (H_b - H_a)/M$ =_____
$C = (H_c - H_a)/Z$ =_____
$D = (H_d + H_a - H_c - H_b)/MZ$ =_____

Все суммируют:

A =_____
$+ B(m - m_0)$ =_____
$+ C(z - z_0)$ =_____
$+ D(m - m_0) \cdot (z - z_0)$ =_____
Коэффициент H = итог

Чтобы получить H_1, H_2 и H_3, данную процедуру повторяют для каждого из трех кабелей цепи.

6.3 Расчет коэффициентов *N* (1, 2, 3, 4, 5 и 6), таблица 2

Значения коэффициента N получают по таблице 2 с использованием параметра y для каждого кабеля. В таблице 2 даны значения для прямой и обратной последовательности. Следует отметить, что в случае обратной последовательности коэффициенты для кабелей 4, 5 и 6 представляют собой зеркальное отражение коэффициентов для кабелей 1—3.

Если интерполяция оказывается необходимой, используют одномерную линейную интерполяцию.

6.4 Расчет коэффициентов *J* (1, 2, 3, 4, 5 и 6), таблицы 3—11

Значения коэффициента J для каждого кабеля получают по таблицам 3—11 в соответствии с последовательностью токов и параметрами m, z и y.

Таблицы 3—8 используют для шести кабелей, если токи в жилах соответствуют прямой последовательности. При обратной последовательности таблицы 9—11 используют для кабелей 1—3, а также для кабелей 6—4 в указанном порядке.

Может оказаться необходимой интерполяция между всеми тремя входными параметрами, тогда можно использовать следующую схему трехмерной интерполяции.

Табличные значения для каждого кабеля располагают группами по одной для каждого значения параметра y. Выбирают две группы: одну для значения y меньшего, а другую для значения бóльшего, чем входное значение. Для каждой группы необходимы значения J (от a до d) и J (от e до f) (подобно интерполяции, выполненной для H), как показано ниже:

	z_0	z	z_1
m_0	J_a		J_c
m		*	
m_1	J_b		J_d

Группа для y_0

	z_0	z	z_1
m_0	J_e		J_g
m		*	
m_1	J_f		J_h

Группа для y_1.

Интерполяция между значениями, отмеченными *, дает требуемое значение J для каждого кабеля.

Значения можно представить следующим образом:

y_0 _____ z_0 _____ m_0 _____ J_a _____
m_1 _____ J_b _____
z_1 _____ m_0 _____ J_c _____
m_1 _____ J_d _____
y_1 _____ z_0 _____ m_0 _____ J_e _____
m_1 _____ J_f _____
z_1 _____ m_0 _____ J_g _____
m_1 _____ J_h _____

$M = (m_1 - m_0)$ _____ $Z = (z_1 - z_0)$ _____ $Y = (y_1 - y_0)$ _____
$m' = (m - m_0)$ _____ $z' = (z - z_0)$ _____ $y' = (y - y_0)$ _____

Определяют коэффициенты A, B, C, D, S, T, U, V:

$A = J_a$ = _____
$B = (J_b - J_a)/M$ = _____
$C = (J_c - J_a)/Z$ = _____
$D = (J_e - J_a)/Y$ = _____
$S = [(J_a + J_d) - (J_b + J_c)]/MZ$ = _____
$T = [(J_a + J_g) - (J_c + J_e)]/ZY$ = _____
$U = [(J_a + J_f) - (J_b + J_e)]/MY$ = _____
$V = [(J_b + J_c + J_e + J_h) - (J_a + J_d + J_f + J_g)]/MZY$ = _____

Все суммируют:

A = _____
Bm' = _____
Cz' = _____
Dy' = _____
$Sm'z'$ = _____
$Tz'y'$ = _____
$Um'y'$ = _____
$Vm'z'y'$ = _____
J = итог = _____

Значения J для каждого из пяти других кабелей получают таким же образом.

6.5 Расчет коэффициентов G_s и g_s

$$G_s = \frac{(\beta_1 t_s)^4}{12 \cdot 10^{12}}, \tag{3}$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi\omega}{10^7 \cdot \rho_s}}, \tag{4}$$

$$g_s = 1 + \left[\frac{t_s}{D_s}\right]^{1,74} (\beta_1 D_s 10^{-3} - 1,6),$$

где ρ_s — удельное электрическое сопротивление материала оболочки при рабочей температуре, Ом · м;
D_s — наружный диаметр оболочки, мм.

Примечание — Для гофрированных оболочек вместо D_s следует использовать средний наружный диаметр $\frac{D_{oc} + D_{it}}{2} + t_s$,

где D_{oc} — диаметр воображаемого соосного цилиндра, касающегося выступов гофрированной оболочки, мм;
D_{it} — диаметр воображаемого соосного цилиндра, касающегося внутренней поверхности впадин гофрированной оболочки, мм;
t_s — толщина оболочки, мм.

7 Транспозиция кабелей

Основная цель транспозиции заключается в том, чтобы постепенно осуществить ротацию всех жил или всех оболочек, либо и тех, и других от одной подсекции к другой. Эти изменения не влияют на последовательность токов в жилах, и при условии, что транспозиция выполняется одинаково в каждой цепи в отношении последовательности фаз (т. е. требования, касающиеся временной последовательности и положения оболочек, приведенные в 6.1, соблюдаются одинаково для всех подсекций), транспозиция не повлияет на применение данного метода.

Транспозиция может осуществляться в том же направлении либо в противоположном относительно последовательности фаз. Направление не влияет на потери, обусловленные вихревыми токами, при условии, что при каждой транспозиции, затрагивающей последовательность фаз, оно будет одинаковым для обеих цепей. Из этого следует, что если цепи имеют обратную последовательность токов в жилах,

физическое направление транспозиции в одной из цепей будет противоположным направлению в другой цепи.

Значения потерь, обусловленных вихревыми токами в оболочках, зависят только от расположения кабелей, и после расчета они применимы к любой оболочке в определенном положении независимо от подсекции.

8 Примеры расчета потерь, обусловленных вихревыми токами

8.1 Введение

Размеры кабелей, используемые в примерах 1 и 2, являются произвольными и не представляют какой-либо конкретный тип кабеля.

В большинстве случаев интерполяция не нужна, или используются части таблиц, где может быть применена интерполяция подбором.

Однако, если интервалы в таблицах слишком велики, чтобы можно было провести интерполяцию подбором, или расчеты выполняют на ЭВМ, то можно провести необходимую интерполяцию вручную или на ЭВМ по определенной программе.

8.2 Пример 1

В данном примере параметры цепей совпадают со входными параметрами таблиц, и поэтому интерполяция не нужна.

Исходные данные:

средний диаметр оболочки — $d = 90$ мм;

толщина алюминиевой оболочки — $t_s = 3{,}18$ мм;

сопротивление оболочки — $R_s = 62{,}9 \cdot 10^{-6}$ Ом/м;

сопротивление жилы — $R = 11{,}3 \cdot 10^{-6}$ Ом/м;

удельное сопротивление оболочки (см. МЭК 60287-1-1:2006, таблица 1) — $\rho_s = 2{,}8264 \cdot 10^{-8}$ Ом · м;

расстояние между осями кабелей:

в пределах цепей — $s = 150$ мм;

между цепями — $c = 375$ мм.

В этом случае:

$$m = \frac{314 \cdot 10^{-7}}{62{,}9 \cdot 10^{-6}} = 0{,}5,$$

$$z = \frac{90}{2 \cdot 150} = 0{,}3,$$

$$y = \frac{150}{375} = 0{,}4,$$

$$\lambda_0 = C \frac{0{,}5^2}{1 + 0{,}5^2} \left[\frac{90}{300}\right]^2 = C \cdot 0{,}0180,$$

$$\frac{R_s}{R} = \frac{62{,}9 \cdot 10^{-6}}{11{,}3 \cdot 10^{-6}} = 5{,}57.$$

Поправочные коэффициенты для толщины:

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 314}{2{,}8264 \cdot 10^{-8} \cdot 10^7}} = 118{,}2,$$

$$g_s = 1 + \left[\frac{3{,}18}{93{,}18}\right]^{1{,}74} (118{,}2 \cdot 93{,}18 \cdot 10^{-3} - 1{,}6) = 1{,}026,$$

$$G_s = \frac{(118{,}2 \cdot 3{,}18)^4}{12{,}10^{12}} = 0{,}0017.$$

Предположим, что жилы соединены в обратной последовательности.

Кабель	1	2	3	4	5	6
Последовательность	R	S	T	T	S	R
C	1,5	6,0	1,5	1,5	6,0	1,5
λ_0	0,0270	0,1080	0,0270	0,0270	0,1080	0,0270
H (m = 0,5; z = 0,3)	1,2200	1,0250	0,9190	0,9190	1,0250	1,2200
N (y = 0,4)	1,0605	1,1066	1,2593	1,2593	1,1066	1,0605
J (m = 0,5; z = 0,3; y = 0,4)	1,0100	1,0000	0,9650	0,9650	1,0000	1,0100
g_s	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026
G_s	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017
R_s/R	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57.

Подставив эти значения в уравнение (1), получаем:

λ''_{1d}	0,211	0,710	0,182	0,182	0,710	0,211.

Расчет для кабеля 1:

$$\lambda''_{1d} = 5,57[(0,0270 \cdot 1,2200 \cdot 1,0605 \cdot 1,0100 \cdot 1,026) + 0,0017] = 0,211.$$

8.3 Пример 2

В данном примере для произвольно выбранных параметров требуется интерполяция между табличными значениями.

Исходные данные:

средний диаметр оболочки d = 100 мм;
толщина алюминиевой оболочки t_s = 2,6 мм;
сопротивление оболочки $R_s = 35 \cdot 10^{-6}$ Ом/м;
сопротивление жилы $R = 9 \cdot 10^{-6}$ Ом/м;
удельное сопротивление оболочки (см. МЭК 60287-1-1:2006, таблица 1) $\rho_s = 2,8264 \cdot 10^{-8}$ Ом · м;
расстояние между осями кабелей:
в пределах цепей s = 150 мм;
между цепями c = 400 мм.

В этом случае:

$$m = \frac{314 \cdot 10^{-7}}{35 \cdot 10^{-6}} = 0,897,$$

$$z = \frac{100}{2 \cdot 150} = 0,333,$$

$$y = \frac{150}{400} = 0,375,$$

$$\lambda_0 = C \frac{0,897^2}{1 + 0,897^2} \left[\frac{100}{2 \cdot 150} \right]^2 = C \cdot 0,0495,$$

$$\frac{R_s}{R} = \frac{35 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-6}} = 3,89.$$

Для кабеля 1 и прямой последовательности токов:

$$C = 1,5; \lambda_0 = 1,5 \cdot 0,0495 = 0,0743,$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 314}{2,8264 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-7}}} = 118,2,$$

$$g_s = 1 + \left[\frac{2{,}6}{102{,}6}\right]^{1{,}74}(118{,}2 \cdot 102{,}6 \cdot 10^{-3} - 1{,}6) = 1{,}018,$$

$$G_s = \frac{(118{,}2 \cdot 2{,}6)^4}{12 \cdot 10^{12}} = 0{,}0007.$$

a) интерполяция для расчета H:
$m = 0{,}897$; $z = 0{,}333$.
Из таблицы коэффициентов H:
$m_0 = 0{,}500$
$m_1 = 1{,}000$ $\qquad M = (m_1 - m_0) = 0{,}500$
$z_0 = 0{,}300$
$z_1 = 0{,}350$ $\qquad Z = (z_1 - z_0) = 0{,}050$
$(m - m_0) = (0{,}897 - 0{,}500) = 0{,}397$
$(z - z_0) = (0{,}333 - 0{,}300) = 0{,}033$
$H_a = 1{,}220$
$H_b = 1{,}347$
$H_c = 1{,}309$
$H_d = 1{,}503$

$A =$	1,220
$B = (1{,}347 - 1{,}220) / 0{,}5 =$	0,254
$C = (1{,}309 - 1{,}220) / 0{,}05 =$	1,780

$D = (1{,}503 + 1{,}220 - 1{,}309 - 1{,}347) / (0{,}5 \cdot 0{,}05) = 2{,}680.$

Суммирование:

$A =$	1,2200
$B(m - m_0) = 0{,}254 \cdot 0{,}397 =$	0,1008
$C(z - z_0) = 1{,}780 \cdot 0{,}033 =$	0,0587
$D(m - m_0) \cdot (z - z_0) = 2{,}680 \cdot 0{,}397 \cdot 0{,}033 =$	0,0351
$H =$	1,4146.

b) Интерполяция для расчета N:
$y = 0{,}375$.
Из таблицы коэффициентов N:
$y_0 = 0{,}3$; $\quad y_1 = 0{,}4$
$(y - y_0) = 0{,}375 - 0{,}3 = 0{,}075$
$N_a = 0{,}9432 \quad N_b = 0{,}9238$

$$N = 0{,}9432 + \frac{(0{,}9238 - 0{,}9432)}{(0{,}4 - 0{,}3)}0{,}075 = 0{,}929.$$

c) Интерполяция для расчета J

$m = 0{,}897$	$z = 0{,}333$	$y = 0{,}375$	
$y_0 = 0{,}200$	$z_0 = 0{,}300$	$m_0 = 0{,}500$	$J_a = 0{,}995$
		$m_1 = 1{,}000$	$J_b = 0{,}992$
	$z_1 = 0{,}400$		$J_c = 0{,}991$
			$J_d = 0{,}984$
$y_1 = 0{,}400$			$J_e = 0{,}991$
			$J_f = 0{,}983$
			$J_g = 0{,}982$
			$J_h = 0{,}964$
$M = 0{,}5$	$Z = 0{,}1$	$Y = 0{,}2$	
$m' = 0{,}397$	$z' = 0{,}033$	$y' = 0{,}175$	

$A =$	0,995
$B = (0{,}992 - 0{,}995) / 0{,}5 =$	–0,006
$C = (0{,}991 - 0{,}995) / 0{,}1 =$	–0,040
$D = (0{,}991 - 0{,}995) / 0{,}2 =$	–0,020
$Q = [(0{,}995 + 0{,}984) - (0{,}992 + 0{,}991] / (0{,}5 \cdot 0{,}1) =$	–0,080
$R = [(0{,}995 + 0{,}982) - (0{,}991 + 0{,}991] / (0{,}1 \cdot 0{,}2) =$	–0,250

$S = [(0,995 + 0,983) - (0,992 + 0,991)] / (0,5 \cdot 0,2) =$ –0,050

$T = [(0,992 + 0,991 + 0,991 + 0,964) -$
$- (0,995 + 0,984 + 0,983 + 0,982)] / (0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,2) =$ –0,600.

Суммирование:

A	=	0,9950
Bm'	$= -0,006 \cdot 0,397 =$	–0,0024
Cz'	$= -0,04 \cdot 0,033 =$	–0,0013
Dy'	$= -0,02 \cdot 0,175 =$	–0,0035
$Qm'z'$	$= -0,080 \cdot 0,397 \cdot 0,033 =$	–0,0011
$Rz'y'$	$= -0,25 \cdot 0,033 \cdot 0,175 =$	–0,0014
$Sm'y'$	$= -0,05 \cdot 0,397 \cdot 0,175 =$	–0,0035
$Tm'z'y'$	$= -0,6 \cdot 0,397 \cdot 0,033 \cdot 0,175 =$	–0,0014
	$J =$	0,9804.

Подставив эти значения в уравнение (1), получаем:

$$\lambda'_{1d} = 3,89[(0,0743 \cdot 1,4146 \cdot 0,929 \cdot 0,9804 \cdot 1,018) + 0,0007] = 0,382.$$

Итоговая сводка коэффициентов потерь для оболочек всех шести кабелей, а также коэффициентов, соответствующих меньшим расстояниям между цепями c, и для единичной цепи (соответствующей очень большому расстоянию между цепями), приведена ниже:

Расстояние c, мм	150	300	400	Единичная цепь
Номер кабеля	Коэффициенты потерь для оболочек			
1	0,346	0,373	0,382	0,419
2	0,955	1,100	1,151	1,262
3	0,274	0,250	0,256	0,276
4	0,402	0,336	0,356	0,419
5	0,943	1,094	1,142	1,262
6	0,230	0,251	0,258	0,276.

Таблица 1 — Коэффициенты H

		$z = \frac{d}{2s}$								
	m	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Кабель 1	0,1	1,007	1,015	1,028	1,044	1,064	1,089	1,118	1,154	1,197
	0,5	1,023	1,051	1,093	1,148	1,220	1,309	1,420	1,554	1,714
	1,0	1,033	1,076	1,140	1,228	1,347	1,503	1,706	1,970	2,299
	1,5	1,037	1,085	1,158	1,261	1,405	1,606	1,887	2,284	2,826
	2,0	1,037	1,087	1,163	1,274	1,432	1,662	2,003	2,527	3,321
	2,5	1,037	1,087	1,164	1,278	1,444	1,693	2,081	2,720	3,792
	3,0	1,037	1,087	1,164	1,279	1,449	1,711	2,135	2,876	4,244
Кабель 2	0,1	1,001	1,002	1,004	1,006	1,009	1,013	1,017	1,022	1,028
	0,5	1,003	1,007	1,012	1,018	1,025	1,033	1,040	1,047	1,050
	1,0	1,006	1,015	1,027	1,043	1,064	1,090	1,121	1,157	1,193
	1,5	1,009	1,021	1,039	1,065	1,101	1,150	1,218	1,306	1,413
	2,0	1,010	1,025	1,047	1,080	1,128	1,198	1,301	1,450	1,654
	2,5	1,011	1,027	1,052	1,091	1,148	1,234	1,366	1,575	1,892
	3,0	1,012	1,029	1,056	1,098	1,161	1,260	1,417	1,681	2,123
Кабель 3	0,1	0,999	0,998	0,996	0,994	0,991	0,988	0,984	0,979	0,973
	0,5	0,991	0,980	0,964	0,944	0,919	0,889	0,853	0,812	0,766
	1,0	0,994	0,986	0,975	0,962	0,947	0,931	0,915	0,900	0,891
	1,5	1,000	1,001	1,002	1,007	1,017	1,036	1,068	1,124	1,214
	2,0	1,006	1,013	1,027	1,048	1,082	1,137	1,226	1,374	1,608
	2,5	1,010	1,023	1,045	1,080	1,134	1,220	1,364	1,608	2,017
	3,0	1,013	1,031	1,060	1,104	1,174	1,287	1,477	1,816	2,422

Таблица 2 — Коэффициенты N

Кабели с прямой последовательностью

$y = \frac{s}{c}$	1	2	3	4	5	6
0,1	0,9871	0,9861	0,9854	0,9849	0,9861	0,9875
0,2	0,9651	0,9588	0,9562	0,9554	0,9588	0,9656
0,3	0,9432	0,9286	0,9271	0,9259	0,9286	0,9438
0,4	0,9238	0,8990	0,9065	0,9049	0,8990	0,9243
0,5	0,9069	0,8714	0,8993	0,8974	0,8713	0,9075
0,6	0,8924	0,8461	0,9089	0,9067	0,8461	0,8929
0,7	0,8800	0,8232	0,9372	0,9351	0,8231	0,8804
0,8	0,8692	0,8024	0,9859	0,9842	0,8023	0,8696
0,9	0,8598	0,7836	1,0562	1,0552	0,7835	0,8601
1,0	0,8516	0,7665	1,1487	1,1490	0,7665	0,8517

Кабели с обратной последовательностью

$y = \frac{s}{c}$	1	2	3	4	5	6
0,1	1,0110	1,0141	1,0185	1,0185	1,0141	1,0110
0,2	1,0286	1,0421	1,0696	1,0696	1,0421	1,0286
0,3	1,0456	1,0742	1,1504	1,1504	1,0742	1,0456
0,4	1,0605	1,1066	1,2593	1,2593	1,1066	1,0605
0,5	1,0736	1,1378	1,3953	1,3953	1,1378	1,0736
0,6	1,0849	1,1673	1,5580	1,5580	1,1673	1,0849
0,7	1,0948	1,1948	1,7471	1,7471	1,1948	1,0948
0,8	1,1035	1,2204	1,9623	1,9623	1,2204	1,1035
0,9	1,1111	1,2441	2,2037	2,2037	1,2441	1,1111
1,0	1,1180	1,2662	2,4711	2,4711	1,2662	1,1180

Таблица 3 — Коэффициенты J

Кабель 1/прямая последовательность $z = \frac{d}{2s}$

$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,5	1,000	0,998	0,995	0,991	0,982
	1,0	0,999	0,997	0,992	0,984	0,970
	1,5	1,000	0,997	0,992	0,984	0,974
	2,0	0,999	0,997	0,992	0,987	0,980
	2,5	0,999	0,997	0,994	0,989	0,987
	3,0	1,000	0,997	0,994	0,992	0,993
0,4	0,1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,5	0,999	0,997	0,991	0,982	0,965
	1,0	0,999	0,994	0,983	0,964	0,931
	1,5	0,999	0,992	0,981	0,962	0,933
	2,0	0,998	0,992	0,982	0,966	0,946
	2,5	0,998	0,992	0,983	0,971	0,959
	3,0	0,999	0,993	0,984	0,975	0,971
0,6	0,1	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002
	0,5	0,999	0,996	0,990	0,978	0,955
	1,0	0,998	0,991	0,977	0,949	0,900
	1,5	0,998	0,989	0,972	0,942	0,894
	2,0	0,997	0,989	0,972	0,945	0,907
	2,5	0,997	0,988	0,973	0,951	0,925
	3,0	0,998	0,989	0,974	0,956	0,941

Окончание таблицы 3

0,8	0,1	1,000	1,001	1,002	1,003	1,004
	0,5	0,999	0,996	0,990	0,978	0,955
	1,0	0,998	0,990	0,974	0,941	0,881
	1,5	0,997	0,987	0,966	0,927	0,860
	2,0	0,996	0,985	0,963	0,927	0,869
	2,5	0,996	0,985	0,963	0,931	0,886
	3,0	0,996	0,985	0,964	0,937	0,904
1,0	0,1	1,000	1,001	1,003	1,005	1,007
	0,5	0,999	0,997	0,992	0,983	0,962
	1,0	0,998	0,990	0,973	0,939	0,877
	1,5	0,997	0,985	0,962	0,918	0,842
	2,0	0,995	0,983	0,957	0,913	0,840
	2,5	0,995	0,982	0,956	0,915	0,852
	3,0	0,996	0,981	0,956	0,919	0,866

Таблица 4 — Коэффициенты *J*

Кабель 2/прямая последовательность $z = \frac{d}{2s}$

$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001
	0,5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	1,0	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002
	1,5	1,000	1,000	1,001	1,003	1,006
	2,0	1,000	1,001	1,002	1,005	1,011
	2,5	1,000	1,001	1,002	1,007	1,014
	3,0	1,000	1,001	1,003	1,008	1,018
0,4	0,1	1,000	1,001	1,001	1,002	1,003
	0,5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	1,0	1,000	1,000	1,000	1,002	1,003
	1,5	1,000	1,000	1,002	1,007	1,014
	2,0	1,000	1,000	1,003	1,011	1,026
	2,5	1,000	1,000	1,004	1,015	1,036
	3,0	1,000	1,000	1,005	1,017	1,043
0,6	0,1	1,000	1,001	1,002	1,003	1,006
	0,5	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998
	1,0	0,999	0,998	0,998	0,999	1,000
	1,5	0,999	0,998	0,999	1,005	1,016
	2,0	0,999	0,998	1,001	1,012	1,034
	2,5	0,999	0,998	1,002	1,018	1,049
	3,0	0,999	0,998	1,003	1,022	1,062
0,8	0,1	1,000	1,001	1,002	1,004	1,008
	0,5	0,999	0,999	0,998	0,996	0,995
	1,0	0,999	0,996	0,993	0,992	0,991
	1,5	0,998	0,995	0,993	0,998	1,007
	2,0	0,998	0,995	0,994	1,006	1,029
	2,5	0,998	0,995	0,996	1,013	1,049
	3,0	0,998	0,994	0,997	1,017	1,065
1,0	0,1	1,000	1,001	1,003	1,006	1,010
	0,5	0,999	0,997	0,995	0,993	0,993
	1,0	0,998	0,992	0,987	0,982	0,978
	1,5	0,997	0,990	0,984	0,984	0,988
	2,0	0,996	0,989	0,984	0,991	1,006
	2,5	0,996	0,989	0,985	0,997	1,027
	3,0	0,996	0,988	0,986	1,002	1,044

Таблица 5 — Коэффициенты J

Кабель 3/прямая последовательность $z = \frac{d}{2s}$						
$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	1,001	1,003	1,005	1,008
	0,5	1,000	1,003	1,007	1,012	1,017
	1,0	1,000	1,002	1,007	1,014	1,022
	1,5	1,000	1,001	1,006	1,014	1,025
	2,0	0,999	1,001	1,005	1,014	1,028
	2,5	1,000	1,000	1,003	1,014	1,030
	3,0	0,999	0,999	1,003	1,013	1,032
0,4	0,1	1,000	1,003	1,007	1,013	1,021
	0,5	1,001	1,006	1,015	1,028	1,041
	1,0	0,999	1,002	1,011	1,026	1,047
	1,5	0,998	0,997	1,005	1,023	1,053
	2,0	0,997	0,994	1,000	1,021	1,058
	2,5	0,996	0,992	0,995	1,018	1,063
	3,0	0,995	0,990	0,993	1,016	1,067
0,6	0,1	1,000	1,003	1,009	1,017	1,026
	0,5	0,999	1,003	1,010	1,021	1,033
	1,0	0,995	0,990	0,990	1,002	1,024
	1,5	0,992	0,978	0,973	0,989	1,026
	2,0	0,989	0,971	0,962	0,980	1,031
	2,5	0,988	0,966	0,954	0,974	1,037
	3,0	0,987	0,963	0,948	0,969	1,042
0,8	0,1	1,000	1,003	1,007	1,012	1,018
	0,5	0,996	0,990	0,982	0,977	0,972
	1,0	0,988	0,962	0,937	0,927	0,933
	1,5	0,983	0,943	0,908	0,901	0,925
	2,0	0,979	0,932	0,891	0,886	0,929
	2,5	0,977	0,925	0,879	0,876	0,934
	3,0	0,975	0,921	0,872	0,869	0,939
1,0	0,1	1,000	1,001	1,002	1,003	1,002
	0,5	0,990	0,968	0,936	0,900	0,863
	1,0	0,978	0,925	0,864	0,816	0,790
	1,5	0,971	0,901	0,826	0,781	0,778
	2,0	0,967	0,888	0,806	0,765	0,783
	2,5	0,965	0,882	0,796	0,756	0,790
	3,0	0,963	0,877	0,790	0,751	0,797

Таблица 6 — Коэффициенты J

Кабель 4/прямая последовательность $z = \frac{d}{2s}$						
$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	1,000	0,999	0,998	0,997
	0,5	0,999	0,995	0,989	0,979	0,963
	1,0	0,998	0,993	0,982	0,967	0,946
	1,5	0,999	0,992	0,983	0,970	0,956
	2,0	0,998	0,993	0,984	0,976	0,968
	2,5	0,998	0,993	0,986	0,981	0,979
	3,0	0,999	0,994	0,988	0,985	0,988

Окончание таблицы 6

0,4	0,1	1,000	0,999	0,997	0,994	0,990
	0,5	0,997	0,984	0,962	0,929	0,881
	1,0	0,994	0,973	0,936	0,884	0,819
	1,5	0,993	0,969	0,933	0,888	0,841
	2,0	0,992	0,970	0,937	0,903	0,876
	2,5	0,992	0,971	0,942	0,919	0,906
	3,0	0,993	0,972	0,947	0,930	0,929
0,6	0,1	1,000	0,998	0,995	0,991	0,987
	0,5	0,994	0,972	0,934	0,879	0,807
	1,0	0,987	0,946	0,878	0,782	0,671
	1,5	0,985	0,937	0,863	0,772	0,685
	2,0	0,983	0,935	0,864	0,790	0,732
	2,5	0,983	0,935	0,870	0,811	0,775
	3,0	0,984	0,936	0,875	0,828	0,809
0,8	0,1	1,000	0,999	0,998	0,999	1,003
	0,5	0,992	0,966	0,924	0,869	0,809
	1,0	0,982	0,926	0,836	0,716	0,596
	1,5	0,977	0,907	0,801	0,675	0,566
	2,0	0,974	0,900	0,793	0,681	0,595
	2,5	0,973	0,897	0,795	0,697	0,630
	3,0	0,973	0,897	0,799	0,713	0,662
1,0	0,1	1,000	1,003	1,011	1,026	1,053
	0,5	0,993	0,974	0,949	0,929	0,947
	1,0	0,980	0,924	0,839	0,743	0,698
	1,5	0,972	0,896	0,784	0,664	0,602
	2,0	0,968	0,882	0,764	0,647	0,585
	2,5	0,965	0,875	0,758	0,650	0,591
	3,0	0,964	0,873	0,757	0,657	0,602

Таблица 7 — Коэффициенты *J*

Кабель 5/прямая последовательность $z = \frac{d}{2s}$						
$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001
	0,5	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999
	1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998
	1,5	1,000	1,000	1,001	1,002	1,002
	2,0	1,000	1,000	1,001	1,004	1,006
	2,5	1,000	1,001	1,002	1,005	1,010
	3,0	1,000	1,001	1,002	1,006	1,013
0,4	0,1	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002
	0,5	0,999	0,999	0,999	0,997	0,994
	1,0	1,000	0,999	0,998	0,996	0,989
	1,5	1,000	0,999	0,999	1,000	0,997
	2,0	1,000	0,999	1,000	1,004	1,007
	2,5	1,000	1,000	1,002	1,008	1,017
	3,0	1,000	1,000	1,003	1,011	1,025
0,6	0,1	1,000	1,001	1,001	1,002	1,004
	0,5	0,999	0,999	0,997	0,993	0,986
	1,0	0,999	0,997	0,993	0,986	0,972
	1,5	0,999	0,997	0,994	0,991	0,980
	2,0	0,999	0,997	0,996	0,998	0,995
	2,5	0,999	0,997	0,997	1,004	1,011
	3,0	0,999	0,997	0,999	1,009	1,025

Окончание таблицы 7

0,8	0,1	1,000	1,001	1,002	1,003	1,006
	0,5	0,999	0,998	0,994	0,987	0,976
	1,0	0,998	0,994	0,986	0,973	0,948
	1,5	0,998	0,993	0,985	0,976	0,952
	2,0	0,998	0,993	0,987	0,983	0,970
	2,5	0,998	0,993	0,989	0,991	0,990
	3,0	0,997	0,993	0,991	0,997	1,008
1,0	0,1	1,000	1,001	1,002	1,004	1,007
	0,5	0,998	0,996	0,991	0,982	0,968
	1,0	0,997	0,990	0,978	0,957	0,923
	1,5	0,996	0,987	0,974	0,955	0,919
	2,0	0,996	0,987	0,974	0,961	0,933
	2,5	0,996	0,987	0,976	0,969	0,952
	3,0	0,996	0,986	0,977	0,976	0,970

Таблица 8 — Коэффициенты *J*

Кабель 6/прямая последовательность $z = \frac{d}{2s}$						
$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	1,000	1,001	1,002	1,004
	0,5	1,000	1,001	1,002	1,005	1,007
	1,0	1,000	1,001	1,002	1,005	1,010
	1,5	1,000	1,000	1,002	1,006	1,013
	2,0	0,999	1,000	1,002	1,007	1,016
	2,5	1,000	1,000	1,001	1,007	1,019
	3,0	0,999	1,000	1,001	1,007	1,020
0,4	0,1	1,000	1,001	1,002	1,004	1,007
	0,5	1,000	1,001	1,003	1,006	1,009
	1,0	0,999	1,000	1,002	1,006	1,012
	1,5	1,000	0,999	1,001	1,007	1,020
	2,0	0,999	0,998	1,000	1,008	1,028
	2,5	0,999	0,997	0,998	1,009	1,034
	3,0	0,999	0,997	0,998	1,009	1,039
0,6	0,1	1,000	1,001	1,002	1,005	1,008
	0,5	0,999	1,000	1,000	1,002	1,004
	1,0	0,999	0,997	0,996	0,998	1,003
	1,5	0,998	0,995	0,994	0,999	1,013
	2,0	0,998	0,994	0,992	1,001	1,026
	2,5	0,998	0,993	0,991	1,002	1,036
	3,0	0,997	0,993	0,991	1,003	1,045
0,8	0,1	1,000	1,000	1,002	1,004	1,007
	0,5	0,999	0,998	0,996	0,994	0,993
	1,0	0,998	0,993	0,988	0,985	0,984
	1,5	0,997	0,990	0,984	0,985	0,995
	2,0	0,996	0,989	0,982	0,986	1,010
	2,5	0,996	0,988	0,981	0,988	1,024
	3,0	0,996	0,987	0,980	0,989	1,036
1,0	0,1	1,000	1,000	1,001	1,003	1,005
	0,5	0,998	0,995	0,990	0,984	0,978
	1,0	0,997	0,988	0,977	0,967	0,958
	1,5	0,996	0,985	0,972	0,964	0,964
	2,0	0,995	0,983	0,969	0,965	0,978
	2,5	0,995	0,982	0,968	0,967	0,993
	3,0	0,995	0,981	0,967	0,968	1,006

Таблица 9 — Коэффициенты J

Кабель 1/обратная последовательность Кабель 6/обратная последовательность $z = \frac{d}{2s}$						
$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001
	0,5	1,000	1,002	1,005	1,011	1,018
	1,0	1,001	1,004	1,009	1,017	1,033
	1,5	1,001	1,004	1,009	1,018	1,031
	2,0	1,000	1,004	1,009	1,016	1,024
	2,5	1,001	1,004	1,008	1,013	1,018
	3,0	1,001	1,003	1,007	1,011	1,014
0,4	0,1	1,000	1,000	1,000	1,001	1,002
	0,5	1,001	1,004	1,010	1,022	1,041
	1,0	1,002	1,008	1,019	1,040	1,076
	1,5	1,002	1,008	1,021	1,042	1,074
	2,0	1,002	1,008	1,020	1,038	1,058
	2,5	1,002	1,008	1,019	1,032	1,047
	3,0	1,002	1,008	1,017	1,027	1,037
0,6	0,1	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002
	0,5	1,002	1,006	1,014	1,029	1,057
	1,0	1,003	1,010	1,027	1,058	1,113
	1,5	1,004	1,012	1,030	1,063	1,112
	2,0	1,003	1,012	1,029	1,056	1,089
	2,5	1,003	1,012	1,028	1,049	1,072
	3,0	1,004	1,012	1,026	1,042	1,056
0,8	0,1	1,000	1,001	1,001	1,002	1,003
	0,5	1,002	1,007	1,017	1,036	1,072
	1,0	1,004	1,013	1,034	1,073	1,144
	1,5	1,005	1,015	1,038	1,079	1,141
	2,0	1,004	1,015	1,037	1,072	1,113
	2,5	1,004	1,015	1,035	1,063	1,088
	3,0	1,005	1,015	1,033	1,054	1,071
1,0	0,1	1,000	1,000	1,001	1,001	1,003
	0,5	1,002	1,007	1,019	1,041	1,083
	1,0	1,004	1,014	1,038	1,084	1,168
	1,5	1,004	1,017	1,043	1,091	1,163
	2,0	1,004	1,017	1,042	1,082	1,130
	2,5	1,004	1,017	1,040	1,072	1,100
	3,0	1,004	1,017	1,038	1,063	1,080

Таблица 10 — Коэффициенты J

Кабель 2/обратная последовательность Кабель 5/обратная последовательность $z = \frac{d}{2s}$						
$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
	0,5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001
	1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	1,5	1,000	1,000	0,999	0,997	0,995
	2,0	1,000	1,000	0,998	0,995	0,991
	2,5	1,000	1,000	0,998	0,994	0,987
	3,0	1,000	1,000	0,997	0,992	0,985
0,4	0,1	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998
	0,5	0,999	1,000	1,000	1,001	1,004
	1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001
	1,5	1,000	0,999	0,998	0,995	0,989
	2,0	1,000	0,999	0,996	0,989	0,977
	2,5	1,000	0,999	0,995	0,985	0,968
	3,0	0,999	0,998	0,994	0,982	0,962

Окончание таблицы 10

0,6	0,1	1,000	1,000	1,000	0,999	0,998
	0,5	1,000	1,001	1,002	1,004	1,009
	1,0	1,001	1,001	1,002	1,003	1,003
	1,5	1,000	1,001	0,999	0,993	0,984
	2,0	1,001	1,000	0,996	0,985	0,965
	2,5	1,000	1,000	0,994	0,978	0,951
	3,0	1,000	0,999	0,992	0,973	0,941
0,8	0,1	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999
	0,5	1,000	1,001	1,003	1,007	1,012
	1,0	1,001	1,002	1,002	1,004	1,004
	1,5	1,001	1,001	0,999	0,992	0,976
	2,0	1,001	1,000	0,995	0,979	0,951
	2,5	1,001	1,000	0,993	0,971	0,933
	3,0	1,001	0,999	0,990	0,965	0,920
1,0	0,1	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999
	0,5	1,000	1,002	1,004	1,009	1,017
	1,0	1,001	1,002	1,004	1,005	1,002
	1,5	1,001	1,002	0,999	0,989	0,967
	2,0	1,001	1,001	0,995	0,974	0,937
	2,5	1,001	1,000	0,991	0,964	0,916
	3,0	1,001	0,999	0,988	0,956	0,902

Таблица 11 — Коэффициенты *J*

Кабель 3/обратная последовательность
Кабель 4/обратная последовательность $z = \frac{d}{2s}$

$y = \frac{s}{c}$	m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,1	1,000	0,998	0,996	0,992	0,989
	0,5	0,999	0,995	0,990	0,982	0,975
	1,0	0,998	0,994	0,987	0,977	0,966
	1,5	0,999	0,994	0,987	0,974	0,961
	2,0	0,998	0,994	0,986	0,973	0,956
	2,5	0,999	0,994	0,986	0,972	0,953
	3,0	0,999	0,995	0,987	0,972	0,951
0,4	0,1	1,000	0,995	0,987	0,977	0,964
	0,5	0,997	0,985	0,965	0,940	0,913
	1,0	0,996	0,979	0,951	0,916	0,881
	1,5	0,996	0,977	0,946	0,905	0,862
	2,0	0,995	0,977	0,944	0,898	0,850
	2,5	0,996	0,977	0,943	0,894	0,841
	3,0	0,996	0,977	0,943	0,893	0,836
0,6	0,1	1,000	0,992	0,978	0,959	0,936
	0,5	0,994	0,970	0,933	0,886	0,838
	1,0	0,991	0,956	0,902	0,836	0,775
	1,5	0,990	0,951	0,889	0,812	0,740
	2,0	0,989	0,949	0,883	0,799	0,720
	2,5	0,989	0,948	0,879	0,792	0,707
	3,0	0,989	0,948	0,879	0,788	0,698
0,8	0,1	1,000	0,989	0,970	0,945	0,914
	0,5	0,991	0,957	0,902	0,835	0,765
	1,0	0,985	0,932	0,850	0,755	0,669
	1,5	0,983	0,921	0,827	0,717	0,622
	2,0	0,982	0,917	0,816	0,698	0,596
	2,5	0,982	0,915	0,811	0,688	0,581
	3,0	0,981	0,914	0,808	0,681	0,570

Окончание таблицы 11

1,0	0,1	1,000	0,987	0,966	0,937	0,902
	0,5	0,988	0,944	0,873	0,788	0,698
	1,0	0,979	0,907	0,800	0,678	0,571
	1,5	0,975	0,891	0,766	0,628	0,517
	2,0	0,973	0,884	0,750	0,604	0,490
	2,5	0,973	0,881	0,742	0,591	0,474
	3,0	0,972	0,879	0,738	0,583	0,463

Приложение А
(справочное)

Сведения о соответствии национальных стандартов Российской Федерации ссылочным международным стандартам

Таблица А.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60287-1-1:2006	ГОСТ Р МЭК 60287-1-1—2009 Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения

УДК 621.315.326.001.4:006.354 ОКС 29.060.20 Е49 ОКП 35 0000

Ключевые слова: электрические кабели, расчет токовой нагрузки, уравнения для расчета токовой нагрузки, расчет потерь, коэффициент потерь, вихревые токи

Редактор *Н.О. Грач*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.С. Кабашова*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 31.08.2009. Подписано в печать 11.11.2009. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,40. Тираж 181 экз. Зак. 781.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru »@gostinfo.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru