

Технико-экономические аспекты развития электрических сетей напряжением 20 кВ



Андрей МАЙОРОВ,
генеральный директор
ОАО «ОЭК»

Современные мировые тенденции развития электрических сетей свидетельствуют о стремлении развитых стран к переходу на более высокие уровни напряжения среднего класса. Перевод электрических сетей с 10 на 20 кВ позволяет увеличить пропускную способность распределительных сетей как минимум в 2—2,5 раза в пределах той же территории, сократить число трансформаторных подстанций, повысить качество электрической энергии и надёжность систем электроснабжения.

Быстрое увеличение потребления электроэнергии и неуклонный рост плотности нагрузок г. Москвы далеко перешагнули существующие нормативы и вплотную при-

близились к параметрам крупнейших мегаполисов мира. На 24.12.2014 мощность электрических нагрузок по Москве составила 18052 МВт. В период до 2020 г. в связи с развитием новых территорий и нового строительства ожидается рост нагрузок в среднем в 1,7 раза. Основные центры нагрузок будут сосредоточены в зонах перспективного развития.

Средняя плотность нагрузок увеличится до 23 МВт/км², а в ряде районов города, на новых и реконструируемых территориях (Троицкий и Новомосковский АО г. Москвы, Москва-Сити, Молжаниновка, Щербинка, Марфино и другие) предполагается высокоплотная застройка со значительным ростом электрических нагрузок и их высокой концентрацией (например, в районе Москва-Сити плотность может достигнуть значений около 100—150 МВт/км²). Существующие сети не могут обеспечить необходимую пропускную способность, поэтому необходим переход на построение линий электропередачи с повышенным уровнем напряжения.

Очевидно, что основное направление развития сетей среднего напряжения в Москве — применение напряжения 20 кВ.

В Постановлении Правительства Москвы от 21 апреля 2009 года № 344-ПП «О Концепции Городской целевой программы по повышению надёжности электроснабжения»

троснабжения объектов городского хозяйства Москвы на 2010—2012 гг.» отмечается: «Преимущества передачи и распределения электрической энергии повышенным напряжением способствуют снижению потерь мощности в электрических сетях и установках, увеличению пропускной способности оборудования, сокращению потребляемой электрической энергии».

В соответствии с предложенной концепцией построения сети 20 кВ и утверждёнными положениями Схемы электроснабжения г. Москвы предлагаются следующие основные схемные, технические и компоновочные решения.

1. Схема питающих сетей 20 кВ выполняется на двухсекционных РП с АВР на секционном выключателе 20 кВ и питанием РП от двух независимых территориально разнесённых ЦП по двум независимым кабельным линиям.
2. Новые распределительные пункты 20 кВ выполняются малогабаритными блочного типа.
3. Распределительная сеть 20 кВ строится по двухлучевой схеме, при которой питание каждой ТП осуществляется по двум взаиморезервируемым кабелям.
4. Для прокладки кабельных линий 20 кВ применяются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

В настоящее время работы по созданию первоочередных участков опорной кабельной сети 20 кВ практически завершены. В ОАО «Объединенная энергетическая компания» и ОАО «Энергокомплекс» сооружено и введено в работу 16 питающих центров для сети 20 кВ.

В 2011—2015 гг. проложено 558 км кабельных линий 20 кВ, из них 538 км опорных и 20 км распределительных кабельных линий. Построено 13 распределительных пунктов (РП). Введено в эксплуатацию и поставлено на баланс (3,8 млрд руб.) 229 км кабельных линий.

В соответствии со схемой развития опорной питающей сети 20 кВ на 2015—2018 гг. в Москве планируется осуществить строительство 421 км кабельных линий 20 кВ и 74 РП.

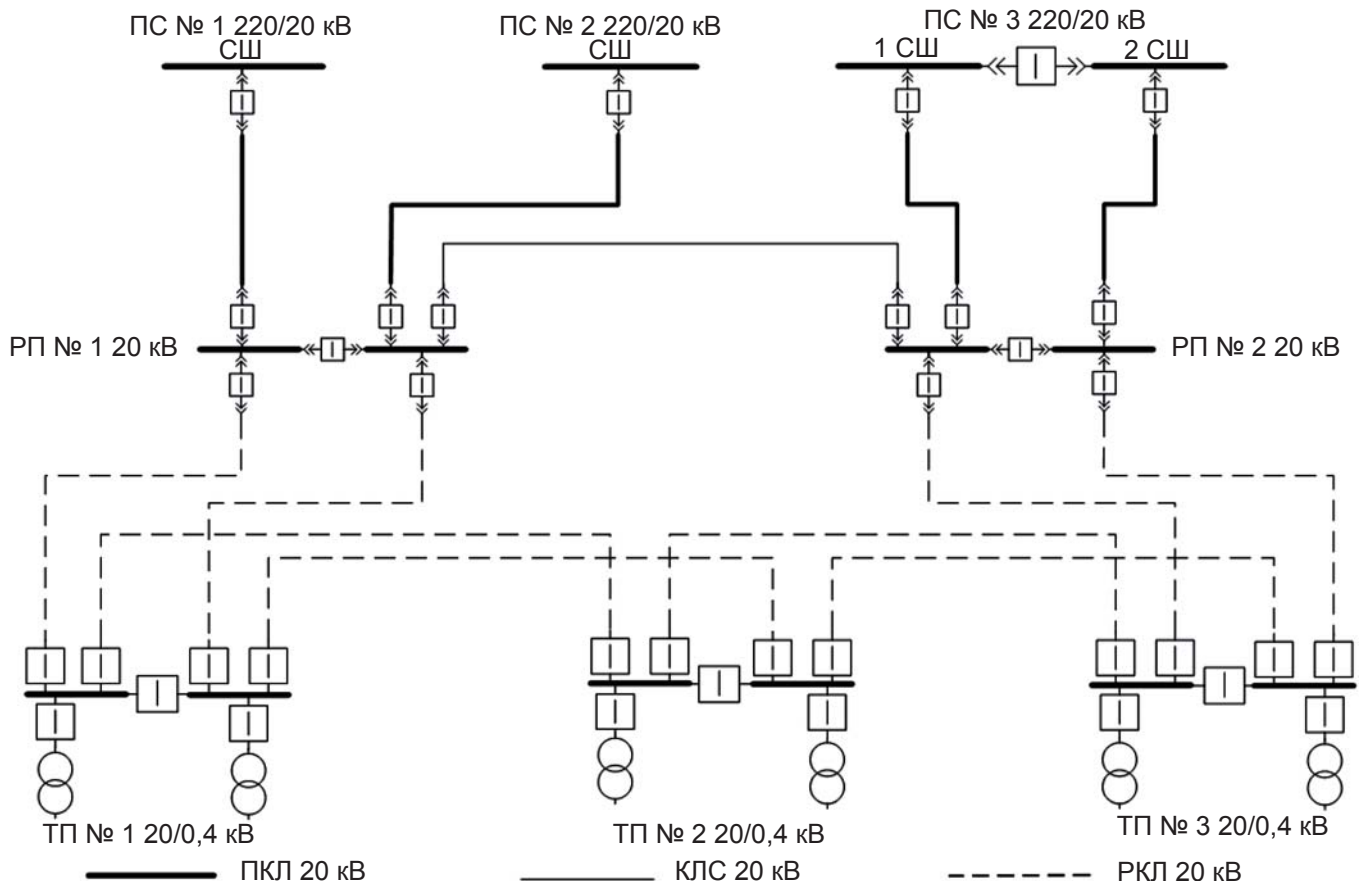
Накоплен определённый опыт проектирования, строительства и эксплуатации сетей 20 кВ. Одним из основных вопросов в выборе структуры сети является вопрос определения допустимой токовой нагрузки кабелей. Известно, что пропускная способность кабелей зависит от большого количества влияющих факторов: способов прокладки (в земле, воздухе), температуры и тепловых удельных сопротивлений окружающей среды, числа параллельно проложенных кабелей и расстояний между ними, глубины прокладки, сечения и способов заземления экранов.

Анализ фактических условий прохождения трасс КЛ 20 кВ в г. Москве показал, что условия прохождения кабельных линий в мегаполисе являются определяющими при формировании пропускной способности линии.

Исследованы условия прокладки 7 КЛ 20 кВ общей протяжённостью около 160 км (табл. 1). Выборка охватывает все возможные условия прохождения трасс, центральные и периферийные районы города.

На рис. 1 приведена характерная конфигурация сети 20 кВ.

Рис. 1. Типовая конфигурация электрической сети 20 кВ



При прочих равных условиях наибольшая допустимая токовая нагрузка обеспечивается при прокладке кабельной линии в воздухе, и далее в порядке убывания допустимого тока:

- в траншее на глубине 0,8 м;
- в трубной канализации неглубокого залегания;
- в закрытых переходах на больших глубинах.

Из данных табл. 1 следует, что любая КЛ 20 кВ имеет по трассе все вышеперечисленные условия прохождения. Естественно, что для кабельных линий, прокладываемых по трассам с различными условиями охлаждения, пропускная способность линии должна выбираться по участку трассы с наилучшими условиями.

Расчётными для выбора пропускной способности КЛ будут продолжительные ремонтные или послеаварийные режимы (принцип $n - 1$), когда вся нагрузка ложится на оставшуюся в работе линию, проходящую в земле, в том числе в закрытых переходах на больших глубинах (наихудшие условия охлаждения).

В табл. 2 для рассматриваемых кабельных линий приведены особенности их прохождения по местности. Как видно из табл. 2, условия прокладки КЛ 20 кВ с позиций допустимой токовой нагрузки меняются каждые 10—30 м, т.е. 30—100 разнородных участков приходится на 1 км трассы.

Наконец, в табл. 3 представлены допустимые токовые нагрузки, рассчитанные для характерных условий прокладки, выделенных в табл. 1 и 2. Во

Табл. 1. Условия прохождения трасс КЛ 20 кВ

№№ п/п	Способ прокладки	Протяжённость участков, %, КЛ длиной:						
		2x22,32 км	2x16,14 км	2x14,25 км	2x11,50 км	2x6,19 км	2x5,47 км	2x2,59 км
1	В траншее на глубине 0,8 м	26,0	41,9	29,2	40,6	47,0	39,4	16,7
2	В трубной канализации*, в том числе:	22,9	15,3	11,6	26,5	9,2	12,3	17,5
2.1	в трубах длиной менее 10 м	7,7	7,2	4,9	17,4	5,2	6,4	6,1
2.2	в трубах длиной 10 м и более	15,2	8,1	6,7	9,1	4,0	5,9	11,4
3	В закрытых переходах**, в трубах, в том числе:	17,7	19,7	5,6	26,5	13,8	4,4	9,6
3.1	на глубине 5—10 м	14,1	6,8	3,5	21,0	3,3	4,4	9,6
3.2	на глубине 10—15 м	2,1	8,4	2,1	5,5	8,7	—	—
3.3	на глубине 15—20 м	1,5	3,4	—	—	1,8	—	—
4	В коллекторе	33,4	23,1	53,6	6,4	30,0	43,9	56,2
5	Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100,0

* на глубине от 0,8 до 4 м;

** минимальная длина закрытого перехода 25 м, максимальная — 330 м.

Табл. 2. Характеристики условий прохождения трасс КЛ 20 кВ

№№ п/п	Способ прокладки	Количество участков, шт., КЛ длиной:						
		2x22,32 км	2x16,14 км	2x14,25 км	2x11,50 км	2x6,19 км	2x5,47 км	2x2,59 км
1	В траншее на глубине 0,8 м	580	336	188	382	78	92	54
2	В трубной канализации, в том числе:	542	308	182	348	73	90	51
2.1	в трубах длиной менее 10 м	380	248	147	256	57	74	37
2.2	в трубах длиной 10 м и более	162	60	35	92	16	16	14
3	В закрытых переходах, в трубах, в том числе:	40	30	8	36	7	4	5
3.1	на глубине 5—10 м	36	16	7	30	3	4	5
3.2	на глубине 10—15 м	3	11	1	6	3	—	—
3.3	на глубине 15—20 м	1	3	—	—	1	—	—
4	В коллекторе	2	4	5	3	1	1	1
5	Итого по пп. 1—3 (прокладка в земле)	1162	674	378	769	151	94	110
6	Средняя длина однородного участка в земле, м	13,0	18,4	17,5	14,0	28,7	32,6	10,3
7	Количество разнородных участков в земле, шт., на 1 км	77	54	57	71	35	31	97

Табл. 3. Пропускная способность КЛ 20 кВ при различных способах прокладки

№№ п/п	Способ прокладки кабеля	Пропускная способность, %
1.	Одиночный кабель в воздухе	100
2.	В коллекторе при типичных* условиях	81
3.	В траншее на глубине 0,8 м при типичных** условиях	74
4.	В трубной канализации, в том числе:	
4.1.	в трубах длиной менее 10 м на глубине от 0,8 до 4 м	57—74
4.2.	в трубах длиной 10 и более м на глубине от 0,8 до 4 м	51—67
5.	В закрытых переходах, в трубах, при типичных*** условиях, в том числе:	
5.1.	на глубине 5—10 м	45
5.2.	на глубине 10—15 м	40
5.3.	на глубине 15—20 м	38

* на полках из листового материала (несгораемых перегородок); два кабеля на полке; количество полок 4—6;

** два кабеля в траншее; удельное термическое сопротивление грунта 1,2 К·м/Вт;

*** два кабеля в одном закрытом переходе, каждый кабель в трубе, плюс резервная труба; пропускная способность — при максимальной глубине из приведенного диапазона.

внимание принят наиболее часто используемый одножильный алюминиевый кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена сечением 500 мм², три одножильных кабеля укладываются треугольником. За 100% допустимой токовой нагрузки в табл. 3 принята нагрузка для одиночного кабеля в воздухе.

Из данных табл. 3 следует, что при прокладке в траншее на глубине 0,8 м (обычные расчётные условия, отражённые в справочной литературе) пропускная способность кабельной линии составляет 74% относительно одиночного кабеля в воздухе. При размещении КЛ в трубной канализации длиной более 10 м допустимая токовая нагрузка снижается до 51—67%.

Наконец, в закрытых переходах пропускная способность линии составляет около 40%. Причём в нормальном режиме нагрузка кабельной линии

должна быть ещё в два раза ниже, чем в табл. 3, для обеспечения полного электроснабжения потребителей в продолжительных ремонтных или послеаварийных режимах при отключении одной из линий.

Таким образом, при обосновании и выборе параметров КЛ требуется принимать во внимание многократные (табл. 2) и значительные (табл. 3) изменения допустимой токовой нагрузки кабельных линий в реальных условиях, что является определяющим в формировании их технико-экономических характеристик.

Для рассматриваемых КЛ 20 кВ проведён анализ структуры затрат на их строительство (табл. 4). За основу взята проектно-сметная документация, прошедшая государственную экспертизу.

Первое, на что следует обратить внимание (табл. 4), это то, что в общих затратах на строитель-

Табл. 4. Структура затрат на КЛ 20 кВ в базовых ценах 2000 г.

№№ п/п	Стоимость	Составляющие затрат, %, на КЛ длиной:						
		2х22,32 км	2х16,14 км	2х14,25 км	2х11,50 км	2х6,19 км	2х5,47 км	2х2,59 км
1	Кабельной продукции	23,0	20,1	42,2	16,8	30,9	40,6,7	40,6
2	Укладки кабельных линий, установки муфт	6,0	2,1	5,9	2,2	4,4	4,2	8,1
3	Испытаний кабельных линий	0,6	0,3	0,6	0,2	0,2	0,2	1,1
4	Земляных работ	0,8	2,8	5,0	1,3	2,3	4,4	1,1
5	Устройства трубных блоков	4,1	1,6	0,1	3,5	2,0	2,5	10,7
6	Устройства металлоконструкций в коллекторе	0,3	0,5	1,5	1,0	1,3	1,0	0,5
7	Устройства закрытых переходов	43,3	59,9	22,5	48,3	43,7	13,9	22,7
8	Благоустройства	3,9	1,3	1,6	5,5	3,2	6,4	2,5
9	Прочих затрат	1,5	0,5	1,2	1,5	0,6	4,4	0,5
10	Временных зданий и сооружений	2,2	1,8	1,2	7,0	1,7	1,6	1,3
11	Проектно-изыскательских работ, согласований	14,3	9,0	18,2	12,7	9,7	20,8	10,9
12	Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100,0

Табл. 5. Структура затрат на КЛ 20 кВ в текущих ценах

№№ п/п	Стоимость	Составляющие затрат, %, на КЛ длиной:						
		2x22,32 км	2x16,14 км	2x14,25 км	2x11,50 км	2x6,19 км	2x5,47 км	2x2,59 км
1	Суммарных затрат по пп. 1—9 из табл. 3	87,4	89,9	84,2	79,5	90,0	83,1	90,7
2	Временных зданий и сооружений	2,9	2,3	2,8	12,0	1,8	1,9	1,4
3	Проектно-изыскательских работ, согласований	9,7	7,8	13,0	8,5	8,2	15,0	7,9
4	Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

ство КЛ стоимость собственно кабельной продукции незначительна и составляет лишь 15—25%, если свыше 50% трассы проложено в земле. Более весомую часть составляют затраты на строительные-монтажные работы по тем или иным способам разработки грунтов.

В табл. 5 представлена укрупнённая структура затрат на рассматриваемые кабельные линии в текущих ценах.

Как видно из табл. 5, относительная стоимость проектно-изыскательских работ заметно снизилась в сравнении с данными из табл. 4 (базовые цены 2000 г.). Тем не менее, их доля сравнительно высока из-за объёмности и дороговизны инженерно-геодезических, инженерно-геологических, инженерно-экологических изысканий, а так же большого объёма платных согласований, что характерно лишь для очень крупных городов.

Наконец, в табл. 6 даны технико-экономические характеристики КЛ 20 кВ с дифференциацией их для кабелей, прокладываемых в коллекторе и в земле, в ценах 2000 г. Для перехода к текущим ценам необходимо ввести повышающий коэффициент из диапазона 4,7—5,4.

Как видно из табл. 6, стоимость одной кабельной линии 20 кВ в земле находится в пределах 2,5—3,5 млн руб./км. Более высокие значения характер-

ны для центральных районов города с относительно короткими трассами, прокладываемыми в закрытых переходах. Стоимость КЛ 20 кВ в городских коллекторах в 2—4 раза ниже.

Полученные технические и экономические характеристики позволяют сформировать подходы к обоснованию и выбору параметров кабельной сети рассматриваемой ступени напряжения.

Для трасс кабельных линий, проходящих в различных грунтах и условиях окружающей среды, выбор конструкций и сечений кабелей следует производить по участку с наиболее тяжёлыми условиями, если длина участков с более лёгкими условиями не превышает строительной длины кабеля. Принимая во внимание технологические особенности монтажа кабельных линий и их весовые характеристики, обычная строительная длина одножильных кабелей 20 кВ сечением 500 мм² и выше берётся на уровне 0,5 км.

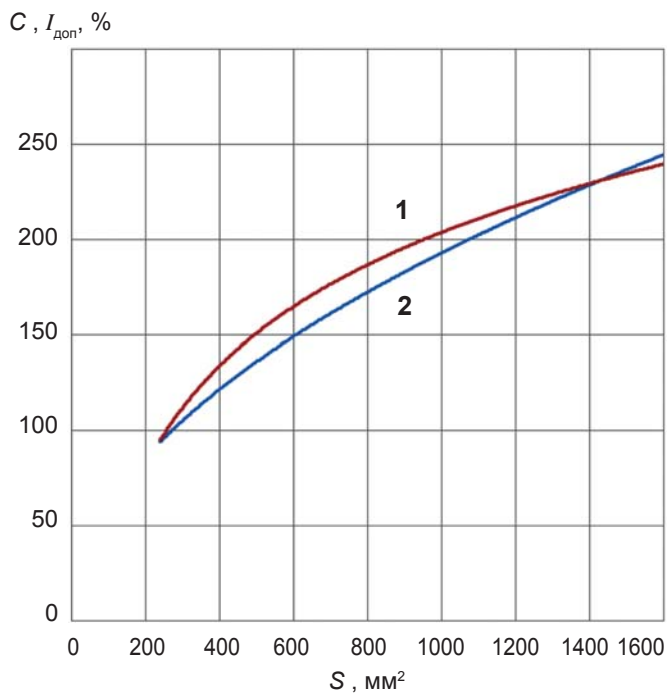
С учётом данных табл. 2 на одну строительную длину придётся 15—50 участков с различными условиями прокладки. Из них 20—30% гарантированно придётся (табл. 2) на трубную канализацию длиной более 10 м и закрытые переходы.

Лишь на первый взгляд повышение пропускной способности линии достигается увеличением её сечения. На рис. 2 приведены зависимости относи-

Табл. 6. Техничко-экономические показатели КЛ 20 кВ

№№ п/п	Показатель	Характеристика показателя КЛ длиной:						
		2x22,32 км	2x16,14 км	2x14,25 км	2x11,50 км	2x6,19 км	2x5,47 км	2x2,59 км
1	Протяжённость трассы в земле, %	66,6	76,9	46,4	93,6	70,0	56,1	43,8
2	То же, но в коллекторе	33,4	23,1	53,6	6,4	30,0	43,9	56,2
3	Суммарные затраты на КЛ в земле в ценах 2000 г., %	85,0	91,7	62,2	97,1	85,1	70,7	65,9
4	То же, но в коллекторе	15,0	8,3	37,8	2,9	14,9	29,3	34,1
5	Удельные затраты на КЛ в земле в ценах 2000 г., млн руб./км	3,1	3,7	2,0	3,0	2,4	2,2	3,9
6	То же, но в коллекторе	1,1	1,1	1,1	1,3	1,0	1,2	1,6

Рис. 2. Относительные величины:
1 — $I_{\text{доп}}$; 2 — C



тельной стоимости C и допустимой токовой нагрузки $I_{\text{доп}}$ от сечения S кабельной линии при прокладке в земле. За 100% приняты соответствующие значения для одиночного кабеля сечением 240 mm^2 .

Из рис. 2 следует, что, например, увеличение сечения кабеля с 500 mm^2 ($I_{\text{доп}} = 146\%$; $C = 130\%$) до 1600 mm^2 ($I_{\text{доп}} = 235\%$; $C = 249\%$) позволит увеличить $I_{\text{доп}}$ лишь на 60%, при том, что стоимость кабельной линии C возрастет практически вдвое.

Следовательно, более предпочтительным является не рост сечений кабельных линий, а увеличение их количества между центрами питания сети.

Другим дополнительным и менее дорогостоящим способом повышения пропускной способности КЛ 20 кВ является совершенствование систем контроля и управления электрической сетью. Заводы-изготовители кабельной продукции регламентируют следующие перегрузки кабелей: 20% непрерывно в течение 8 ч за сутки (30—40% в течение 4 ч), но не более 100 ч в год и 1000 ч за весь срок эксплуатации. Как правило, на всех РП 20 кВ устанавливаются устройства телемеханики. Интеграция с ними упрощенных средств температурного контроля кабелей 20 кВ позволит гибко использовать их перегрузочную способность в различных эксплуатационных режимах. При этом стоимость силового кабеля 20 кВ при встраивании в него оптического кабеля для температурного контроля увеличивается лишь на 3%.

ВЫВОДЫ

Фактические условия прохождения кабельных линий 20 кВ в мегаполисе таковы, что на одну строительную дли-

ну линии приходится 15—50 участков с различными условиями прокладки. Сложные условия прокладки приводят к 10—45—85% снижению пропускной способности кабелей (по сравнению с прокладкой кабелей в траншее на глубине 0,8 м).

При наличии закрытых переходов глубокого заложения пропускная способность кабельных линий 20 кВ составляет 38—45%. При этом по условиям расчетных продолжительных ремонтных или послеаварийных режимов нагрузка питающей кабельной линии должна быть еще в два раза ниже. Такие длительно допустимые нагрузки обуславливают мощность распределительного пункта 20 кВ на уровне 10 МВт, что ниже расчетных значений, планируемых для этой кабельной сети.

С технико-экономических позиций наиболее предпочтительно повышать пропускную способность питающих кабельных линий не за счет увеличения их сечения, а за счет роста количества параллельных кабельных линий.

Дополнительным организационно-техническим мероприятием по повышению пропускной способности электрической сети 20 кВ следует считать внедрение устройств температурного контроля кабелей в системах диспетчерского и технологического управления с целью гибкого использования их перегрузочной способности в различных эксплуатационных режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р МЭК 60287 — 1 — 1 — 2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1 — 1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100% коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения.
2. ГОСТ Р МЭК 60287 — 2 — 1 — 2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 2 — 1. Тепловое сопротивление. Расчет теплового сопротивления.
3. Пелисье Р. Энергетические системы. М.: Высшая школа, 1982.

