Содержание

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СИСТЕМЫ ТЯГ080Г0 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Методика выбора основных параметров

The railway track power supply systems.
The methods of selecting fundamental parameters

Дата введения — 2018—05—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на системы тягового электроснабжения постоянного тока напряжением 3 кв. переменного тока напряжением 25 и 2 х 25 кв при скорости движения поездое на электротяге до 250 км/ч и устанавливает методику выбора основных параметров этих систем.

2 Нормативные ссылки

в настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 839—80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия

ГОСТ 2585—81 выключатели автоматические быстродействующие постоянного тока. Общие технические условия

ГОСТ 4775—91 Провода неизолированные биметаллические сталемедные. Технические условия

ГОСТ 6962—75 Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений

ГОСТ 7746—2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия

ГОСТ 11677 Трансформаторы силовые. Общие технические условия

ГОСТ 14209—85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки

ГОСТ 16772—77 Трансформаторы и реакторы преобразовательные. Общие технические условия

ГОСТ 32697—2014 Тросы контактной сети железной дороги несущие. Технические условия

ГОСТ 32895 Электрификация и электроснабжение железных дорог. Термины и определения

ГОСТ Р 51559 Трансформаторы силовые масляные классов напряжения 110 и 220 кв и автотрансформаторы напряжением 27,5 кв для электрических железных дорог переменного тока. Общие технические условия

ГОСТ Р 52002 Электротехника. Термины и определения основных понятий

ГОСТ Р 52565—2006 выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кв. Общие технические условия

ГОСТ Р 52719 Трансформаторы силовые. Общие технические условия

ГОСТ Р 52726—2007 Разъединители и заземлители переменного тока на напряжение свыше 1 кВ и приводы к ним. Общие технические условия

ГОСТ Р 55647—2013 Провода контактные из меди и ее сплавов для электрифицированных железных дорог. Технические условия

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по

Издание официальное

техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандартыв. который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Нащюнальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссыгкз, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 32895. ГОСТ Р 52002. а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 максимальный режим системы внешнего электроснабжения: Режим работы электроэнергетической системы, питающей тяговые подстанции, при котором в ней включено максимально возможное количество генераторов, трансформаторов и линий электропередачи.

3.2 пакет поездов: Два и более следующих один за другим поездов с заданным наименьшим интервалом на электротяге.

3.3 час интенсивных перевозок: Период времени суток, е котором движение поездов обусловливает максимальную нагрузку системы тягового электроснабжения.

3.4 расчетная масса (поезда): Среднее арифметическое значение массы всех поездов, включая пассажирские, обращающихся на каждом пути участка за одни сутки е среднем за год.

3.5 участок с преимущественно пассажирским движением: Участок, на котором количество пассажирских поездов составляет более 60 % общего количества поездов в сутки и для которого поезд расчетной массы относят к категории пассажирских поездов.

3.6 участок с преимущественно пригородным движением: Участок, на котором количество пригородных поездов составляет более 60 % общего количества поездов в сутки.

3.7 участок со смешанным движением: Участок, на котором количество пассажирских и пригородных поездов или количество грузовых поездов находится в интервале от 40 до 60 % общего количества поездов в сутки.

4 Общие положения

4.1 Основные требования

4.1.1 Основными параметрами систем тягового электроснабжения являются:

- расстояние между смежными тяговыми подстанциями;

- мощность и количество силовых трансформаторов, а также автотрансформаторов системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 к8;

• номинальный ток на выходе и количество статических преобразователей для системы тягового электроснабжения:

- номинальный ток коммутационных аппаратов и трансформаторов тока:

• номинальный ток отключения выключателей:

- марка, сечение и количество проводов контактной сети, проводов и кабелей питающих, отсасывающих и шунтирующих линий:

• марка, сечение и количество проводов сборных и соединительных шин тяговых подстанций и линейных устройств системы тягового электроснабжения.

4.1.2 Значения основных параметров, кроме расстояний между тяговыми подстанциями, выбирают из номинальных рядов, установленных стандартами на соответствующую продукцию.

Для продукции, в отношении которой стандарты не разработаны, допустимые значения перегрузки по току и времени усреднения принимают по техническим условиям.

4.1.3 При выборе основных параметров систем тягового электроснабжения принимают следующие допустимые значения расчетных величин:

а) для напряжения на токоприемнике электроподеижного состава в соответствии с таблицей 1:

Таблица 1 — Допустимые минимальные значения напряжения на токоприемнике электроподвижного состава

Напряжение	Значение напряжения. В. при системе тягового электроснабжения		Время усреднения T_i. значения напряжения
	постоянного тока	переменного тока (действующее значение)	
1 Наименьшее	По ГОСТ 6962—75 (пункт 2)		—
2 Расчетный уровень наименьшего напряжения при скорости движения поездов до 160 км/ч включ.	По Правилам {1] (пункт 2 приложения №4)		3
3 Расчетный уровень наименьшего напряжения при скорости движения пассажирских поездов св. 160 до 250 км/ч включ.	2900	24 000	1

б) для температуры нагрева проводов контактной сети, питающих проводов системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ. проводов питающих, отсасывающих и шунтирующих линий е соответствии с таблицей 2;

Таблица 2 —Допустимая температура нагрева проводов тяговой сети

Тип провода		Время усреднения 7_W. мин, расчетного значения температуры
Контактные из меди и ее сплавов	По ПОСТ Р 55647—2013 (раздел 9)	20
Несущие тросы из меди и ее сплавов	По ГОСТ 32697—2014 (раздел 9)	1
Многопроволочные биметаллические сгале-медные	По ГОСТ 4775—91 (пункт 4.3)	
Медные кроме контактных проводов и несущих тросов, алюминиевые и сталвалюминиевыв	По ГОСТ 839—80 (пункт 5а.2)	20

в) для тока и/или температуры нагрева каждого из элементов системы тягового электроснабжения с учетом установленных для данного элемента норм допустимых перегрузок по току и времени усреднения.

4.1.4 Температуру нагрева проводов по перечислению б) 4.1.3 рассчитывают при температуре окружающего воздуха 40 °С. скорости ветра 1 м/с в поперечном направлении относительно провода и интегральной поверхностной плотности потока солнечного излучения 900 Вт/м^2.

4.1.5 Проверку контактной сети по температуре нагрева проводов выполняют как при нормальной схеме, так и при раздельном питании путей с отключенными постами секционирования и пунктами параллельного соединения контактной сети при их наличии.

4.1.6 Параметры контактной сети системы тягового электроснабжения постоянного тока выбирают с учетом износа контактных проводов, равного 15 % площади полного сечения.

4.1.7 Мощность системы внешнего электроснабжения принимают для максимального режима ее работы.

4.2 Исходные данные и порядок выбора основных параметров

4.2.1 В качестве исходных данных для выбора основных параметров принимают:

а) координаты расположения станций, продольный профиль и план пути, допустимые скорости движения поездов на участке:

б) копичество грузовых, пассажирских и пригородных поездов в сутки по каждому пути двухпутных и многолутных участков или по обоим направлениям движения для однопутных участков;

в) массы поездов всех категорий, серии и количество секций электровозов или моторных вагонов в поездах:

г) наименьший межпоездной интервал в пакетах поездов различных категорий:

д) график движения поездов или количество поездов в час интенсивных перевозок:

е) распределение категорий поездов по путям для многопутных участков.

4.2.2 Выбор основных параметров осуществляют по результатам тяговых и электрических расчетов. Параметры следует выбирать, как правило, без учета режима рекуперации за исключением случаев. когда рекуперативное торможение на участках с затяжными спусками применяют для обеспечения безопасности движения поездов.

4.2.3 Тяговые расчеты производят в соответствии с параметрами, заданными е перечислениях а), в), е) 4.2.1, при движении в обоих направлениях следующих поездов:

- пассажирских и пригородных:
- грузовых наибольшей массы из заданных по перечислению в) 4.2.1:
- грузовых расчетной массы.

4.2.4 Электрические расчеты выполняют с учетом изменения потребления тока из контактной сети электроподвижным составом при его перемещении по участку в соответствии с графиком движения поездов, заданным согласно перечислению д) 4.2.1, который математически моделируют с использованием результатов тяговых расчетов.

4.2.5 При отсутствии данных по перечислению д) 4.2.1 принимают расчетные графики движения поездов, указанные в 4.2.5.1—4.2.5.6.

4.2.5.1 На двухпутных и многопутных участках в направлении наибольшего электролотребления принимают пакет из $M_{ич1}$ поездов расчетной и наибольшей массы, проложенный спустя не менее 6 ч от начала графика движения с заданным в соответствии с перечислением г} 4.2.1 интервалом J_p. мин. До и после пакета прокладывают поезда расчетной массы в количестве JV_{c1} - $W_{„4l}$ с интервалом J,. мин. который вычисляют по формуле

$$\frac{”40\text{-}^\text{-}Г_{,,}}{} \qquad (4.1)$$

где 7^ — продолжительность периода интенсивных перевозик. мин. 7^ = 60 мин. если не задано иное значение;

$7^_{ех}$ — продолжительность суточного бюджета времени, выделяемого для производства плановых ремонтно-строительных работ на сооружениях железнодорожной инфраструктуры: $Г_{твх}$ = 150 мин. если не задано иное значение:

$A/_{c1}$ — количество поездов в сутки на данном пути.

Количество поездов $M_{ич1}$ в пакете определяют как ближайшее целое к значению, рассчитанному по формуле

$$Ли^Ч*^{1}\text{-} \qquad (4\text{-}2)$$

Количество поездов наибольшей массы в пакете, если таких менее 5 % общего количества поездов в сутки, принимают равным одному, если от 5 до 25 % — два поезда, более 25 % — три поезда.

4.2.5.2 На двухпутных и многопутных участках в обратном направлении принимают все поезда расчетной массы в количестве *N*^. заданном в сутки для данного пути, с интервалом $_j C_j$ = 1.4 J_p. но не менее 11 мин.

4.2.5.3 На однопутных участках принимают частично-пакетный график движения при пропуске пакета из трех поездов расчетной и наибольшей массы с заданным интервалом J_p в направлении наибольшего электропотребления и при скрещении этого пакета со встречными поездами расчетной массы на всех раздельных пунктах с путевым развитием.

4.2.5.4 В случае одинакового элекгропотребления по железнодорожным путям или направлениям движения в расчетном графике движения поездов рассматривают отдельно пакеты поездов по каждому железнодорожному пути или направлению движения.

4.2.5.5 На участках с преимущественно пассажирским движением и на участках со смешанным движением грузовых и пассажирских поездов в расчетном графике движения поездов учитывают пакеты грузовых и пассажирских поездов.

4.2.5.6 На участках с преимущественно пригородным движением расчетный график движения поездов формируют с учетом количества пар пригородных поездов в час интенсивных перевозок.

4.2.6 Выбранные согласно требованиям 4.1 значения основных параметров проверяют на соответствие требованиям 4.1 для вынужденного режима работы системы тягового электроснабжения при условии пропуска одного поезда расчетной массы по каждому железнодорожному пути межподстанционной зоны.

Вынужденный режим системы тягового электроснабжения соответствует отключению каждой из тяговых подстанций (по одной) при введенных в работу резервирующих трансформаторах и статических преобразователях для системы тягового электроснабжения на тяговых подстанциях соседних с отключенной.

Параметры системы тягового электроснабжения переменною тока 2 х 25 кВ проверяют дополнительно для вынужденного режима при отключении отдельно каждого из автотрансформаторных пунктов при всех включенных тяговых подстанциях.

При вынужденных режимах работы систем тягового электроснабжения расчетный уровень наименьшею напряжения согласно таблице 1 принимают по нормам Правил [1] (пункт 2 приложения N9 4). допустимым в исключительных случаях.

4.2.7 В случае невыполнения требований 4.1 выбранные значения основных параметров системы тягового электроснабжения корректируют и для их проверки повторно производят электрические расчеты.

5 Выполнение тяговых расчетов

5.1 Тяговые расчеты при выборе основных параметров систем тяговою электроснабжения проводят для определения электрической нагрузки контактной сети в различных точках железнодорожною участка в зависимости от профиля и плана пути, характеристик электроподвижного состава, массы поезда и параметров состава вагонов, а также режима ведения поезда и напряжения в контактной сети.

5.2 8 результате тяговых расчетов получают следующие основные параметры:

• зависимости от времени координат положения поезда на участке и токов, потребляемых электроподвижным составом из контактной сети, с равномерным шагом по времени Л Г. мин. согласно 6.4:

• расходы электроэнергии (при переменном токе полные и активные) и время хода поезда по перегонам участка.

5.3 Результирующие параметры, перечисленные в 5.2. рассчитывают на основе решения дифференциальных уравнений движения поезда, выраженных формулами:

$$dvfdt = \$\,[F» - 8_f(v) - W_0(v) - W_t\backslash fm_n, \quad (5.1)$$

$$dlfdt = C, v. \quad (5.2)$$

$$U - *№ \quad (5.3)$$

где *dvfdt* — ускорение (замедление) поезда. км/(ч мин):

C — ускорение или замедление поезда при удельной силе 1 Н/т: С - 0.2038 км/(ч мин)/(Н/т):

v — скорость движения поезда, км/ч;

ш — тяговая характеристика электроподвижного состава по данным эавода-изготовителя. кН;

S,(v) — зависимость силы торможения поезда от скорости, кН:

$W_0(v)$ — основное сопротивление движению поезда. кН;

Wt — дополнительное сопротивление движению от уклона и от кривой. кН;

тп — масса поезда, т;

dlfdt — приращение координаты, км/мин;

Сг — коэффициент, учитывающий размерность времени: С, = 1/60;

ток. потребляемый из контактной сети электроподвижным составом поезда. А:

токовая характеристика электроподвижного состава по данным завода-иэготовителя. А.

5.4 Методика расчета результирующих параметров, перечисленных в 5.2. на основе интегрирования уравнений (5.1)—(5.3) в конечных приращениях приведена в приложении А.

Допускается использование других методов и способов интегрирования уравнений движения поезда при условии, что их результаты соответствуют 5.2.

5.5 8 расходах электроэнергии и в токовой нагрузке контактной сети учитывают мощность собственных нужд электроподвижного состава, а для пассажирских поездов — также мощность, расходуемую на освещение, отопление и кондиционирование воздуха в вагонах.

5.6 При тяговых расчетах учитывают:

• остановки на станциях, обусловленные технологией работы железнодорожного участка

• постоянно действующие предупреждения об ограничении скорости движения поездов:

• перегоны, на которых при движении поезда используют пздталкивающие локомотивы.

6 Выполнение электрических расчетов

6.1 Электрические расчеты выполняют для определения показателей, характеризующих режимы работы устройств тягового электроснабжения, по условиям соответствия которых нормативным значениям согласно 4.1.3 осуществляют выбор основных параметров систем тягового электроснабжения.

К этим показателям относят:

• токи в силовом оборудовании, коммутационных аппаратах, сборных шинах распределительных устройств тяговых подстанций и линейных устройств, в питающих, отсасывающих и шунтирующих линиях. проводах контактной сети;

• температуры нагрева проводов контактной сети, элементов силовых трансформаторов и автотрансформаторов системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ;

• напряжения на сборных шинах питающих линий контактной сети тяговых подстанций и на токоприемниках электроподвижного состава.

6.2 Расчеты значений параметров режима, перечисленных в 6.1. производят посредством моделирования графика движения поездов, который формируют на основе результатов тяговых расчетов и исходных данных, приведенных в 4.2.1. 4.2.5.

6.3 В результате расчетов получают:

- числовые ряды значений токов и напряжений в отдельные моменты времени с равномерным шагом по времени д*Т.* мин, при фиксированном в эти моменты расположении поездов на участке;

- наибольшие, наименьшие и усредненные за заданные периоды времени значения токов, напряжений и температур на основе обработки данных числовых рядов.

6.4 Значение шага д Г по времени выбирают не более:

• при системе тягового электроснабжения постоянного тока — 0,5 мин;

- при системах тягового электроснабжения переменного тока — 1.0 мин;

- при наличии поездов со скоростями движения свыше 160 км/ч при всех системах тягового электроснабжения — 0.25 мин.

6.5 Уравнения, связывающие параметры систем тягового электроснабжения с искомыми параметрами режима, составляют на основе расчетных электрических схем этих систем.

Расчетные схемы системы тягового электроснабжения формируют из схем замещения тяговых подстанций и устройств тяговой сети, приведенных в приложении Б.

6.6 В расчетной схеме участка, на котором осуществляют проверку основных параметров системы тягового электроснабжения, учитывают смежные межподстанционные зоны, при их наличии, на границах атиго участка.

6.7 Параметры режима расчетной схемы рекомендуется определять методом контурных токов или узловых напряжений с использованием электронных вычислительных машин (ЭВМ).

Допускается применять другие методы расчета электрических схем, обеспечивающие рациональное использование ресурсов ЭВМ в части способов хранения и обработки промежуточных результатов вычислений.

6.6 Порядок действий при расчетах параметров рабочего режима систем тягового электроснабжения на основе моделирования графика движения поездов приведен в приложении В.

7 Выбор расстояния между смежными тяговыми подстанциями

7.1 Расстояния между смежными тяговыми подстанциями определяют при проектировании, исходя из необходимости выполнения требований, установленных в разделе 4. Рекомендуется принимать эти расстояния не более приведенных в 7.2. 7.3.

7.2 Для железнодорожных линий, электрифицированных на постоянном токе, наибольшее расстояние между тяговыми подстанциями выбирают в зависимости от годовой приведенной грузонапряженности $Г_{пр}$. млн т км брутто/км. которую вычисляют по формуле

$$Г_{пр} = 3.65\ 10\text{-}^{4}\ \mathrm{sum},(/Y_{c},m_{р},). \qquad (7.1)$$

где N_d — количество грузовых и пассажирских поездов, включая пригородные, в средние сутки года по каждому пути /двухпутных и многопутных участков или по направлениям движения для однопутных участков;

$т_р$, — расчетная масса поезда на пути /или на данном направлении движения, т.

Расстояния между смежными тяговыми подстанциями принимают не более, км:

20.....при значении $Г_{пр}$ св. 25 млн т км бруттоЛсм;

25.....при значении $Г_{пр}$ до 25 млн т км брутто/км включ.

7.3 Для железнодорожных линий, электрифицированных на переменном токе, расстояние между смежными тяговыми подстанциями выбирают не более:

- при системе тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ — 50 км:
- при системе тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ с усиливающим и экранирую* щим проводами — 65 км:
- при системе тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ — 70 км.

7.4 Расстояния между смежными тяговыми подстанциями рекомендуется выбирать в такой последовательности.

На начальном этапе расчетов принимают наибольшие значения расстояния по 7.2. 7.3.

При принятых расстояниях между тяговыми подстанциями предварительно выбирают параметры системы тягового электроснабжения в соответствии с разделами 8. 9 и согласно 12.1.

Если предварительно выбранные параметры системы тягового электроснабжения не соответствуют требованиям 4.1. то принимают меньшие расстояния между подстанциями и электрические расчеты с целью проверки параметров выполняют повторно.

7.5 Если при системе тягового электроснабжения постоянного тока для большинства межподстанционных зон требуемые по результатам расчетов расстояния между тяговыми подстанциями составляют менее 7 км. то на проектируемом железнодорожном участке следует применять систему тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ.

На межподстанционных зонах системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ длиной менее 25 км рекомендуется применять систему тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ с усиливающим и экранирующим проводами или систему тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ.

8 Выбор мощности и количества силовых трансформаторов

8.1 Выбор мощности и количества преобразовательных трансформаторов тяговых подстанций постоянного тока

Показатели рабочего режима при выборе преобразовательных трансформаторов тяговых подстанций постоянного тока рассчитывают с использованием числового ряда К„(к) нагрузок сетевой обмотки в долях ее номинальной мощности, вычисляемых по формуле

«<>->■ (8-1)

где — номинальное напряжение сетевой обмотки трансформатора, приведенное к стороне выпрямленного тока. кВ;

1^к) — числовой ряд значений токов на выходе статических преобразователей для системы тягового электроснабжения, которые подключены к данному трансформатору, полученный с заданным шагом по времени *АТ,* мин. в результате электрических расчетов. А:

л„ — количество параллельно работающих трансформаторов;

$S_{,Т\ ном}$ — номинальная мощность сетевой обмотки трансформатора. кВ • А.

Значение напряжения принимают в зависимости от схемы преобразования:

3.7 кв.....трехфазной мостовой;

3.6 кВ..... эквивалентной двенадцатифазной мостовой.

Наибольшее эффективное значение нагрузки трансформатора $К_{,,\ 9ф\ м}$ за скользящий период времени $Т_с$ = 30 мин рассчитывают по формуле

эф м = max, (sum* Ч = ЗО/ДГ. (8.2)

где $М_к$ — количество элементов числового ряда токов *lj.k).*

Наибольшие средние значения нагрузки трансформатора К,, $_{Тс/}$ за периоды времени 7^. мин. соответствующие ГОСТ 16772—77 (пункт 2.7.2). рассчитывают по формуле

ma = max, (sum* *% - T^i&T.* (8.3)

/* 1 -Ч-Ч;- $k^{a'-'+}$4j-

Значения нагрузки трансформатора, рассчитанные по формулам (8.2). (8.3), должны удовлетворять условиям.

К»тэфЗо£[1]' [1]^Ю К,, max (8.4)

где *К„* др,, $_{Гс}$у— допустимые значения выходного тока. %. по ГОСТ 16772—77 {пункт 2.7.2) для соответствующих периодов продолжительности нагрузки T_t-, мин.

Если хотя бы одно из условий (8.4) не выполнено, требуемое количество трансформаторов л'$_{T|}$ и номинальную мощность сетевой обмотки трансформатора S',, $_{ноы}$. кВ А. выбирают по условию

(8.5)

где К$_{инс}$,, — коэффициент использования нагрузочной способности трансформатора.

Коэффициент *Ку$_{нс\ п}$* рассчитывают по формуле

К„„с „ = "»* «и $_э$ф З0 «Ю *К, ,* $_{max}$ *Tci(K, iaoa TBi)*. (86)

8.2 Выбор мощности и количества масляных трансформаторов и автотрансформаторов

8.2.1 Выбор мощности и количества силовых масляных трансформаторов и автотрансформаторов. изготовленных по ГОСТ 11677. ГОСТ Р 51559. ГОСТ Р 52719. производят с использованием числового ряда *K{к)* нагрузок в долях номинальной мощности трансформатора, вычисляемых по формуле

(8.7)

где L/$_{H0U}$ — номинальное напряжение обмотки, питающей тяговую нагрузку. к8;

/(А) — числовой ряд значений токов наиболее нагруженной обмотки с заданным шагом по времени ЛГ, мин. полученный в результате электрических расчетов. А:

л, — количество параллельно работающих трансформаторов;

S, $_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора. кВ А.

Расчет значений нагрузки К<Л) с учетом особенностей режима работы различных видов трансформаторов (автотрансформаторов) в системах тягового электроснабжения приведен в 8.2.4—8.2.7.

8.2.2 На каждом шаге *к* изменения нагрузки трансформатора рассчитывают температуры масла в верхних слоях t$_Н$(fc) и наиболее нагретой точки обмотки Г$_{ИИТ}$(Л). *С. по формулам:

(8.8)

(8.9)

где «$_{охп}$ — температура охлаждающей среды. ^{в}С;

«$_{нА}$ - превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды. *С:

У$_{ни1\ u\ Л}$ — превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла в верхних слоях. ^{в}С.

Превышения температур 0$_М$ „ и 0$_{ИНГ\ м\ л}$ рассчитывают по ГОСТ 14209—85 (подраздел 2.3) для условий переходного теплового режима нагрева и снижения температуры элементов трансформатора при следующих значениях расчетных параметров.

- температура охлаждающей среды в$_{охл}$ - 35 *С;
• продолжительность нагрузки на каждом шаге *h - Л*7760 ч;
- значения нагрузки в долях номинальной мощности К„ * *К(к).*

Максимальные значения температуры масла в верхних слоях $_{тах}$ и наиболее нагретой точки обмотки Г$_{ин1\ тах}$. *С, рассчитывают по формулам:

'м$_т$« = ™ми*>1- (8.10)

U п»$_х$ = птах* {*„„,{*)]. * = 1 ... *М$_к$,* (8.11)

где *М$_к$* — количество элементов числового ряда *К(к)* значений нагрузки трансформатора.

Наибольшие средние значения нагрузки трансформатора $К_{тах\ 1}$ и $К_{tnax\ ,0}$ за периоды времени соответственно 1 и 10 мин. рассчитывают по формулам:

$$К_{max}, = max, (sum* К(Л)Ш_{С}), М_{с} = 1 /ДГ. \quad (8.12)$$

$$К_{тад}\ ,о = max\text{-}[sum^* K(k)fM_{c}).\ M_{c} - 10/Д7, \quad (8.13)$$

$$к\text{-}1...\ i^*\ M_{c}.$$

8.2.3 Показатели, рассчитанные по формулам (8.10)—(8.13), должны удовлетворять условиям:

Nnax 1 ^s^ 2,0, ю ^s^ ^ (8.14)

'м max ^ ^в^м max ' Chi шах ^ ^инт max' (8.15)

где $«_{м\ тах}$, $в_{икт\ тах}$ — максимально допустимые значения температуры масла в верхних слоях и наиболее нагретой точки обмотки для систематических нагрузок по ГОСТ 14209—85 (пункт 2.1.3).

Если любое из условий (8.14), (8.15) не выполнено, требуемое количество трансформаторов л', и номинальную мощность трансформатора $S'_{ном}$. кВ • А. выбирают по условию

$$нон \wedge л, S_{иом} К_{И1К\ т}. \quad (8.16)$$

где $K\wedge_{нс}$, — коэффициент использования нагрузочной способности трансформатора.

Коэффициент $К_{Инс}$, использования нагрузочной способности трансформатора рассчитывают по формуле

«йнс, = ,«.0: $_{1в}$/1 А Чнсо). (8.17)

где $К_{,(нс\ м}$. $К_{Инс\ 0}$ — коэффициенты использования нагрузочной способности трансформатора по максимально допустимым значениям температуры соответственно масла в верхних слоях и наиболее нагретой точки обмотки.

Коэффициенты $К_{Инс\ м}$. $К_{Хис\ 0}$ рассчитывают по формулам:

К$_{SfHC\ 1}$ Чтах-Оохл-!7! / ^ й max ©ХЛ (8.18)

Cm max -^в^охл"1в / ®нт тая *^е^оял-18 (8.19)

При несоблюдении условий (8.14). (8.15) для автотрансформаторов системы тягового электроснабжения переменного тока 2 * 25 кВ выбирают бблыную номинальную мощность автотрансформатора или увеличивают количество автотрансформаторных пунктов в межподстанционной зоне.

8.2.4 Для тяговых подстанций постоянного тока значения нагрузки *К(к)* понижающего трансферматора в долях его номинальной мощности рассчитывают по формуле

$$s_{nTH0M}; \quad (8.20)$$

где $t_{nt(J}(k)$ — числовой ряд токов понижающего трансформатора, приведенных к стороне выпрямленного напряжения, которые вычисляют по формулам (В.24), (В.25) (приложение в). А;

S.. — мощность нетяговых и районных потребителей, получающих питание от данного трансформатора. кВ А;

.. — коэффициент, учитывающий несовпадение максимумов нагрузки на тягу поездов и не тяговых (районных) потребителей: $к_{н}$ - 0.7:

п„. — количество параллельно работающих трансформаторов;

$S_{ni\ ном}$ — номинальная мощность трансформатора. к8 А.

Определение напряжения кВ. приведено в 8.1.

8.2.5 Расчетную нагрузку трехфаэных трансформаторов тяговых подстанций переменного тока определяют по токам обмоток фаз ас и *Ьс.* показанных на рисунке Б.2 (приложение Б). Значения со-

отеетствующих этим токам нагрузок К, (к). $K_{7}(к)$ в долях номинальной мощности трансформатора рассчитывают по формулам:

$$*,(*> = IU_{НОМ} | 2\ I_{опор}(к) + I_{„„<*)}\ e^{**o*} | ♦ S_{Н}\ AJ't'',\ S,_{ном}), \quad (8.21)$$

$$= [U_{НОМ} | 2\ I_{„„(*>} + I_{„„.„(*)}\ e\text{-}W | + S_{„}\qquad S_{Т\ НОМ}). \quad (8.22)$$

где $I/_{М0М}$ —номинальное напряжение обмоток. $U_{НОU}$ = 27,5 к8:

4nepW' $4,_{C}$rW — числовые ряды токов в плечах тяговой подстанции, которые получают питание соответственно от опережающей и отстающей фазы напряжения системы внешнего электроснабжения. А;

S_{n} — мощность нетяговых и районных потребителей, кВ А;

$к_{н}$ — коэффициент, учитывающий несовпадение максимумов нагрузки на тягу поездов и нетяговых (районных) потребителей: $к_{h}$ = 0.7:

n_{t} — количество параллельно работающих трансформаторов;

$S,_{ноы}$ — номинальная мощность трансформатора. кВ А.

Для каждого из числовых рядов нагрузок К,(к). $К^{к)}$ по формулам (8.8)—(8.13), приведенным в 8.2.2. рассчитывают следующие параметры:

• максимальные значения температуры масла в верхних слоях $Г,_{м\ тах}$. $^{\wedge}{}_{м\ тах}$. *С;

- максимальные температуры наиболее нагретой точки обмоток $f,_{ии1тах}$. $Ч_{ННТ\ тах}$.

• наибольшие средние значения нагрузок за период времени 1 мин. $К_{л\ тах}$,, $Kg_{\ тах}$,;

• наибольшие средние значения нагрузок за период времени 10 мин. $К,_{\ тах\ ,0,\ тах\ 10}$.

Выбор количества и мощности трансформаторов осуществляют согласно 8.2.3 при наибольших значениях нагрузок $К_{tliax}$,, $К_{№ах\ 10}$ и максимальных температур $г_{м\ тах}$, $г_{инТ\ тах}$. ВС. вычисленных по формулам:

$$Nn.x, = \qquad _{max}\ ,.\ ^{\wedge}\ _{тах},). \qquad _{10} = тах(К,_{\ тах\ 10}.\ К^{*}\ _{так\ 10}), \quad (8.23)$$

$$*ы\ max = \qquad и\ max • Ч\ м\ max)\text{-}\ 'ни.\ max = {}^{тах}<(1\ max - Ч\ ни.\ max \quad <8\text{-}24>$$

8.2.6 Для тяговых подстанций переменного тока 2 х 25 кВ значения нагрузки $К(к)$ однофазного трансформатора в долях его номинальной мощности вычисляют по данным числового ряда $I_{П((}(к)$, А. токов в секции расщепленной вторичной обмотки, подключенной к сборным шинам питающих линий контактной сети, как показано на рисунке Б.3 (приложение Б), по формуле

$$КМ = 2\ 4,aJU*>l'K,So,_{Н}o\text{->}. \quad (в\text{-}25)$$

где $(J^{\wedge}$ — номинальное напряжение секции обмотки. $и_{моы}$ - 27.5 кВ:

$л_{01}$ — количество параллельно работающих трансформаторов в данном плече тяговой подстанции:

^{8}от ном " номинальная мощность трансформатора. кВ А.

8.2.7 Значения нагрузки К(к) автотрансформатора системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ в долях его номинальной мощности рассчитывают по формуле

$$^{в}\ 2\ €/_{„}\ |\ I_{А}|ft)\ |/S_{АТ} \quad (8.26)$$

где $U_{М0U}$ — номинальное вторичное напряжение автотрансформатора. $U_{Н0U}$ - 27.5 кВ:

$I_{А}(к)$ — числовой ряд токов в обмотке, подключенной к питающему проводу тяговой сети. А;

SxThom — номинальная мощность автотрансформатора. кВ А.

9 Выбор номинального тока на выходе и количества статических преобразователей для системы тягового электроснабжения

9.1 При выборе параметров статических преобразователей для системы тягового электроснабжения постоянного тока определяют показатели их рабочего режима по данным числового ряда значений тока $Ij\_k)$. А. на выходе статических преобразователей, полученного в результате электрических расчетов с заданным шагом по времени АГ, мин.

9.2 Наибольшее эффективное значение тока статических преобразователей для системы тягового электроснабжения $i_{а\ аф\ м}$, А. за время усреднения 30 мин. рассчитывают по формуле

$$!_d \text{ зо} = \max, [\text{sum}^* \qquad M_c = 30/ДГ. \qquad (9.1)$$

$$/=1 \ldots M_к\text{-}M_c.\ k\text{-}i \ldots i^* M_e,$$

где $M_к$ — количество элементов числового ряда токов $I_d(k)$.

Наибольшие средние значения тока f_{dmax} А. за периоды длительности $Г_ц$, мин. соответствующие допустимым нагрузкам $K_{daon\ Tff}$ относительно номинального тока $1_{а\ ном}$. А. установленным в технических условиях завода — изготовителя преобразователей, рассчитывают по формуле

$$U_{т},x\ тщ = {}^{max}, |^{sum*} \qquad M_{ci} = 7\text{^}/ЛГ. \qquad (9.2)$$

9.3 Максимальный требуемый ток I_{rfmaK}. А. статических преобразователей для системы тягового электроснабжения рассчитывают по формуле

$$\text{^}4 \max \sim т3X\ (/\text{^} \qquad 30\ /\text{^} \max Tff\text{^}daan\ T*y)\text{-} \qquad (9.3)$$

Требуемое количество п„ и номинальный ток $I_{d\ не>м}$. А. на выходе статических преобразователей для системы тягового электроснабжения выбирают по условию

$$*_{n} \text{ мом } \text{^ Af max'} \qquad (9.4)$$

9.4 При несоблюдении условия (9.4) принимают один из следующих вариантов повышения нагрузочной способности тяговой подстанции:

- **выбирают статический преобразователь для системы тягового электроснабжения с ббльшим номинальным током;**
- **увеличивают количество статических преобразователей для системы тягового электроснабжения того же номинального тока.**

Для принятого варианта выполняют вновь электрические расчеты и проверяют нагрузочную способность преобразовательных трансформаторов по в. 1.

10 Выбор номинального тока коммутационных аппаратов и трансформаторов тока

10.1 Номинальный ток коммутационного аппарата и трансформатора тока выбирают по максимальному значению рабочего тока при длительности его усреднения 20 мин.

Расчеты максимального рабочего тока проводят для схем и режимов системы тягового электроснабжения. при которых коммутационные аппараты и трансформаторы тока имеют наибольшую нагрузку.

- **при подключении резервирующего силового оборудования;**
- **в ремонтных и послеаварийных режимах.**

Выбор номинального тока коммутационных аппаратов и трансформаторов тока в питающей линии выполняют как при нормальном режиме, так и при наибольшем возможном количестве секций контактной сети, которые могут быть подключены к данной питающей линии в условиях эксплуа-
1НЦИИ.

Коммутационные аппараты в питающих линиях распределительного устройства 3.3 кВ выбирают на одно и то же значение номинального тока, принятого по наибольшему рабочему току из рассчитанных значении для всех питающих линии.

10.2 Для определения максимального рабочего тока в качестве первичного показателя режима коммутационного аппарата и трансформатора тока из массива результатов электрических расчетов выбирают числовой ряд с заданным шагом по времени дГ, мин, юкив $I_ь$(К). А, той ветви расчетной схемы, которая соответствует электрической цепи данного устройства:

- **питающей линии $I_ф$(/с);**
- **на выходе статических преобразователей для системы тягового электроснабжения I_d(fc);**

• в выводах *a, b* трехфазного трансформатора тяговой подстанции переменного тока соответственна $I_в$(А), $I_„$(А);

• в выводах секций расщепленной обмотки однофазных трансформаторов, подключенных к сборным шинам питающих линий контактной сети. $I_{п1}$ (А). $I^{\wedge}_2(к)$ (см. рисунок Б.3. приложение Б);

- в выводах автотрансформатора системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ

'л(*>-

10.3 Для данного числового ряда токов $I_ь$(А). А. рассчитывают наибольшее среднее за период $I_с$ = 20 мин значение рабочего тока $I_{в\ тах\ 20}$. А. по формуле

$$U\ го = max* [sum* У_„(А)/M_C]. M_с = TJ\backslash T. \quad (10.1)$$

$$...M_к \sim M_с,\ А = I...I + M_с,$$

где $M_к$ — количество элементов числового ряда токов $I_в$(А).

Для числовых рядов $I_а$(А). $I_ь$(А) по формуле (10.1) рассчитывают соответствующие токи $I_{атах\ 20}$, $1_{Ь\ тад\ 20}$. А. из которых выбирают наибольшее значение $I_{ъ\ тах\ м}$.

10.4 По ГОСТ 2565—81 (пункт 1.2) для выключателей постоянного тока, по ГОСТ Р 5256S—2006 (пункт 5.1) для выключателей переменного тока, по ГОСТ Р 52726—2007 (подраздел 5.1) для разъединителей переменного тока выбирают номинальное значение тока $I_{ном}$. А. при котором выполняется условие

$$А<ом\ max\ 20' \quad (10.2)$$

10.5 Для трансформаторов тока выбирают то значение номинального тока первичной обмотки Л ном • А. которому соответствует условие

$$Л\ нр - та* 20 • \quad (10-3)$$

где $I_{,\ нр}$ — наибольший рабочий первичный ток по ГОСТ 7746—2015 (пункт 6.6.5). А.

11 Выбор номинального тока отключения выключателей

11.1 Общие положения

11.1.1 Номинальный ток отключения выключателя выбирают, исходя из максимального значения тока короткого замыкания в главной цепи выключателя.

11.1.2 При электрических расчетах определяют токи $I_{ъ\ кз}$ в ветвях схемы системы тягового электроснабжения. в которых находятся проверяемые выключатели, при следующих режимах короткого замыкания:

- на сборных шинах распределительных устройств 3.3: 27.5 и 2 х 27.5 кВ для выключателей в цели выпрямленного напряжения тяговой подстанции постоянного тока и в выводах трансформаторов тяговых подстанций переменного тока;

- в точке присоединения питающей линии тяговой подстанции и поста секционирования к контактной сети для выключателя этой линии.

11.1.3 При расчетах учитывают максимальное количество трансформаторов и статических преобразователей для системы тягового электроснабжения, которое допускается к параллельной работе на тяговой подстанции.

11.1.4 Для двухпутной и многопутной межподстанционных зон расчеты короткого замыкании в точке присоединения питающей линии к контактной сети выполняют при отключенном выключателе соседней питающей линии (при ее наличии), присоединенной к той же секции контактной сети.

11.1.5 Токи электролодвижного состава, а также устройства регулирования выпрямленного напряжения на тяговых подстанциях постоянного тока не учитывают.

11.1.6 Для определения тока короткого замыкания в режимах и при условиях, указанных в 11.1.2—11.1.5. составляют расчетную схему системы тягового электроснабжения из схем замещения ее элементов. приведенных в приложении Б.

Режимы короткого замыкания следует рассчитывать на ЭВМ методом контурных токов или методом узловых напряжений, приведенном в 8.3 (приложение В).

Для однопутных и двухпутных участков при одинаковых параметрах тяговой сети путей токи короткого замыкания в цепях выключателей допускается рассчитывать по приближенным формулам, приведенным в 11.2.

11.1.7 С использованием полученного е результате расчета максимальною тока короткого замы* кания в главной цепи выключателя $I_в$ А. выбирают номинальный ток отключения, который должен удовлетворять условиям, приведенным в 11.1.7.1,11.1.7.2.

11.1.7.1 Для быстродействующих автоматических выключателей постоянною тока номинальный ток отключения выбирают по условию

$$;\pounds'_д \qquad (11.1)$$

где $I_{„\ макс}$ — максимальное значение аварийного тока по ГОСТ 2565—81 (подраздел 2.3), А.

11.1.7.2 Для выключателей переменного тока номинальный ток отключения выбирают по условию

$$'.ном^{*10} \quad ^{-3} \quad *Ъ\ кз' \qquad (11.2)$$

где $I_{0\ ион}$ — номинальный ток отключения выключателя по ГОСТ Р 52565—2006 (пункт 5.1). кА.

11.2 Метод расчета максимальных токов короткого замыкания в главной цепи выключателей

11.2.1 Система тягового электроснабжения постоянного тока

11.2.1.1 Ток „. А. в цели выпрямленною напряжения тяговой подстанции постоянною тока при коротком замыкании на сборных шинах распределительного устройства 3.3 кВ рассчитывают по фор* муле

$$!<3*3 \sim Чю^тп* \qquad (11\text{-}3)$$

где U_M — напряжение холостого хода на сборных шинах распределительною устройства 3.3 кВ. В:

R_{jn} — эквивалентное сопротивление тяговой подстанции. Ом. вычисляемое по формуле (Б.1) (приложение Б).

11.2.1.2 Ток $I_{ф61\ и}$, А, при коротком замыкании в питающей линии, например первого пути тяго» вой подстанции постоянного тока Б. расположенной на участке, который назван в данном подразделе *А—S—В.* рассчитывают по формуле

$$^ФБ1\ кз = 1ф\&1 + 4фА4 + ^В \bullet \qquad (11.4)$$

где $I'_{фБ1}$ — составляющая тока короткого замыкания от тяговой подстанции Б. А;

$I_{фА4}$ — ток. протекающий по контактной сети соседнею пути (при ею наличии) от тяговой подстанции *А.* А;

$I_в$ — составляющая тока от тяговой подстанции *В,* А.

Составляющую тока $I'_{фБ}$,, А, рассчитывают по формуле

$$»'_{фБ}1 \quad \frac{4fOB}{^ТП6 + \quad 1 + Грс(^Ф61 \sim \quad)} \qquad (11.5)$$

где $I/_{d0В}$ — напряжение холостого хода тяговой подстанции Б. В;

$Я_{ТПБ}$ — эквивалентное сопротивление тяговой подстанции Б. Ом:

$/?_{фБ}$, — сопротивление рассматриваемой питающей линии, Ом. вычисляемое по формуле (Б.16) (приложение Б):

$г_{рс}$ — сопротивление рельсовой сети. Ом/км. вычисляемое по формуле (Б.15) (приложение Б);

$1._{ф}Б$, — координата точки подключения рассматриваемой питающей линии к контактной сети, км:

$£_Б$ — координата тяговой подстанции Б. км.

Ток $I_{фА4}$. А. рассчитывают по формуле

$$*фА4 \quad \frac{ЧгОА\ "\ Ч»Ь}{*ТПА^{+*}{}_вА\text{-}^{+*}фБ_г \quad 12^{+},рс^А\text{-}6} \qquad (11.6)$$

где $U_{МА}$ — напряжение холостого хода тяговой подстанции *А.* В:

U_{dB} — напряжение на сборных шинах 3.3 кВ тяговой подстанции Б. В:

$Я_{ТПА}$ — эквивалентное сопротивление тяговой подстанции *А.* Ом;

$Я_{фА4}$, $/?_{фБ2}$ — сопротивления питающих линий контактной сети второго пути тяговых подстанций со» ответственно $А\лБ$. Ом;

— сопротивление контактной сети второго пути. Ом/км. вычисляемое по формуле (Б.12) (приложение Б);

$Ц_{—Б}$ — расстояние между тяговыми подстанциями *А* и *Б*. км.

Напряжение U_{aB}. 8. на сборных шинах 3.3 кВ тяговой подстанции *Б* рассчитывают по формуле

$$Ч/Б = *фБ1 \wedge тпб- \quad (11\text{-}7)$$

Ток $I_{в}$. А. рассчитывают по формуле

$$\wedge в " \quad „ "фбэ^{р}. \quad \frac{Ч/ОВ * Ч/Б}{р} \quad {}^{к}ТП8 + \frac{}{M_{lee}} + \frac{}{M_{/БВ}} \quad м_{,76В} \bullet + Грс \quad (11.8)$$

где $I/_{d0B}$	**напряжение холостого хода тяговой подстанции *В*, В;**
$*фБЭ$- $\wedge фВ1$	**сопротивления питающих линий контактной сети первого пути тяговых подстанций со» ответственно Бив. Ом;**
$*Ч_{б}В$	**количество электрифицированных путей в межподстанционной зоне S—8;**
$*\text{-}6\text{-}В$	**расстояние между тяговыми подстанциями Бив. км.**

11.2.1.3 Ток$I_{фС1}$ „. А. при коротком замыкании в питающей линии, например первого пути поста секционирования, находящегося в межподстанционной зоне *А*—Б. рассчитывают по формуле

$$4фС1\ о \sim \quad + \wedge Б' \quad (11.9)$$

где $/ф_{А4}$ — ток. протекающий по контактной сети соседнего пути (при его наличии) от тяговой подстанции *А*. А;

$I_{Б}$ — составляющая тока от тяговой подстанции Б. А.

Токи $I_{фА4}$ и $I_{Б}$. А. рассчитывают по формулам;

$$'фА4 \quad \frac{U_{«ОД}}{ТПА + Я\,ФА4 + \quad +)Ч\text{-}ЛС} \quad (11.10)$$

$$ГУ. \quad \frac{U_{«08}}{{}^{к}тпб + \frac{}{M_{lДБ}} + \frac{}{м_{,/ДБ}} \blacksquare + 'рс \quad \wedge fi\text{-} \quad пе} \quad (11.11)$$

где $М,_{АБ}$ — количество электрифицированных путей в межподстанционной зоне *А*—Б;

$L_{А\text{-}пс}$, {-б-пс — расстояние от тяговых подстанций соответственно А и Б до поста секционирования, км.

11.2.2 Система тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ

11.2.2.1 Ток $I_{а\ н}$. А. в выводе, например *и* трехфаэного трансформатора, тяговой подстанции переменного тока при коротком замыкании на сборных шинах распределительного устройства 27,5 кВ рассчитывают по формуле

$$\frac{ЧЛ„}{г£тп +} \quad (11.12)$$

где U_0 — напряжение холостого хода на сборных шинах распределительного устройства 27.5 кВ. 8;

$к_{еп}$ — коэффициент, учитывающий подпитку короткого замыкания от соседней тяговой подстанции смежного плеча через вывод Д трансформатора. При проектных расчетах принимают ^ - 1.05;

$2_{Тп}$ — эквивалентное сопротивление фазы трансформатора. Ом. вычисляемое по формулам (Б.7>— (Б.9) (приложение Б);

— сопротивление устройства продольной компенсации. Ом. вычисляемое по формуле (Б.11) (приложение Б).

11.2.2.2 Ток /ф$_{Б}$, $_{кз}$, А. при коротком замыкании а питающей линии первого пути тяговой подстанции ь переменного тока рассчитывают по формуле

/фБ1кэ Цод (11.13)

г7*пс + 2 _ТПБ ±упх6 + Z. I^тт + 7,, i + 2/ % л +2жеч _тп А т_удиА ±4>А4 ±4>Б2^^кг^А-б

где Ц)Б>Ц>А — напряжения холостого хода тяговых подстанций соответственно *Б* и А. В;

$Z_{Тп6}$. $Z_{ТпА}$ — эквивалентные сопротивления фаз трансформаторов этих подстанций. Ом;

Zynxe-Zynxa — сопротивления устройств продольной компенсации на тяговых подстанциях соответственно 5 и А. Ом;

— сопротивления рассматриваемой питающей линии и питающих линий контактной сети второго пути тяговых подстанций соответственно А и *Б.* Ом. вычисляемые по формуле (Б.26) (приложение Б);

£.$_{2}$ — сопротивление контактной сети второго пути. Ом/км, которое рассчитывают по формуле (Б.34) (приложение Б).

Для однопутной межподстанционной зоны второе слагаемое в формуле (11.13) принимают равным нулю.

11.2.2.3 Ток /$_{фС1 кэ}$. А. при коротком замыкании в питающей линии первого пути поста секционирования. находящегося в межподстанционной зоне А—5 системы тягового электроснабжения переменного тока 2S кВ. рассчитывают по формуле

фС1 и я I ^фА4 +76 !• (11.14)

где /$_{фА4}$ — ток. протекающий по контактной сети соседнего пути (при его наличии) от тяговой подстанции А. А;

/$_{Б}$ — составляющая тока от тяговой подстанции *Б.* А.

Токи /$_{фА4}$ и /$_{в}$. А. рассчитывают по формулам:

'фМ *2-------------------------^----------------------------

д'^ТПА + ^*ПгА + *х2^А —ПС

U06____ (11.16)

iZ—ТЛБ т±.упк6 + Z ^Ф&1 м,ГА6 + *А- пс

где ^ — сопротивление контактной сети, зависящее от количества М,$_{А6}$ электрифицированных путей в межподстанционной зоне. Ом/км.

Для двухпутной межподстанционной зоны сопротивление принимают равным сопротивлению параллельно соединенных контактных сетей путей $z_{0|c2\ прл}$. Ом/км. вычисляемому по формуле (Б.28) (приложение Б). Для однопутной зоны сопротивление ^ принимают равным сопротивлению контактной сети одного пути ^, Ом/км. которое рассчитывают по формуле (Б.33) (приложение Б).

11.2.3 Система тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ

11.2.3.1 Ток /$_{fK из}$, А. в выводе секции расщепленной обмотки однофазного трансформатора тяговой подстанции переменного тока 2 х 25 кВ при коротком замыкании на сборных шинах распределительного устройства 2 х 27.5 кВ рассчитывают по формуле

WtVlz. <11.17>

где U_0 — напряжение холостого хода на сборных шинах распределительного устройства 2 х 27.5 кВ по отношению к земле. В. 8 номинальном режиме U_0 - 27 500 В;

£. — сопротивление системы внешнего электроснабжения. Ом;

— сопротивление секции расщепленной обмотки трансформатора. Ом;

2/п« к — сопротивление устройства продольной компенсации в выводе данной секции расщепленной обмотки. Ом.

Сопротивление *2^*. Ом. системы внешнего электроснабжения рассчитывают по формуле

£ = 0+У2 02$_{om}$/S$_m$. **(11.18)**

Сопротивление Ом. секции расщепленной обмотки трансформатора без учета активной со» ставляющей рассчитывают по формуле

^ = O + у 0.02 $u_к$ 1$P_{иоы}$ /(n, S, $_{иом}$). **(11.19)**

Параметры формул (11.18). (11.19) определены в Б.1.2 (приложение Б).

11.2.3.2 Ток $I_{ф<Б1 м}$. А. при коротком замыкании в питающей линии контактной сети первого пути тяговой подстанции *В* переменного тока 2 х 25 к8 рассчитывают по формуле

'фк&1 кз $U_{ОБ}$ + Lb +^vn« «6 +^4>*61 La* гА * LtUU *L •.БЗ)$Н_л$ +г тв^А-Б (11.20)

где $U_{0\&}$, U_{Qk} — напряжения холостого хода тяговых подстанций соответственно Б и А, В;

Z-z.Zc a — сопротивление системы внешнего электроснабжения на вводах тяговых подстанций Б и А. Ом:

$£_Б$. ZtA — сопротивление секции расщепленной обмотки трансформаторов этих подстанций. Ом:

£фхБ1-£фхА4>£$»(&2— сопротивления рассматриваемой питающей линии и питающих линий контактной сети второго пути тяговых подстанций соответственно А и Б. Ом, вычисляемые по формуле (Б.2в) (приложение Б):

н, — доля тока в контактной сети от нагрузки тяговой сети системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ;

$£_р$ — транзитная составляющая сопротивления тяговой сети системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ. Ом/км.

Для однопутной межподстанционной зоны второе слагаемое в формуле (11.20) принимают равным нулю.

Долю тока *Н** в контактной сети рассчитывают по формуле

Н • — — . £.«+&. +2imi (11.21)

где — сопротивления соответственно питающего провода и контактной сети. Ом/км. вычисляемые по формулам (Б.23). (Б.22) (приложение Б);

$£._{1п1}$ — полное сопротивление взаимной индуктивности между контактной сетью и питающим проводом одного пути. Ом/км. вычисляемое по формуле (Б.24) (приложение Б).

Транзитную составляющую $ъ_р$. Ом/км. сопротивления тяговой сети рассчитывают по формуле

—>р £»i£ni / £.1+Би+2£ (11.22)

11.2.3.3 Ток$I_{ф|(С, кз}$, А. при коротком замыкании в питающей линии контактной сети первого пути поста секционирования, находящегося в межподстанционной зоне А—Б системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ. рассчитывают по формуле

'фкС1 кэ **(11.23)**

где $I_{фА4}$ — ток. протекающий по контактной сети и питающему проводу соседнего пути (при его наличии) от тяговой подстанции А. А:

$I_Б$ — составляющая тока от тяговой подстанции Б. А.

Токи $I_{фА4}$ и $I_Б$, А. рассчитывают по формулам:

'фА4 $U_{0А}$ La*(—»А * —VIU *А * « * 1<1£тр^А-ПС * —у **(11.24)**

$U_{ОБ}$ (11.25)

Z..+Z :Б-I +Z г Б— уПк •£ 4*6 +tl- ip M г *6 Ч-пс+^

где — местное сопротивление тяговой сети системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ. Ом. которое учитывают, если пост секционирования не совмещен с автотрансформаторным пунктом.

Сопротивление , Ом. рассчитывают по формуле

й в&И1“Ч-пс'ЦЯЦ-пс. (11.26)

где — сопротивление контактной сети. Ом/км. Для двухпутной межподстанционной зоны Д* - Дс1к2 прп • Д™ однопутной ЗОНЫ 2^ ~

$L_{а-пс}$ — расстояние между постом секционирования и ближайшим к нему автотрансформаторным пунктом, км;

L, — длина участка между соседними автотрансформаторными пунктами, на котором находится пост секционирования, км.

12 Выбор марки, сечения и количества проводов контактной сети, проводов и кабелей питающих, отсасывающих и шунтирующих линий

12.1 Выбор сечения и количества проводов контактной сети

12.1.1 Выбор сечения и количества проводов, включая несущие тросы, производят на основе результатов электрических расчетов с учетом требований, установленных в перечислениях а), б) 4.1.3.

12.1.2 При проверке параметров контактной сети по допустимому напряжению на токоприемниках электроподвижного состава необходимые показатели рабочего режима системы тягового электроснабжения определяют на основе числовых рядов напряжений *Utrin, f. к)* ■ U_3. В. полученных при моделировании графика движения каждого поезда п по пути fучастка с заданным шагом по времени ДГ. мин.

По данным числового ряда *Utrin, f, к)* U_3 для каждого пути *f* межподстанционной *m* рассчитывают минимальное напряжение $U_{m„fmm}$ и наименьшее среднее напряжение $U_{mnfmin\ Tf}$. В. за время усреднения $Г_с$. мин. в соответствии с показателем 2 или 3 таблицы 1 по формулам:

Ч»*™ smin, [«*».'■*) 41* (12.1)

Чппг™ r_f 8 min, (sum* *Utrin, f. к)* $u_aШ_e$]. M_Q = *I j A i .* (12.2)

при L_m < *Utrin, f. k)* • L, < .

где M_k — количество элементов числового ряда напряжений *Utrin, f. к)* ■ U_3 :

L_m, L_{m+}, — координаты тяговых подстанций межподстанционной зоны *m,* км;

Шфк f, к) - L — коирдината расположения поезда на участке, км.

Для каждой межподстанционной зоны m из рассчитанных напряжений по формулам (12.1). (12.2) для всех поездов на пути *f* выбирают минимальные значения напряжения $U_{mf\ min}$. $U_{mfmm\ Гс}$. В. по формулам

ЦпГти “ т'Пл *(Umnfmm*)• 4пГ min *Tf* = т*П„ Гр)- (12.3)

Эти напряжения должны быть не меньше соответствующих допустимых значений по показателям таблицы 1:

- U_{mfmin} — по показателю 1;
- $U_{mtmin\ Tf}$ — по показателю 2 или 3.

Для тех путей межподстанционной зоны, для которых хотя бы одно из указанных условий не вы» полнено, выбирают контактную сеть с проводами большего сечения, меньшего сопротивления и/или с большим количеством проводов.

12.1.3 Проверку проводов контактной сети по нагреванию проводят для каждого пути межподстанционной зоны с использованием числовых рядов токов $I_{фр}$(к). А. рассчитанных с заданным шагом по времени А7*. мин. для питающих линий *р* тяговых подстанций, которые подключены к контактной сети данного пути в межподстанционной зоне.

Для каждого провода / в участке контактной сети вблизи места присоединения питающей линии *р* рассчитывают допустимый ток $I_{доп}$ А. методом, приведенным в Г.2 (приложение Г).

Вычисляют результирующий допустимый ток $I_{доп\ кс}$, А, контактной сети по формуле

$$I_{доп\ кс} = \min(I_{доп\ i} / \alpha_i),\ i = 1 \ldots M_п, \qquad (12.4)$$

где «• — доля тока в проводе #, метод расчета которой приведен в Б.2.1 и Б.2.2 (приложение Б);

$M_п$ — количество проводов в данном участке контактной сети.

Определяют лимитирующий провод, которым является тот. для которого отношение $I_{доп\ i} / a_i$ е формуле (12.4) имеет наименьшее значение.

Для каждого значения из числового ряда токов $I_{фр}$(к) рассчитывают ток *1{к),* А. лимитирующего провода по формуле

'<*) = %'«*<*>■ <12.5)

где «• — доля тока в лимитирующем проводе.

По значениям числового ряда токов *Цк)* рассчитывают соответствующий числовой ряд $t_{пр}(k)$. *С, температур нагрева лимитирующего провода методом, приведенным в Г.1 (приложение Г).

*'• '• ?^В,ᵣвЯй^|ЯНК1.зого ряда температур *t^k)* рассчитывают наибольшую среднюю температуру **' *ЗЫЙшТ$уЩ^^ро5Ьда ^ $_{max\ Гс}$, °С, за время усреднения $Г_с$, мин. в соответствии с таблицей 2 по формуле

V $т_с$ “ »»«, $M_c = TJ ДГ.$ (12.6)

*i-1 . . . $M_к$ ~ M_c . k - i ... i * M_Q ,*

где $M_к$ — шличесши аяеменюв числивши ряда teMitepatyp $J_{пр}$(/с).

Из наибольших средних температур ^ $_{тад\ Тс}$ лимитирующих проводов в участках контактной сети р выбирают максимальное значение $_{тах\ Те}$, *С,* по формуле

тс = шах$_{р\ тах\ Тс}$*].* (12.7)

Полученная в итоге расчетов максимальная температура $f_{п\ Тс}$ должна быть не выше допусти* мого значения, приведенного для соответствующего типа провода в таблице 2.

Если указанное условие не выполнено, то для данного пути межподстанционной зоны выбирают контактную сеть с проводами большего сечения и/или с бблыиим количеством проводов.

12.1.4 На вновь электрифицируемом участке железной дороги в пределах одной и той же меж подстанционной зоны следует на всех путях применять одинаковое количество и сечение проводов контактной сети, выбранные по наибольшему значению температуры $I_{п\ mJX\ Тс}$.

12.2 Выбор сечения и количества проводов питающих, отсасывающих и шунтирующих линий

12.2.1 Количество и сечение проводов в питающих, шунтирующих и отсасывающих линиях выбирают по условию допустимого нагрева в соответствии с требованиями перечисления б) 4.1.3.

Выбор сечения и количества проводов питающей линии выполняют по наибольшей температуре нагрева проводов, рассчитанной как при нормальном режиме, так и при наибольшем возможном количестве секций контактной сети, которые могут быть подключены к данной питающей пинии в условиях эксплуатации.

12.2.2 Расчет температуры нагрева проводов шунтирующих линий и питающих проводов системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ выполняют по формулам (12.5)—(12.7), приведенным в 12.1.3. с использованием тех же числовых рядов токов $I_{фр}$(К) соответствующих питаю-

щих линий. В формуле (12.5) долю тока в отдельном проводе многопроводной линии рассчитывают по формуле

$$а<п = 1Ш_п. \qquad (12.8)$$

где $М_п$ — количество проводов в линии.

12.2.3 Числовой ряд токов /(А). А. в проводе любой питающей и отсасывающей линии вычисляют по формуле

$$Д*) = I_п(*)/М_{В(} \qquad (12.9)$$

где $I_п$(Л) — числовой ряд токов соответствующей линии. А. рассчитанный с заданным шагом по времени Л7. мин.

По значениям числового ряда токов $f(k)$ рассчитывают соответствующий числовой ряд („(Л). *С. температур нагрева провода методом, приведенным в Г.1 (приложение Г).

На основе числового ряда температур $Г_п$(А) рассчитывают наибольшую среднюю температуру провода $f_{nmaJl\ Гс}$. *С. за время усреднения $Т_с$. мин. е соответствии с таблицей 2 по формуле

$$^{М}С* U^{Л/*} \qquad (121°)$$

$$I-\ ...M_k-M_Q.\ K - t...\ I * M_Q,$$

Где $Му$ — количесню элеменюы числовою ряда iВМпераiур $Г_п$(А).

Рассчитанная наибольшая температура ^ $_{тах\ T;}$ должна быть не выше допустимого значения, приведенного для соответствующего типа провода в таблице 2.

Если указанное условие не выполнено, то для данной линии выбирают провода большего сечения иУили увеличивают количество проводов.

12.2.4 При определении тока в проводе отсасывающей линии по формуле (12.9) для тяговой подстанции постоянного тока принимают числовой ряд токов I_{tf}(/с), А. на выходе всех статических преобразователей для системы тягового электроснабжения.

Для тяговых подстанций переменного тока 25 кВ числовой ряд токов $I_с$(к). А. в отсасывающей линии рассчитывают по формуле

$$I_с№ = 14(*)Ч(*)^{в'В0'}1- \qquad (12.11)$$

где I_a(к), $I_ь$(А) — токи в плечах тяговой подстанции. А.

При выборе параметров отсасывающей линии тяговой подстанции переменного тока 2 х 25 кВ принимают расчетный режим при отключенной от сборных шин питающего провода секции вторичной обмотки однофазного трансформатора в плече с большей нагрузкой. Для этого режима числовой ряд токов I_{tp}(А), А. в отсасывающей линии рассчитывают по формуле

$$У*) = IУ<*) ♦ \quad “ УМ^{**0}’ I. \qquad 02.12)$$

где УМ — токи в секции вторичной обмотки трансформатора, подключенной к сборным шинам питающих линий контактной сети плеча с большей нагрузкой. А;

I_{tK2}(fc). $I_{,п2}$(*) — токи в секциях вторичной обмотки трансформатора, подключенных к сборным шинам плеча с меньшей нагрузкой. А.

12.2.5 Суммарное сечение проводов отсасывающей линии автотрансформаторного пункта выбирают по условию

$$«ОА\ W\ £< "А\ ^{S}АТ\ ном\ '27\text{-}5J- \qquad 0213)$$

где $М_{оА}$ — количество проводов в отсасывающей линии;

$I_{допоА}$ — допустимый ток провода. А. который вычисляют методом, приведенным в Г.2 (приложение Г):

$л_А$ — количество автотрансформаторов на автотрансформаторном пункте;

$^{S}АТ_{ном}$ — номинальная мощность автотрансформатора. кВ • А.

12.2.6 Количество проводов отсасывающей линии тяговой подстанции и автотрансформаторного пункта во всех случаях должно быть не менее двух.

12.3 Выбор сечения и количества кабелей питающих и отсасывающих линий

12.3.1 Для определения максимальной рабочей нагрузки кабеля выбирают числовой ряд токов /„.<*), А. рассчитанный с заданным шагом по времени ДГ, мин:

♦ для питающей линии числовой ряд токов /!(/(};

• для отсасывающей линии соответствующий числовой ряд токов, указанный в 12.2.4.

12.3.2 На основе числового ряда токое $I_{каб}$(Л) рассчитывают наибольшее среднее за время усреднения $Г_с$ = 20 мин значение рабочего тока кабеля $I_{к\#6я,,\ 20}$, А, по формуле

'кэб max 2Ъ = ШаХ/ (Sumk 'кэб^'Ч* Ч = V*7"- (12.14)

/=1 . . ,,м . - м, л«/ . . . / + Ч- v

где $M_к$ — количество элементов числового ряда токое $I_{каб}$(к).

12.3.3 Сечение и количество кабелей питающей и отсасывающей линии выбирают по условию

Чаб /доп хаб 2. ^мб max 20 • (12.15)

где $M_{каб}$ — количество кабелей;

$I_{доп\ каб}$ — допустимый ТОК КЭбвЛЯ. А.

13 Выбор марки, сечения и количества проводов сборных и соединительных шин распределительных устройств тяговых подстанций и линейных устройств системы тягового электроснабжения

13.1 Марку, сечение и количество проводов (проводников) сборных и соединительных шин распределительных устройств выбирают по максимальному рабочему току, равному наибольшему среднему за время 20 мин. суммарному току всех присоединенных к этим шинам питающих линий. Сечение и количество проводов системы сборных шин определяют по наибольшему рабочему току секции или фазы сборных шин.

13.2 Для определения максимального рабочего тока из массива промежуточных результатов электрических расчетов, выполненных с шагом по времени дГ, мин. выбирают числовые ряды токов /ф/ (к) питающих линий, присоединенных к соответствующим сборным шинам или их секциям (фазам) в данном распределительном устройстве.

По значениям указанных токов рассчитывают числовой ряд суммарной нагрузки проверяемых шин /^{Л). А. по формуле

/*<*>s sum,[$I_ф$,(*)] + S_M/(1.732 $Ц_{ои}$). (13.1)

где $S_{са}$ — мощность, которую учитывают при системе тягового электроснабжения переменного тока, дополнительных трехфазных потребителей, получающих питание от данных шин (собственных нужд, линии электропередачи системы «два провода — рельсы» и т. л.). кВ • А;

***U* — номинальное напряжение на сборных шинах, кВ.**

13.3 На основе числового ряда $I_ш$(А) рассчитывают наибольшее среднее за время усреднения $Т_е$ = 20 мин значение рабочего тока $_{mex\ 20}$. А, по формуле

та* 20 = тах/ (sumk *ъ №/МЛ Ч = гь/дг- 03.2)

/=1 . . . М . - Мяс, * = / . . . / + JW. с

где $M_к$ — количество элементов числового ряда токое

13.4 Сечение и количество проводов (проводников) проверяемой шины выбирают по условию

4i ^доп ш — Аи шах 20* (13.3)

где $M_п$ — количество проводов:

(доп ш — допустимый ток. А. в соответствии с таблицами 3—5.

Таблица 3 — Допустимый длительнъм ток для неизолированных проводов, используемых в распределительных устройствах

Номинальное сечение, ыы^2		Ток. А. провода марки		
проводя	стальною сердечника провода марки АС	АС	А	м
05	—	—	—	470
120	19	440	430	540
	27	435		
150	19	495	500	625
	24	500		
	34			
165	24	590	570	720
	29	580		
	43	590		
240	32	700	660	840
	39	705		
	56			
300	39	80S	770	960
	46	600		
	66	790		
330	30	660	—	—
	43			
350	—	—	665	1085
400	22	950	930	1170
	51	960		
	64	955		
450	56	1020	1020	—
500	27	1080	1100	—
	64	1105		
550	71	1190	1160	—
600	72	1230	1220	—
650	—	—	1290	—
700	86	1380	1360	—

Таблица 4 —Допустимый длительный ток для алюминиевых шин прямоугольного сечения

Размеры, ыы	Так . А. при количестве полос на полюс или фазу			
	1	2	3	4
15x3	165	—	—	—
20x3	215	—	—	—
25x3	265	—	—	—
30x4	365/370			
40x4	480	—«55	—	—
40x5	540/545	—/965	—	—
50x5	665/670	—/1180	—/1470	

Окончание таблицы 4

Рааыеры. мм	Ток . А. при количестве полос на полюс или фазу			
	1	2	Э	4
50х6	740/745	—/1315	—/1655	—
60х6	670/880	1350/1555	1720/1940	—
60х6	1150/1170	1630/2055	2100/2460	—
100х6	1425/1455	1935/2515	2500/3040	—
60х6	1025/1040	1680/1840	2180/2330	—
60х6	1320/1355	2040/2400	2620/2975	—
100х6	1625/1690	2390/2945	3050/3620	—
120х6	1900/2040	2650/3350	3380/4250	—
60х 10	1155/1180	2010/2110	2650/2720	—
60 х 10	1480/1540	2410/2735	3100/3440	—
100 х 10	1820/1910	2860/3350	3650/4160	4150/4400
120х 10	2070/2300	3200/3900	4100/4860	4650/5200

В числителе приведены значения переменного тока, в знаменателе — постоянного.

Т а б л и ц а 5 — Допустимый длительны?! ток для медных шин прямоугольного сечения

Размеры, мм	Ток . А. при количестве полос на полюс или фазу			
	1	2	Э	4
15х3	210	—	—	—
20х3	275	—	—	—
25х3	340	—	—	—
30х4	475	—	—	—
40х4	625	—/1090	—	—
40х5	700/705	—/1250	—	—
50х5	660/870	—/1525	—/1895	—
50х6	955/960	—/1700	—/2145	—
60х6	1125/1145	1740/1990	2240/2495	—
60х6	1480/1510	2110/2630	2720/3220	—
100х6	1610/1675	2470/3245	3170/3940	—
60х6	1320/1345	2160/2485	2790/3020	—
60 х в	1690/1755	2620/3095	3370/3850	—
100х8	2080/2180	3060/3810	3930/4690	—
120х6	2400/2600	3400/4400	4340/5600	—
60 х 10	1475/1525	2560/2725	3300/3530	—
80 х 10	1900/1990	3100/3510	3990/4450	—
100 х 10	2310/2470	3610/4325	4650/5385	5300/6060
120 х 10	2650/2950	4100/5000	5200/6250	5900/6800

‘ В числителе приведены значения переменного тока, а знаменателе — постоянного.

Допустимые токи, приведенные в таблицах 4 и 5. при расположении шин прямоугольного сечения плашмя уменьшают на 5 % для шин с шириной полос до 60 мм и на 8 % для шин с шириной полос более 60 мм.

Приложение А
(рекомендуемое)

Методика тяговых расчетов при выборе основных параметров систем тягового электроснабжения

А.1 Основные уравнения

А.1.1 Интегрирование уравнений движения поезда в конечных приращениях

Расчеты зависимостей от времени тока, скорости движения и координаты расположения поезда на участке проводят по шагам при равномерном приращении времени Л7,р, мин. Значение ДТф должно быть не более 0.025 мин (1.5 с).

Значения скорости $у_{аи}$. км/ч. и координаты поезда Ц,. км. в дискретные моменты времени 7^. мин. на каждом следующем шаге /н-1 вычисляют по формулам:

А* = 5 *L* ЛГ, 'р' (А.1)

» *. + ДУ. (А-2)

Ц.1 s^S(1'/l + °-5 *V) тр1 (А.3)

'ЛИ * г* + Л71 ■ф* (А.4)

где Ду — приращение скорости, км/ч:

£ — ускорение или замедление поезда при удельной силе 1 Н/г: £ = 0.2036 км/(ч - мин)/(Н/т):

if — коэффициент, учитывающий размерность времени: ^ = 1/60:

L — результирующая удельная сила, действующая на поезд. Н/т.

Результирующую удельную силу $/_у$. Н/т. при движении в режиме тяги рассчитывают по формуле

f_y = 10* *FJyJlm*$_n$ - - *щ.* (А.5)

где F_K{*VfJ* — касательная сила тяги на ободе движущих колес электровоза или моторных вагонов электропоезда. кН. которую вычисляют по методу, изложенному в А. 1.2:

$m_п$ — масса поезда, т:

wjyj — основное удельное сопротивление движению поезда. Н/т:

Wff — дополкигельное удельное сопротивление движению от уклона и от кривой. Н/т.

Основное удельное сопротивление движению поезда >$у_0(у_п)$. Н/т. в зависимости от текущего значения скорости l/д. км/ч. и признака $N_{\%}$ режима работы элекгроподвижного состава (0 — при тяге, 1 — на холостом ходу) рассчитывают по формуле

w_0($у_„$) = si*n_{rt} *Wotr{N.* WJ *vjfl N* = 0. 1. 2. (А.б)

где *WoUiN. N$_K$)* — массив коэффициентов для расчета основного удегъного сопротивления движению.

Дополнительное удельное сопротивление движению *w^,* Н/т. от уклона и от кривой на любом элементе Лд профиля пути рассчитывают по формуле

"V = *Я* l*РгоЦЫ^)* ■ $i_{пр}$ * *ProHNp)* i_{Kp}l. (А.7)

где *д* — ускорение свободного падения, м/с[2]:

РлзДА/р^ - i_rр . *Prof[N$_{pi}$)* ■ *i*^ — соответственно уклон (отрицательное значение — спуск) и эквивалентный ухлон от кривых для элемента с индексом Ад в массиве элементов профиля участка ***РгоЦЫр,). %»***.

Результирующую удельную силу $1_у$. Н/т. при движении на выбеге рассчитывают по формуле

^f_r = ~ ~ ^{w}<*r* (А.8)

Результирующую удельную силу / , Н/т. при торможении вычисляют по формуле

fy* = - *Ь*$_п$ - *w„, <А.9)

где — эквивалентная удельная тормозная сила с учетом дополнительного удельного сопротивления движению. которую в зависимости от типа поезда допускается принимать. Н/т:

грузовой.. 200;

пассажирский.. 450;

электропоезд 600.

А.1.2 Определение силы тяги и тока элехтролодвижного состава

Метод расчета силы тяги *FJy$_x$)* и тока $/_0$(v_x) элекгроподвижного состава при любой скорости v_x и позиции регулирования *Рог* силы тяги состоит в следующем.

В массиве тяговых и токовых характеристик электровоза (электропоезда) выбирают звено *п,* в которое попадает скорость v_x. км/ч. по условию

%< *,< *п* - 1 **- 1-** (А.10)

$$- v_{„} K_{ия} K_{UtK}. \quad \{A\text{-}11J$$

$$^{v} » f I^{s} \quad Кцд^{K}Uix- \quad (A\text{-}12)$$

где *v'„,* $v_{лМ}$ — приведенные значения скорости, км/ч;

$M_{уРог}$ — количество точек в массиве характеристик *TGxpiNp^. п)* для данной позиции Poz. который содержит качения скорости *TGxp(*N_{Poi}*. л)* - *V,* км/ч, силы тяги *TGxp{*Np_{ot}*. л)* • P_a. кН. и тока *TGxplNpgj, л)* • I_9 для электроподвижного состава постоянного тока или приведенного выпрямленного тока *TGxp(*N_{Poi}*, п)* ■ 1_a и активного тока *TGxp^N^. п)* ■ $I_м$ электроподвижного состава переменного тока. А;

$v_п$. у„*j — значения скорости в звене *п* массива характеристик, км/ч; $v_п$ = *TGxpiNp^. л}* ■ *V,*

v„„ = TGxp($N_{р}$*„,n+V V.*

$K_{ия}$ — отношение расчетного напряжения на тяговом двигателе к номинальному напряжению, при котором построена характеристика *TGxp[*N_{Poz}*. л*). При ступенчатом регулировании сипы тяги = 1. при плавном регулировании = *Рог.* О < *Рог* < 1;

Кцц. — отношение фактического напряжения 1/^.j, в контактной сети к номинальному напряжению $1/_{эном}$ на токоприемнике электроподвижного состава.

До проведения электрических расчетов напряжение $U_{K\ п}$ в контактной сети принимают не зависящим от расположения поезда на участке и равным, как правило, номинальному напряжению $U_{З\ ном}$ на токоприемнике электроподвижного состава.

На основе результатов выполненных предваригегьно электрических расчетов напряжение контактной сети $1/_{кс\ „}$. В. в точке расположения поезда с координатой L„. км. вычисляют по формуле

$$U_{№\ „} = 0.5\ |Шг(А) - U_9 * Utrfk * 1) • l/J \quad (A.13)$$

при *Ubik)* - L, & £.„ < *Utrik* + 1) • L„.

где *Utr(k)* ■ U_9. *Utr{k* * 1) • U_9— значения напряжения, рассчитанные для соответствующего поезда по формуле (В.ЗО) (приложение В). В:

Ubi,k) L_a. *Ub(k* + 1) • i.^— координаты расположения поезда, рассчитанные по формуле (В.31) (приложение В), км.

В зависимости от режима ведения поезда, определяемого согласно А.2. позицию регулирования *Рог* выбирают в диапазоне от 0 до МхРог. Значение позиции *Рог* = 0 соответствует режиму движения на выбеге.

Для электровозов (электропоездов) со ступенчатым регулированием сипы тяги максимальное значение *МхРог* номера характеристики *Ы^*$_{г}$ = Poz задают равной количеству ступеней регулирования.

Для эпектрооодвижного состава с плавным регулированием силы тяги принимают *МхРог* » 1. ^p_{Ol}= 1. Этому значению соответствует предельная характеристика по мощности, току *и/или* напряжению. Условный номер позиции *Рог* принимают в диапазоне от нуля до единицы.

При змачегеги индекса = 0 массив характеристик *TGxp{0. п*) соответствует ограничениям по сцеплению движущих колес электроподвижного состава с рельсами *и/или* по допустимому току двигателей.

При значении позиции регулирования *Рог* > 0 силу тяги $P_ж(у_х)$. кН. рассчитывают по формуле

(A.14)

где $F_№$. *P^,* — значения силы тяги в выбранном звене *п* массива характеристик. кН; F_w = *TGxp(*N_{Poi}*. п)* - F_K.

*Fgn*y ~ п * 1) • F_K.*

Ограничивающую силу тяги по сцеплению или току *FJiv*$_{x}$*).* кН. рассчитывают по формулам (А.10)—(А.12). (А.14) при $M_{Рог}$ = 0. = 1. K_{Uv}. = 1. Если значение *FJjyJ* превышает F_s*[*v_x*).* то окончательно силу тяги принимают равной ограничивающей P,($у_ж$) = *F/*v_x*).*

Токи $/_9(у_ж)$ электроподвижного состава постоянного тока и $/_д(у_я)$. /^(у^) переменного тока, А. рассчитывают по общей формуле

$$I(У_ж> = \left[\frac{I_п}{v'_п}(v_x \quad ;)\right] K_{уд}. \quad (A.15)$$

где$/_п$/$_{(н1}$ — значения тока в выбранном звене *п* соответствующего массива токовых характеристик. А:

/„ = Твх&Ыр,,;. п) ■ *I, /„*,* = *TGxp(*N_{Poi}*. п* + 1) • */.*

А.2 Порядок выполнения расчетов

А.2.1 На предварительном этапе в соответствии с рисунком А.1 инициализируют расчетные параметры и задают начальные условия, соответствующие *h* - 0 и $Г_0$ » 0 мин. к которым относятся:

- начальная скорость движения поезда $у_0$. км/ч;
- исходная координата положения поезда на участке L_0. км.

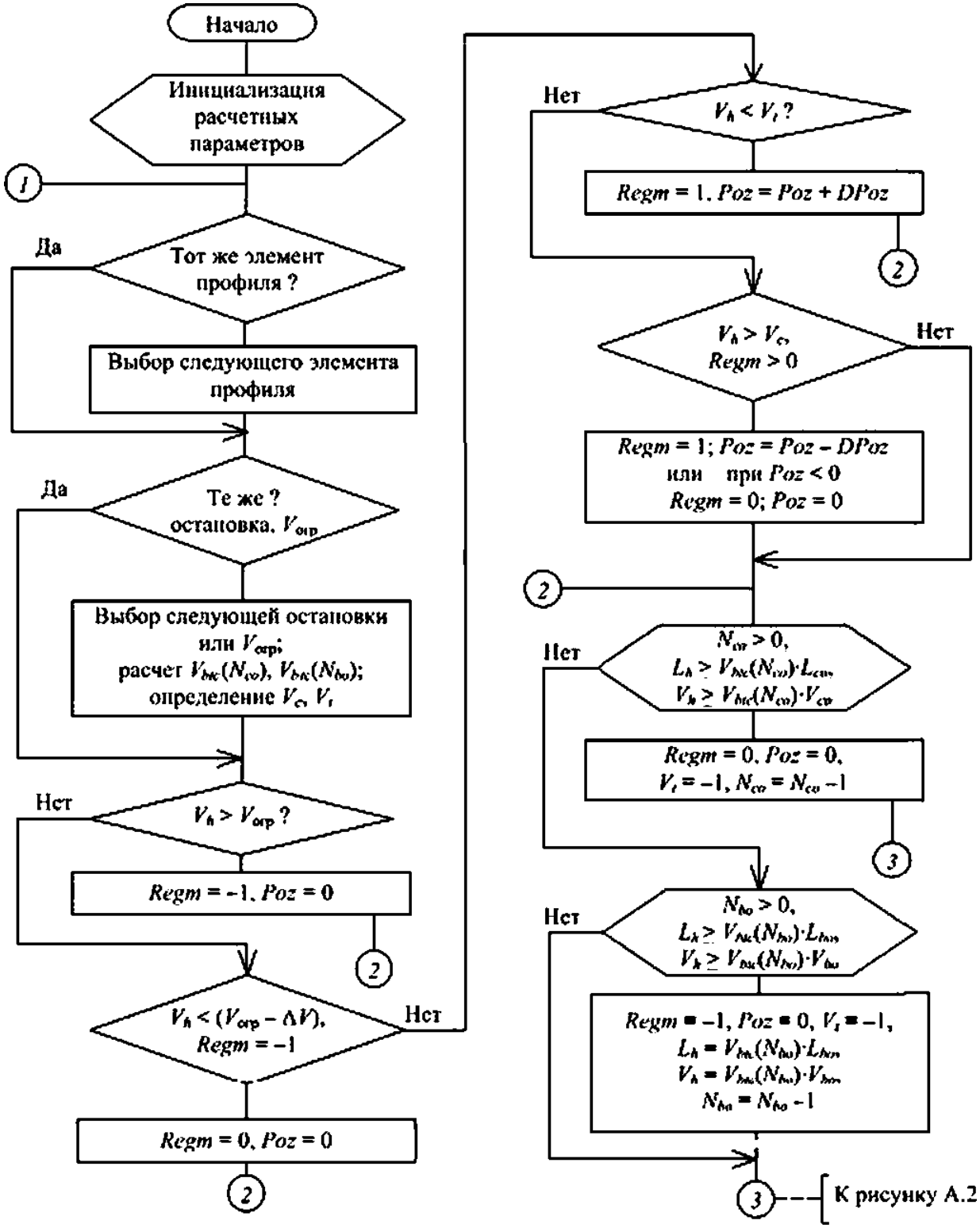


Рисунок А.1 — Схема алгоритма выбора режима ведения поезда

А.2.2 При входе *1* в главнъм цикл расчета осуществляют выбор номера *Np,* элемента профиля, на котором расположен поезд при его текущей координате км. по условию

$$S_{,,} S < Sp, + РгоЦЫр,) \blacksquare Wp, = 1 \ldots Mp_{r}. \quad (А.16)$$

где *Sp,* — координата начала элемента профиля *Np,.* км.

*РгоЦЫ^* ■ L_v — длина элемента профиля, км:

Мр — количество элементов профиля на участие.

Координату *S^.* ш. начала элемента профиля *Np,* рассчитывают по формуле

$$Sp, = sum*_p\ IProHNJ ■ L_{pf}\.\ N_p = 1 ... Лд - 1: \quad (А.17)$$

Определяют номер N_s перегона, на котором расположен поезд, по условию

$$Stans(N_s)\ L_sz,L_h < Stans(N_s + 1)\ L_s.\ N_s = 1 ... M_s - 1. \quad (А.18)$$

где $Stans\{N_s) \cdot L_s,\ N_s » 1 ... M_s$ — массив координат, км. осей станций при количестве M_s станции на участке.

Определяют номер отрезка пути, на котором расположен поезд, с текущей допустимой скоростью движения y_{wp} = VogrtW^) • по условию

$$■ L_{то} < L_n < Vog*«_{№} + 1) - \quad « 1 ... \quad - 1. \quad (А.19>$$

где *Vog^Nyp)* — массив допустимых скоростей движения поезда на различных отрезках пути участка при их количестве содержащий начальную координату отрезка пути по ходу движения поезда *VogtiN^p)* ■ *L^,* км, и максимальную разрешенную скорость движения на этом отрезке *VogiiNyu)* - V_0, км/ч. Концом любого отрезка пути является координата начала следующего отрезка $VogHN_w * 1) \cdot L^.$

А.2.3 Выбирают ближайшую предстоящую координату км. изменения целевой скорости движения поезда $у_ц$. км/ч. — в начале следующего отрезка + 1 пути с меньшей допустимой скоростью или на оси станции, где запланирована остановка поезда. Предварительно принимают L_u = VogrtW^ + 1}- L_w. $у_ц$ = Vogr(W_w + 1) • V_0.

Если на предстоящей станции N_s *■ 1 по графику движения предусмотрена остановка поезда при условии S/ans(W_s + 1) • L_a & *Vog/iNyp* * 1) • L_w. то принимают $L_u = Stans\{N_s * 1) \cdot L_s.\ у_ц * 0.$

Если целевая скорость v_y меньше текущей допустимой скорости у^. то от координаты L_u по направлению к поезду рассчитывают массивы $У_{Й1С}$(/У). V^/V^) значений скорости и координат поезда, при которых осуществляют переход в режим выбега и торможения для реализации целевой скорости $у_ц$.

Для режима выбега скорость • V^,, км/ч. и координату $V_{Wc}(A/_{co})$ • км. при = 1 ... M_m вычисляют по формулам:

$$' \quad = {}^{v}r»1* WU ■ L_„ « Ч*,. \quad (А.20)$$

$$У_{сИ} = У_с + \quad ДУ. Ду = ; [wjyj ♦ №_„] AV \quad (А.21)$$

$$= L_c - \$ \{v_c * 0.5_{ДУ)}\ ДГ_{,р}, \quad (А.22)$$

где — значение индекса N_m. соответствующее условиям завершения вычислений: > у или

Для режима торможения скорость V^IV^) • V^. км/ч. и координату V^W*,) - *L^.* км. при = 1 ... M_{bo} вычисляют по формулам:

$$^ис(Чо) ■ V» = W\ VW(W_Во) ■ *-«, = W \quad (А.23)$$

$$v_{b},y = v_b * Ду. ДУ = £ (б_{1Э} + ид\ ДГ_{1р}. \quad (А.24)$$

$$= L_e - ^ (v_0 * 0.5\ Лу)\ ДГ_{,р}. \quad (А.25)$$

где M_{0o} — значение индекса N_M, соответствующее условиям завершения вычислений: Уде$№_м$) ■ V_M > у_ или

^{V}^^{N}bo> ^{L}co$^{&V}$<^^{N}J ^{L}vo-

Параметры формул (А.20)—(А.25) определены в А.1.1. В качестве начальных условий принимают $у_0 = у_р$.

to»V

А.2.4 Для каждого отрезка пути с допустимой скоростью у^р определяют верхнюю V_c и нижнюю V, границы коридора регулирования скорости. Верхнюю границу V_c. км/ч. принимают менее допустимой скорости на 1 км/ч. Для грузовых поездов на спусках крутизной по абсолютному значений более 4 %■> верхнюю границу рекомендуется принимать на 20 км/ч менее допустимой скорости $у_{01р}$.

Нижнюю границу коридора регулирования скорости V,. км/ч, рассчитывают по формуле

$$V, « V_e - DV_{tn}. \quad (А.26)$$

где DV_{tn} — зона нечувствительности регулирования скорости, км/ч. которую выбирают в зависимости от типа поезда:

- для грузовых поездов — 15 км/ч:
- для пассажирских и пригородных поездов — 10 км/ч:
- для скоростных пассажирских поездов — 2 км/ч.

А.2.5 На основе рассчитанных по А.2.2—А.2.4 параметров выбирают режим управления движением поезда посредством изменения позиции регулирования силы тяги *Poz* и фиксации команды *Regm:*

1..тяга;

0.. выбег:

минус 1.. торможение.

Если текущая скорость v_h превышает допустимое значение v_{wpl} то включают режим торможения, принимая *Regm* = -1. *Poz* = 0. Когда в этом режиме скорость снижается менее величины {v^ - Av^). осуществляют переход на выбег и принимают *Regm* = 0. Значение поправки скорости $Ди_{п}$. км/ч. выбирают таким, чтобы выполнялись требования владельца инфраструктуры в части обеспечения допустимой скорости на затяжных спусках.

Если скорость v_h поезда меньше границы V, (или выше границы V/J. то позицию *Poz* увеличивают (уменьшают) на величину ступени *DPoz*. При ступенчатом управлении силой тяги принимают *DPoz* = 1. При плавном управлении параметр *DPoz* является ступенью грубого регулирования, которую принимают равной 0.1.

На каждом шаге *h* при текущих значениях координаты поезда L_h и скорости движения v_h проверяют необходимость перехода в режим выбега и торможения для реализации целевой скорости $и_{и}$. Переход на выбег осуществляют при одновременном выполнении условий:

Ч й ■ Че " ■ $V_{„}$. $N_{„}$ = 1 ... $м_{м}$. (А.27)

Переход в режим торможения осуществляют при одновременном выполнении условий:

Ч * ■ Ч. " * v*r("bo> ■ Vbo■ Nbo« 1- Mbo■ (А-28)

А.2.6 В зависимости от выбранного режима движения поезда, как показано на рисунке А.2. рассчитывают результирующую удельную силу f_y. Н/т. по формулам (А.5). (А.В). (А.9).

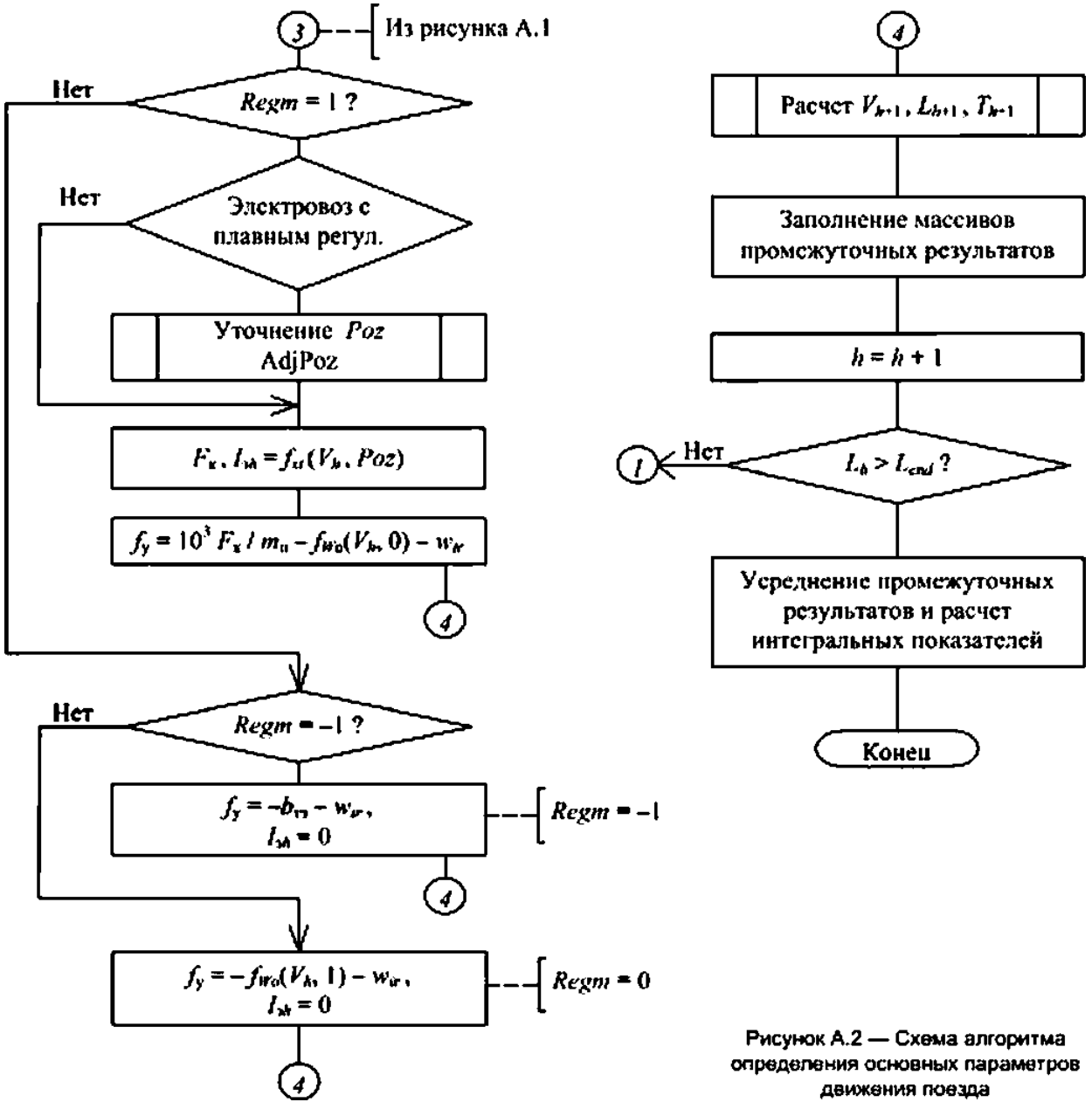


Рисунок А.2 — Схема алгоритма определения основных параметров движения поезда

В режиме тяги для электролодвижного составе с плавным регулированием силы тяги предварительно определенное значение позиции *Рог* уточняют с помощью процедуры AdjPoz в соответствии с рисунком А.3. При ее циклическом выполнении на основе расчетов по формулам (АЛ), (А.2) выбирают такое значение *Рог,* чтобы реализовать скорость движения *v„* в заданном диапазоне от V, до V_c-

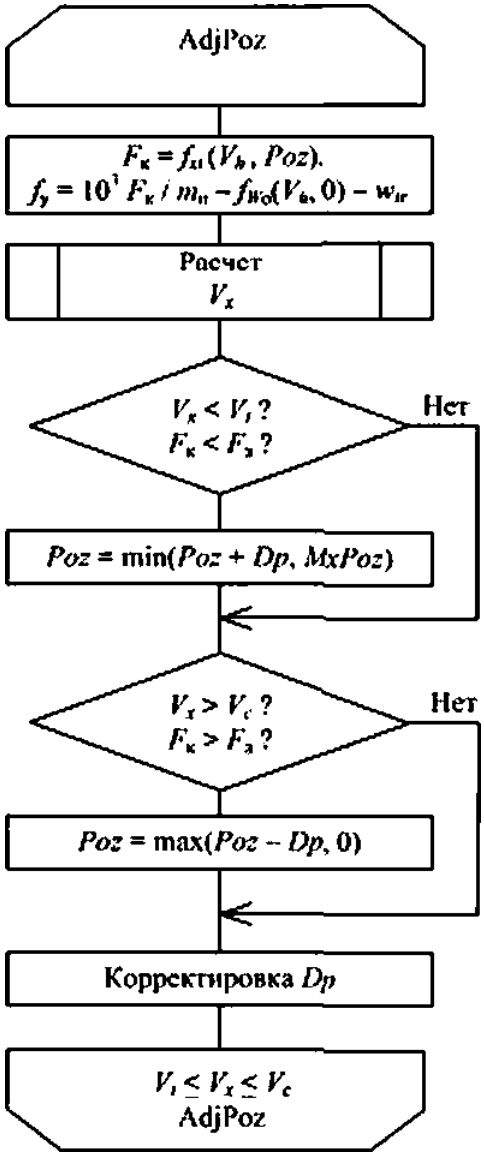


Рисунок А.3 — Схема алгоритма уточнения позиции управления силой тяги

Для режима тяги ток /, $_{А}$. А. элвктроподвижного состава постоянного тока или токи 1_{a1},. *1*^^- А- электроподвижного состава переменного тока рассчитывают по формуле (А.15). Для режимов выбега и торможения значения указанных токов принимают равными нулю.

А.2.7 В финальной части главного цикла, соответствующей точке входа *4* на рисунке А.2. вычисляют значения скорости . км/ч. координаты поезда Ц,,. км. и времени W мин. по формулам (АЛ)—(А.4).

Заполняют массивы промежуточных результатов, полученных на данном шаге расчетов А. Координату поезда *L{h).* км. определяют по формуле

ЦА) = (А.29)

Результирующий ток I_0{А). А. электроподвижного состава постоянного тока вычисляют по формуле

(А.30)

где — ток собственных нужд поезда. А.

Активную и реактивную составляющие /М(Ь). А. комплексного тока /Э(Л) злектроподвижного состава переменного тока рассчитывают по формулам:

1°ЭрСН,иЭНОН- (А-31)

'*№> = -Н4/ а + U* - (А.32)

где — мощность собственных нужд. кВт;

U_3 — номинальное напряжение на токоприемнике злектроподвижного состава. В.

В токе $I_{сн}$ и мощности для пассажирских и пригородных поездов учитывают электрическую нагрузку, потребляемую из контактной сети на освещение, отопление и кондиционирование воздуха в вагонах.

Выход из главного цикла расчетов в зависимости от вновь рассчитанного значения координаты ц. км. осуществляют по условию

<•„ > W (А. 33)

где Цлс — конечная координата участка движения поезда, км.

А.2.8 На заключительном этапе определяют целевые результаты расчета, указанные в 5.2.

На основе промежуточных результатов расчетов формируют массив усредненных с заданным шагом по времени Д7*. мин. значений координат поезда *Tcb{N*$_b$*)* - L_b, км. токов *Tcb(N^* ■ i_b. А. злектроподвижного состава постоянного тока или активного *Tcb(N*$_0$*)* ■ $I_м$ и реактивного *Tcb(N*$_b$*)* ■ *}&* токов. А. эпвктроооДвижного состава переменного тока по формулам:

Гс6(М$_0$) - L_d = sum„ [i.(ft)]/А4$_{tp}$. (А. 34)

ГсЬ(Л/д) ■ I_D = sum„ [У$_0$(/1)]Ш$_{1p}$. (А.35)

Ге*Лд ' *'to* = sum* {А. 36)

Tcb[N$_b$*)* ■ $!_{ы}$ = sum* [/$_w$(/i)]/М$_{tp}$. (А. 37)

h = {N$_b$- 1) М$_{ip}$ + 1 ... N_b М$_{tp}$. N_b = 1 ... М„Ш,$_p$. (А. 38)

где Л#_ — количество усредняемых значений;

Mf, — количество шагов Л при расчетах промежуточных результатов.

Количество М,$_p$ усредняемых значений раосчигывают по формуле

Чр = ДГ/ДГ,$_p$. (А. 39)

Расходы активной электроэнергии W$_a$(W$_g$), кВт ч. и полной электроэнергии УЦЛу. кВ - А - ч (при переменном токе), в также время хода r$_x$(W$_s$). мин. при движении поезда по каждому перегону W$_s$ участка вычисляют по формулам:

*У*У = I^{U}КС h (А. 40)

И*Лу = sum„ [U$_{Кл}$ /$_в$<Л)Ц. (А.41)

W = sum„ (ДГ$_{1p}$). (А.42)

Значения индекса Л в формулах (А.40)—(А.42) соответствуют условию

StansiNJ ■ L_s < *L(h)* < *Stans(N*$_s$ * 1) • L_s. (А.43)

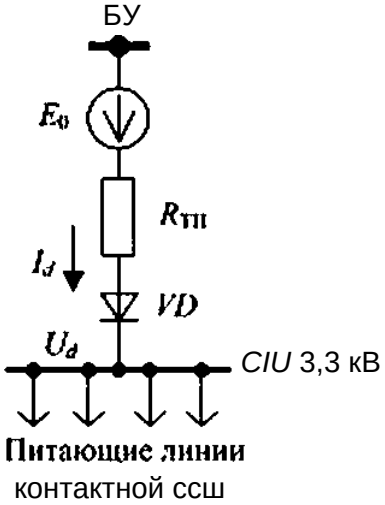
Приложение Б
(справочное)

Схемы замещения элементов систем тягового электроснабжения и определение их параметров

Б.1 Схемы замещения тяговых подстанций

Б.1.1 Тяговые подстанции постоянного тока

Б.1.1.1 Схема замещения тяговой подстанции постоянного тока изображена на рисунке Б.1.



БУ — базисный узел.
СШ 3.3 кВ — сборные шины распределительного устройства 3.3 «в

Рисунок Б.1 — Схема замещения тяговой подстанции постоянного тока

Значение ЭДС Eq, В. соответствует напряжению холостого хода Цд на сборных шинах распределительного устройства 3.3 кВ.

Сопротивление $R_{Т}$, является эквивалентным а отношении потери напряжения между источником питания в системе внешнего электроснабжения и сборными шинами 3.3 кВ. При приближенном учете активного сопротивления в цепи переменного тока тяговой подстанции значение Ом. вычисляют по формуле

$$\text{Я.п-*я} \quad \frac{1\ \text{О-ОЧпт}\ 0.01\text{и},}{\text{-----+----------+--------}\ \text{S-S—}} \qquad \text{(Б.1)}$$

где S_n — мощность трехфазного короткого замыкания на вводе тяговой подстанции. МВ - А:

Ко — коэффициент, зависящий от схемы преобразования:

- при трехфазной мостовой схеме K_R = 7.41:
- при эквивалентной двенадцагифазиой мостовой схеме K_R = 3,67;

напряжение короткого замыкания понижающего трансформатора. %;

I • $^{C}\omega$rt или – номинальная мощность соответственно понижающего и преобразовательного трансформаторов. МВ - А:

Опт.Лтт — количество параллельно работающих трансформаторов;

и„„ — напряжение короткого замыкания коммутации преобразовательного трансформатора по ПОСТ 16772—77 (пункт 1.6.2). приведенное к мощности $S_{,мом}$. %.

Идеальный вентиль *VD* обусловливает при расчетах необходимость отключения ветви тяговой подстанции при изменении направления выпрямленного тока I_{rt}.

Б.1.1.2 Для тяговых подстанций, на которых в работе находятся устройства регулирования выпрямленного напряжения U_a, такие как вольтодобааочные преобразователи (ВДУ). устройства бесконтактного автоматического регулирования напряжения (БАРН) или управляемые выпрямители (УВ). учитывают род дополнительных параметров.

Отношение A_p наибольшего и наименьшего значений выпрямленного напряжения холостого хода при работе ВДУ рассчитывают по формуле

$$Ap = (Ц» + Цда>'Ц». \qquad \text{(Б.2)}$$

где — напряжение холостого хода на выходе основного статического преобразователя для системы тягового электроснабжения. В:

t/gg — наибольшее напряжение на выходе вольтодобавочного преобразователя при холостом ходе. В.

Отношение $л_р$ тех же напряжений при наличии БАРН или УВ вычисляют по формуле

$$A_0 = V_vJU_v. \quad (Б.3)$$

где *Uуи.* $\backslash J_V$ — соответственно наибогъшев и наименьшее действующие значения межд/фазного напряжения холостого хода вентильной обмотки преобразовательного трансформатора. В.

Эквивалентное сопротивление Атпм* Ом< 0 наибольшего выпрямленного напряжения тяговой подстанции с ВДУ определяют по формуле

^тпм = Т 0.01«„ ♦---------- А* + 0.01« ----ьг_+------- О-01",.,. —(Ар -1)² И п„К (Б.4)

где $u_{кк}$ *щ* — напряжение короткого замыкания коммутации трансформатора ВДУ. %.

$S_{iа ном}$ — номинальная мощность этого трансформатора. МВ А:

$Г7_{1Д}$ — количество параллельно работающих трансформаторов ВДУ.

Указанное сопротивление Ктм- Ом< тяговой подстанции с БАРН или УВ вычисляют по формуле

Яти «Ю *$K_x u*_ы$ t 0.01и ♦ »*п« 0,01с/ ии S«я п S * «гион t? ft нам (Б.5)

где K_x — коэффициент, зависящий от схемы преобразования;

- при трехфазной мостовой схеме K_x = 1,07;
- при эквивалентной двенадцатифаэной мостовой схеме = 2.14;

ик«м — напряжение короткого замыкания коммутации преобразовательного трансформатора, соответствующее наибольшему значению междуфазного напряжения холостого хода вентильной обмотки. %.

Максимальное значение выпрямленного тока , А. при котором на сборных шинах распределительного устройства 3.3 кВ обеспечивается заданное стабилизированное напряжение $О_{ст}$. В. £ $4/_л$, рассчитывают по формуле

= <Чю \ - м

Б.1.2 Тяговые подстанции переменного тока 25 кВ

Схема замещения тяговой подстанции переменного тока 25 кВ в соответствии с рисунком Б.2 имеет следующие параметры;

- система трехфазных симметричных ЭДС $£_{иа}$. $£_w$. $£_{0c}$, равных по модулю напряжению холостого хода на сборных шинах распределительного устройства 27.5 кВ. В:
- эквивалентное сопротивление £гп Фазы трансформатора на стороне номшального напряжения $u_{„оы}$ = 27.5 кВ с учетом системы внешнего электроснабжения. Ом:
- сопротивления $£_{,у1}$. *Z^^* устройств поперечной компенсации реактивной мощности (КУ) соответственно в левом и правом плече тяговой подстанции. Ом:
- сопротивление устройства продольной компенсации реактивной мощности (УПК), Ом.

Составляющие сопротивления $Zj_{,n} = R_{Tn} + /X_{тп}$. Ом. вычисляют по формулам:

Z_{Tn} « (0.01 $u_к$ $S_{t НОU}$) ♦ О^/SJ. (Б.7)

*Tn = ПО'³ Рр „J/n,. (Б.8)

*•„, = - *W0-5. (Б.9)

где *K§* — отношение номинальных мощностей трансформатора и обмотки, к которой приводится сопротивление.

Для трехфазных трансформаторов тяговой подстанции переменного тока K_5- = 3;

$u_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора. %:

S, $_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора. МВ - А:

$л_г$ — количество параллельно работающих трансформаторов;

s_a — мощность трехфазного короткого замыкания на вводе тяговой подстанции. МВ - А:

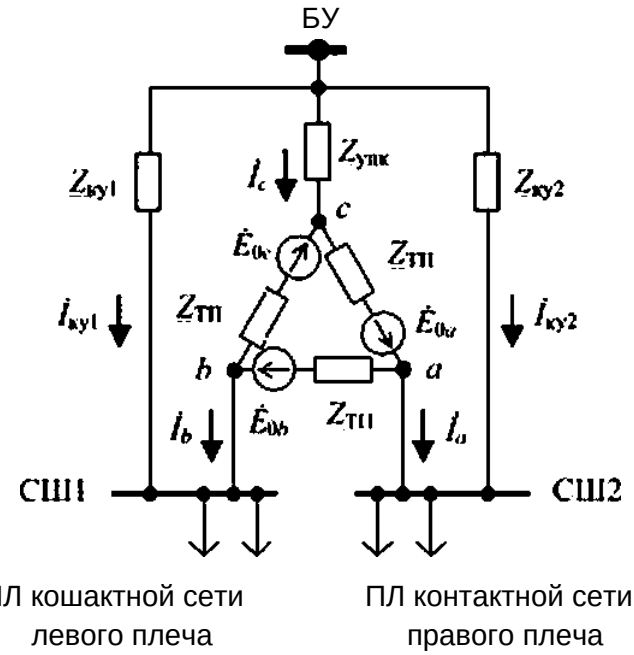
$Р_к$ — потери короткого замыкания в номинальном режиме. кВт.

Сопротивление *Z^.* Ом. устройства поперечной компенсации рассчитывают по формуле

£у«°-Л>2уж*.'0.уж»н. <Б-Ю)

где *1%у* $_{ноы}$ — номинальное напряжение КУ. кВ;

$_{ноы}$ — номинальная мощность КУ. Мвар.



БУ — базисный узел. ПЛ — питающие пинии:
СШ1.СШ2— секции сборных шин распределительного устройства 27.5 хв

Рисунок Б.2 — Схема замещения тяговой подстанции переменного тока

Сопротивление $2^{\wedge}_{пк}$. Ом. устройства продольной компенсации вычисляют по формуле

$$Цф 0 - i^{1°В} Qупх ион "уж ном- \quad (Б-И)$$

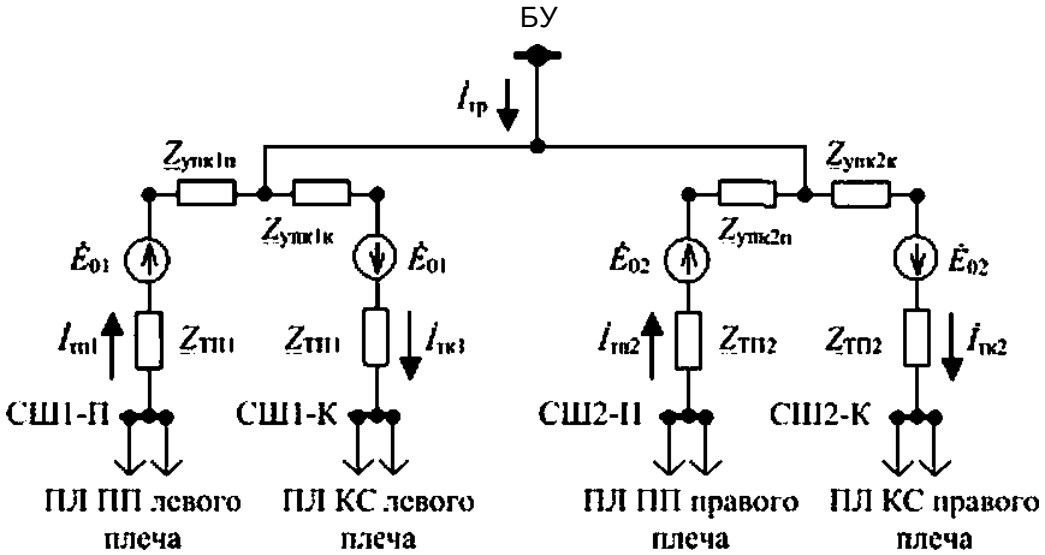
где Оуп, „ом — номинальная мощность УПК. Маар:

Сыном —номинальный ток УПК. А.

Б.1.3 Тяговые подстанции переменного тока 2 х 25 кВ

Схема замещения тяговой подстанции переменного тока 2 х 25 кВ с однофазными трансформаторами представлена на рисунке Б.3.

Источник напряжения *01 и сопротивление Z_m первого трансформатора, так же как и $Z_{МК}$ второго трансформатора, имитируют напряжение холостого хода, равное в номинальном режиме 27.5 кВ. и падение напряжения в каждой секции расщепленной вторичной обмотки с учетом системы внешнего электроснабжения.



БУ — базисный узел:
СШ1-К. СШ1-П. СШ2-К. СШ2-П — секции сборных шин питающих пиний контактной сети и питающего провода а распределительном устройство 2 х 27.S кВ,
ПЛ КС. ПЛ ПП — питающие пинии контактной сети и питающего провода

Рисунок Б.3 — Схема замещения тяговой подстанции переменного тока 2 х 25 кВ

Сопротивления Zf_{ni} и Z^, Ом, рассчитывают по формулам {Б.7)—(Б.9) при *К§* = 2.

Сопротивления ^,Rt1n, ^,nk1k и £упк2п- £упк2к- О^- устройств продольной компенсации, включенные, как показано на рисунке Б.З. рассчитывают по формуле (Б.11).

Б.2 Схемы замещения тяговой сети

Б.2.1 Тяговая сеть системы тягового электроснабжения постоянного тока

Расчетными параметрами тяговой сети системы тягового электроснабжения постоянного тока являются:

- погонное сопротивление параллельно соединенных проводов одного пути /— контактных, усиливающих, несущих тросов —*г^,* Ом/км;
- доля тока в каждом нм проводо о,-;
- погонное сопротивление рельсовой сети г^. Ом/км.

Сопротивление контактной сети *г^,* Ом/км. рассчитывают по формуле

$$^{=1/1(1/^{}),} \quad \text{(Б.12)}$$

где /■„* — электрическое сопротивление t-го провода. Ом/км;

M_{nt} — количество проводов в контактной сети пути /,

Сопротивление $г_ш$, принимают равным электрическому сопротивлению $г_{п\ ш}$ постоянному току при температуре 20 'С для провода соответствующей марки по ГОСТ 839—80 (приложение 1). ГОСТ 4775—91 (пункт 1.2.2), ГОСТ 32697—2014 (пункт 5.2.1).

Сопротивление r_m-. Ом/км. контактного провода с учетом износа площади полного сечения рассчитывают по формуле

$$= Лт\ го'О - 0.01\ п_{ин}>. \quad \text{(Б.13)}$$

где $г_{п\ 2}$о — расчетное электрическое сопротивление проведа по ГОСТ Р 55647—2013 (пункт 5.2.1). Ом/км;

$л_{НЖ1}$ — износ площади полного сечения провода. %.

Долю а, тока в каждом м проводе рассчитывают по формуле

$$«,• = V'rf- \quad \text{(Б.14)}$$

Сопротивление *г^.* Ом/км. рельсовой сети вычисляют по формуле

$$г_{рс} = 0.5г_{ро}/M_{пу1}. \quad \text{(Б.15)}$$

где Гро — погонное сопротивление одной рельсовой нити. Ом/км:

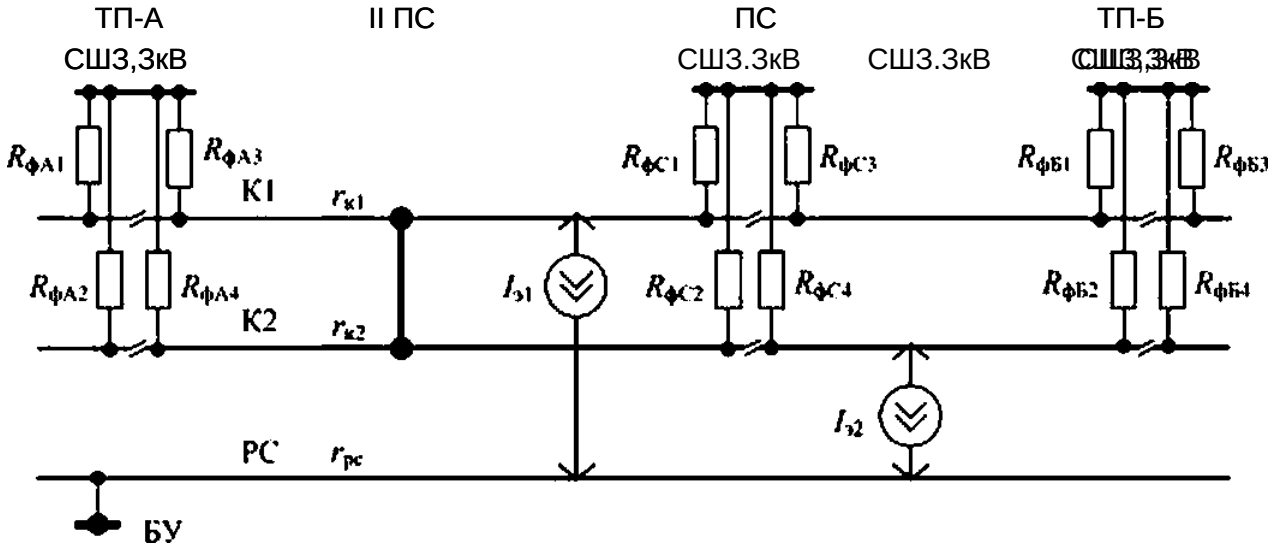
— количество путей на участке.

Сопротивление г^, Ом/км. рекомендуется принимать:

0,0254 ..... для рельсов типа Р65:

0,0218..... для рельсов типа Р75.

Схема замещения тяговой сети системы тягового электроснабжения постоянного тока приведена на рисунке Б.4.



ТП-А. ТП-Б — тяговые подстанции. ЛПС — пункт параллельного соединения контактных сетей:

ПС — пост секционирования. СШ Э.Э кв — сборные шины распределительного устройства 3.3 кВ.

К1. К2 — эквивалентные провода контактной сети 1-го и 2-го путей; РС — рельсовая сеть: БУ — базисный узел

Рисунок Б.4 — Схема замещения тяговой сети системы тягового электроснабжения постоянного тока

При любом котчестве путей схема замещения содержит эквивалентные провода, соответствующие контактным сетям с погонными сопротивлениями $г_{к1}$, *г,2*..... и провод эквивалентной рельсовой сети с сопротивлением /р-. Этот провод соединяют с базисным узлом БУ. который является общим для схем тяговой сети и тяговых подстанций и относительно которого задают ЭДС Ец (см. рисунок Б.1) и рассчитывают напряжения в схеме замещения.

Погонные сопротивления эквивалентных проводов тяговой сети используют для расчета сосредоточенных сопротивлений между узлами схемы замещения, соответствующих расположению в межлодстанционной зоне линейных устройств и нагрузок $/_9$. заданных источниками тока.

Эквивалентные провода контактной сети соединены со сборными шинами распределительных устройств 3.3 кВ тяговых подстанций и поста секционирования через сопротивления питающих линий . Ом. вычисляемые по формуле

$$*Ф - Л. 'ф'^{M}Ф- \qquad (Б.16>$$

где $г_п$ — сопротивление одного провода питающей пинии. Ом/км;

$/_ф$ — длина питающей линии, км:

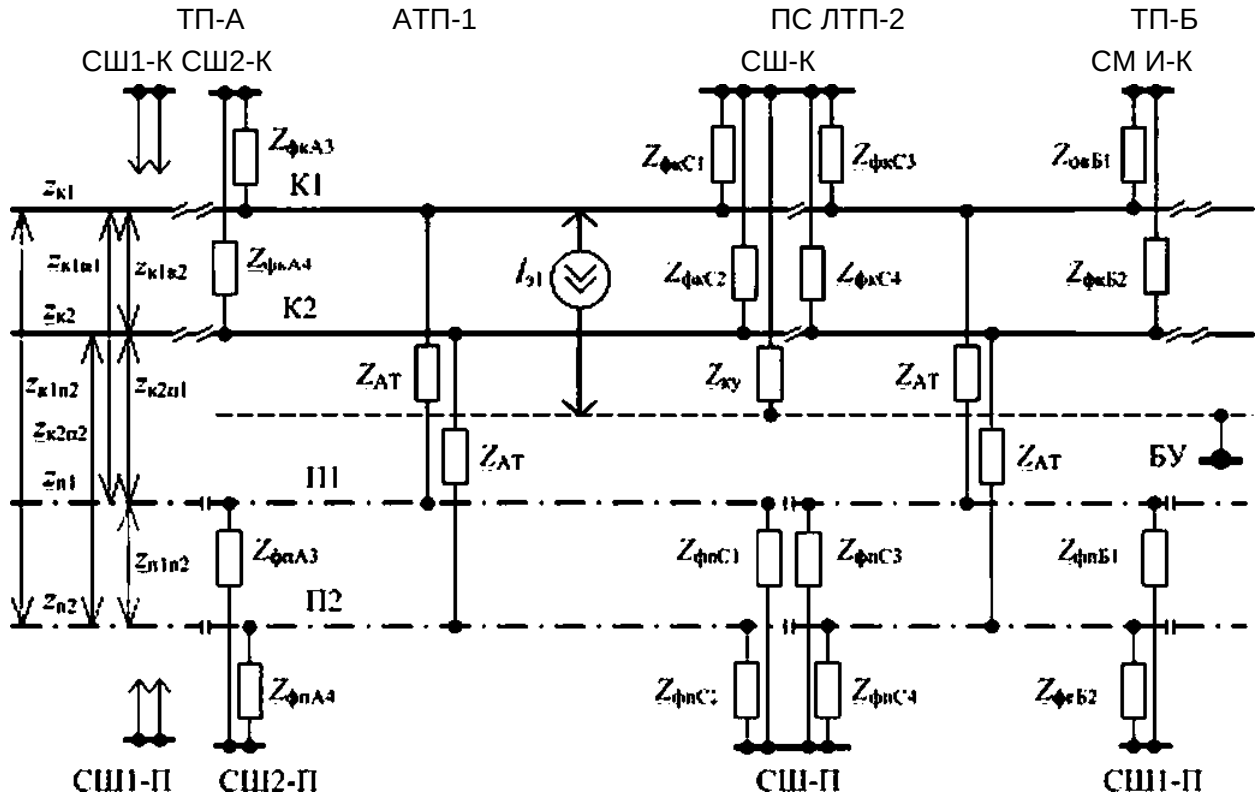
$M_ф$ — количество проводов 8 питающей линии.

Расчетную схему питания и секционирования контактной сети формируют исключением (или бесконечным значением) сопротивлений пиний с отключенными быстродействующими автоматами.

Б.2.2 Тяговая сеть систем тягового электроснабжения переменного тока

Б.2.2.1 Параметрами обобщенной схемы замещения тяговой сети переменного тока, представленной на рисунке Б.5 для системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ. являются:

- собственные сопротивления эквивалентных контактных сетей путей (контуров «эквивалентный провод — рельсовая сеть») ..... • Ом/км:
- то же питающих проводов $z_{пт}$. .....Inunyr системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ. Ом/км:
- полные сопротивления взаимной индуктивности между эквивалентными проводами £$_{ч|ґ|1}$..... Ом/км:
- доли токов (коэффициенты токораспредвлвния) в каждом отдельном проводе / от общей нагрузки сети а,.



ТП-А. ТП-Б — тяговые подстанции. АТП-1. ЛТП-2 — автотрансформаторные пункты.
СШ1-К. СШ1-П. СШ2-К, СШ2-П — секции сборных шин питающих пиний контактной сети и питающего провода а распределителъном устройстве 2 Ж27,6 кВ. К1. К2 — эквивалентные провода контактной сети 1-го и 2-го путей;
П1, П2 — эквивалентные питающие провода 1-го и 2-го путей: БУ — базисный уэел

Рисунок Б.5 — Схема замещения тяговой сети системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ

Перечисленные параметры при любом количестве и расположении проездов на опорах определяют на основе решения матричного уравнения

0	1-1]	1-1	[0|	[о]		$\underline{г}$ те	-1	
И	U*]	Is*.	Ur.]	12»]		И	РП	
М	ы	[2-]	[2-1	Ы	Х	ы	10)	<Б.17)
|о]	&.1	[2-1	U»]	[2-]		[а.]	|0|	
|о]	ы.	[2-1	ы	[а.]		ы	LI°IJ	

где *[Zff]*. {Zgg]. {Z-^,1. (Zpp) — квадратные симметричные подматрицы собственных и взаимных сопротивлений контуров с землей в группах проводов контактной сети и/или питающих проводов путей */. д.* экранирующих проводов Э и рельсовых нитей Р всех путей;

(£^i- (Zfe)- *]&(,]*• (Z^|. — прямоугольные подматрицы взаимных сопротивлений между контурами разных групп;

(— индекс, соответствующий транспонированным подматрицам;

$/_{тс}$ — искомое сопротивление тяговой сети. Ом/км:

1%1- 1До)' Iflpl — столбцы искомых коэффициентов токораслродвления в проводах соответствующих трупп.

Полное сопротивление $г_{,,и}$. Ом/км. любого контура «провод *w,* — земля» или «рельсовая нить р, — земля» и взаимное сопротивление = *г..* Ом/км. между контурами рассчитывают по формулам:

$$I n * ' * , * \ 0.049 + y\ 0.0628 \{4\ 54 - h\ (R_m\ o?^{-5})] ♦ / *,_{вну}. \qquad (Б.18)$$

$$= 0.049 + y\ 0.0628\ [4.54 - 1п(э*_„ <т'^э)]. \qquad <Б.19)$$

где r_{w}- — активное сопротивление провода или рельсовой нити г^. Ом/км;

R^ — радиус провода или эквивалентный по периметру поперечного сечения радиус рельса, м;

— удельная проводимость земли. См/м:

л;виут — внутреннее индуктивное сопротивление провода или рельсовой нити. Ом/км:

% — среднее расстояние между осями проводов или рельсовых нитей, м.

Активное сопротивление провода *г-.* Ом/км. вычисляют по формуле

$$^{г}Ш1 = {}^{г}п\ 20' \qquad (Б.20)$$

где $r_{п}$ 2о — электрическое сопротивление провода постоянному току. Ом/км;

k, — коэффициент увеличения сопротивления провода за счет поверхностного эффекта и магнитных потерь в стальном сердечнике при его наличии. Для проводов без стали k_f - 1. Для биметаллических сталемедных проводов по ГОСТ 4775 *к,* = 1.25. Для сталеалюминиевых проводов коэффициент k_f принимают:

I, 15.. при номинальном сечении до95мм^{2}включ.;
1,05.. при номинальном сечении от 120 до 300 мм^2 ехлюч.

Активное сопротивление рельсовой нити *г^.* Ом/км. принимают.

0,20..для рельсов типа Р65;
0,18..для рельсов типа Р75.

Радиус R_m, *и.* контактного провода вычисляют по формуле

$$R = 0{,}25 - W^3 \{A + H), \qquad (Б.21)$$

где *А, Н*— соответственно ширина и высота провода по ГОСТ Р 55647—2013 (пункт 5.1.1), мм.

Эквивалентный радиус R_m. м. рельса равен:

0.1114... для рельсов типа Р65;
0,1186... для рельсов типа Р75.

Внутреннее индуктивное сопротивление Ом/км, принимают:

- для рельсовых нитей — 0.75 *г^;*
- для биметаллических сталемедных проводов — по ГОСТ 4775—91 (пункт 7 приложения);
- для остальных проводов — 0,0157 Ом/км.

Собственное сопротивление любого эквивалентного провода, например контактной сети пути / г,,. Ом/км. определяют из уравнения {Б.17) без строк и столбцов, содержащих подматрицы с индексом ∂. решение которою вьфажвно формулой

L, а Ы LfcU | 0 1-1} |0| (0)' | и |х«] № [^-/р] |]°] ь»], [2»] [Ьр] | |0| [^р], [ь.], Ы | -1 х | -1 РП (0] (Б.22)

Сопротивление г^. Ом/км, эквивалентного питающего провода любого пути ∂ определяют по формуле

&бу' [й*] ы ы. = | 0 [-1 |0| (0 | [-1] [^Л9пу L^»] | (0] [iJ [г»] | W 1Д"Рр]| ы, [дрв. | 1 "х И | -1' Щ 1°] m {Б.23>

Полное сопротивление взаимной индуктивности между двумя эквивалентными проводами, например Ом/км. вычисляют по формуле

licfrig “ £>/|ф прл ((2к/ io/pp при) £к/рс? прпН'^* (Б.24)

где ^ — сопротивление параллельно соединенных проводов в группах /и ∂, Ом/км.

Сопротивление £,^$_{?прп}$. Ом/км. определяют по формуле

ZrJ П£ пр« Lb/J ы Ы к) | 0 И 1-1]]0] |0] | И [2*П/] [^./пр] [£л] [^.'р] | . 1-1] [^nffrtp] [^пра] [^nflp] | 1°] f^npal. t^aa] f^spl | !°] [^*fp]j [^р3і [-*о]/ [^Рр] | -t Х | Г-11 ш fо] |0] [|°]J (Б.25)

Б.2.2.2 Сопротивления £j,. Ом. питающих линий рассчитывают по формуле

£ф = $/_ф$ (Гп/Мд, + 0.049) + ; $/_ф$ {0.0628 [4.54 - \п$\&_ж$ о''-*» * 0.25$Ш_ф$}. (Б.26)

где /ф — длина питающей линии, км:

$г_п$ — активное сопротивление одного провода питающей линии. Ом/км;

Мф — количество проводов в питающей линии:

Язл — эквивалентный радиус питающей линии, м:

о, — удельная проводимость земли. См/м.

Эквивалентный радиус Я^,. м. питающей линии рассчитывают по формуле

$Я_{3}$, » (Кл (Б.27)

где $Я_п$ — радиус провода, м;

$П_в$ — произведение расстояний $э_{ю}$. м. между одним из проводов и остальными проводами линии, м***'1.

Источники тока $/_0$. соответствующие нагрузкам схемы, замыкают непосредственно на базисный узел, так как сопротивление рельсовой сети учтено в параметрах эквивалентных проводов.

Падение напряжения в автотрансформаторах системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ учитывают сопротивлениями Z*,. которые вычисляют по формулам (Б.7)—(Б.9) при $К_5$- = 4 и без учета мощности S_0.

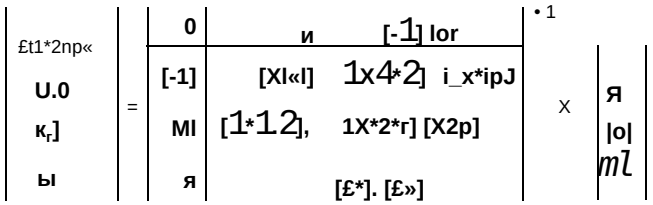
СопротивлениеОм. устройства поперечной компенсации на сборных шинах питающих линий контактной сети поста секционирования рассчитывают по формуле {Б.10}.

Б.2.2.3 Расчетная схема тяговой сети системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ имеет тот же вед и те же параметры, что на рисунке Б.5. но без эквивалентных питающих проводов П1, П2 и всех присоединенных к ним элементов с сопротивлениями 2фо- $2_{АТ}$.

Для наиболее распространенного случая двухпутных участков при электрических расчетах системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ используют сопротивления $г_{к1}$. Ом/км. контактной сети соответ-

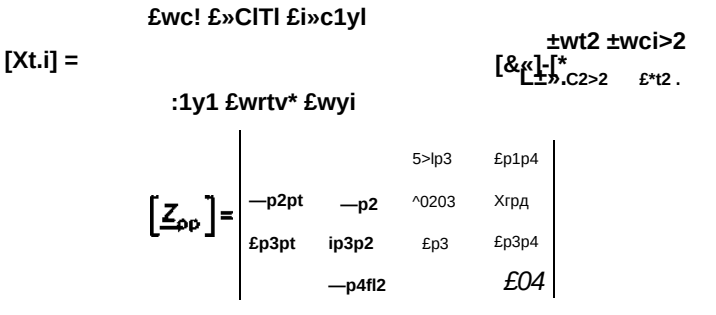
стеенно первого и второго пути (без учета нагрузок на соседнем пути), а также полное сопротивление 2^*2 • Ом/км. взаимной индуктивности между контактными сетями путей. Указанные сопротивления на основе решения уравнения (Б.17) определяют в следующем порядке.

Сопротивление *гцп-* Ом/км, и коэффициенты токорэспределения *и,* при параллельно соединенных проводах контактных сетей обоих путей (экранирующие провода не рассматриваются) рассчитывают по формуле



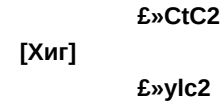
(Б.28)

При наличии в контактной сети первого пути, например контактного провода С1. несущего троса Т1. усиливающего провода У1: в контактной сети второго пути контактного провода С2. несущего троса Т2. а также рельсовых нитей Pl. Р2. Р3. Р4 подматрицы в формуле (Б.28) имеют вид

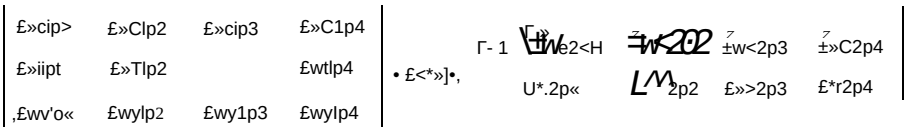


(Б.29)

(Б.30)



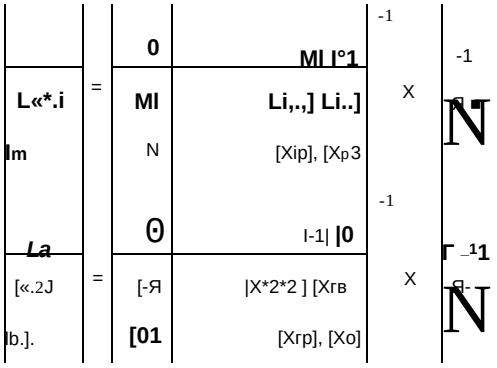
(Б.31)



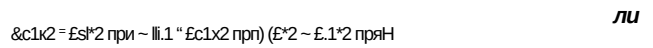
(Б.32)

Сопротивления. Ом/км. в выражениях (Б.29)—(Б.32) рассчитывают по формуле (Б.19) за исключением сопротивлений. расположенных на главных диагоналях подматриц в выражениях (Б.29), (Б.30). которые рассчитывают по формуле (Б.18).

Сопротивления Ом/км. контактных сетей первого и второго пути и коэффициенты токораспределения *а,* рассчитывают по формулам:



Полное сопротивление Ом/км. взаимной индуктивности между контактными сетями путей вычисляют по формуле



(Б.35)

Приложение В
(рекомендуемое)

Определение параметров рабочего режима систем тягового электроснабжения на основе моделирования графика движения поездов

В.1 Формирование графика движения поездов

В качестве исходных данных для построения графика движения поездов используют массив 7с6(W_e. с. d) усредненных по времени с шагом ДГ, мин. результатов тяговых расчетов, еькюлненных по приведенной в приложении А методике для заданных типов поездов с в нечетном (d » 0) и четном {d = 1) направлении движения. Указанный массив содержит следующие параметры:

- координату положения поезда на участке в моменты времени $Г_6 = N_b$ Л Г, мин. *Tcb(N_b, c. d)* ■ L_b, км;
- ток поезда (для электроподвижного состава переменного тока комплексное значение) *Tcb(N_0.* с. d) ■ I_b, А.

Для определения моментов времени прохождения поезда по каждой станции N_s участка составляют таблицу *Ts(N_a,* с, d). которая содержит индексы Л^. соответствующие ближайшему значению (в силу дискретности изменения) координаты поезда *TcfyN^.* с. d) ■ L_b. км. к координате оси станции согласно условию

$$Ts(N_s,\ c.\ d) = N_M \text{ при } TcbiN^.\ c, d) * S(ans\{N_s) \blacksquare L_s. \quad \text{(В.1)}$$

где *Slans(N_s)* ■ L_g — координата оси станции N_g, км.

Расчетный график движения поездов по каждому пути / участка формируют в виде массива линий хода (т-ток графика) (*лл*7г(*л. /*). который для любой нитки *л* содержит следующие параметры;

- индекс типа поезда *Un Щп, f*) ■ с. Меньшие значения индекса соответствуют поездам с более высоким приоритетом при прокладке в графике движения;
- указатель направления движения *UnTrt^n, f) d {* 0 — нечетное. 1 — четное);
- индекс начальной станции движения *ЦпЩп. f)* ■
- индекс конечной станции *LinTt{n. f)* ■ *N^;*
- таблица моментов прибытия *UnЩп, f) - Shed{N_s.* 0) и отправления *unЩп. /*) - *Shed(N_s,* 1) поезда по каждой станции N_g, измеряемых количеством интервалов времени *AT* от начала суток.

Момент отправления *UnTd,n. f)* ■ *ShediN#,*. 1) поезда *п* от начальной станции рассчитывают по формуле

$$ShetUNgf,.\ 1) = Г_п/ДГ. \quad \text{(В.2)}$$

где *Т„/*— заданное время отправления поезда по расписанию, мин.

Моменты прибытия *ЦпЩп, f)* ■ *Shed[N_s,* 0) поезда на каждую следующую станцию N_s и отправления *Un* 7/(*л. /*) ■ Shed(W_s. 1) от нее вычисляют по формулам:

$$Shed\{N_s.\ 0) = Shed\{N_s - N_{ff}.\ t) + Ts(N_s.\ c.\ d) - Ts\{N_s - c.\ d). \quad \text{(В.3)}$$

$$Shed\{N_s.\ 1) = Shed(N_s.\ 0) \blacklozenge T_{ei}(NJtAT. \quad \text{(В.4)}$$

<В-5>

где W_{tf} — шаг приращения индекса станции в зависимости от направления движения поезда: N_a » 1 для нечетного. N_a = -1 для четного;

$r_{\alpha}(W_s)$ — продолжительность стоянки (возможно, нулевая), обусловленная технологией работы станции N_x. мин.

Корректность линий хода *UnTt{n. f). ЦпЩп* + 1. *f)* любых соседних попутных поездов для каждой станции *N*, проверяют по условию (значения разностей предполагаются положительными)

$$ИпЩп + 1.\ 0 \bullet Shed\{N,.\ 1) - LinTr\{n.\ f) - SAed\{N_s.\ 1) * J^/AT. \quad \text{(В.6)}$$

где J_p — минимальный интервал между поездами в пакете, мин.

Корректность пиний хода *UnTt{n^, f), UnTfy$_2$, /*) любых встречных поездов при двустороннем движении на пути (для каждой станции N_g проверяют по условиям:

$$UnTr\{n_2.\ /) \blacksquare Shed(N_s.\ 0) - ЦпТг\{п_л.\ /) \bullet Sbed(N_s.\ 0) > г_н/ДГ. \quad \text{(В.7)}$$

$$(лпГф,.\ f) - Shed\{N_s,\ 1) - UnTr\{n_2.\ f) - Shed(N_s.\ 0) > ^/ДГ. \quad \text{(В.8)}$$

где $т_{яп}$. r_c — станционные интервалы соответственно неодновременного прибытия встречных поездов с остановкой и скрещения поездов, мин. При проектных расчетах принимают ^{s} 3. $т_c$ ^{s} 1 мин.

При несоблюдении условий (В.6)—(В.S) увеличивают время отправления *UnTrin, /*) - *Shed(N_s,* 1) того поезда в проверяемой паре, индекс типа ЬпГг(*л, /*) ■ с которого больше, то есть приоритет ниже.

В.2 Порядок действий при моделировании

В.2.1 На подготовительном этапе расчета параметров режима систем тягового электроснабжения, как показано на рисунке В.1. формируют график движения поездов согласно В.1.

График движения поездов моделируют в заданном интервале времени от $Г_{ьач}$ до $7_{ЮН}$. мин. В каждьм текущий момент времени 7„ мин. который в этом интервале изменяют с шагом Л Г. мин. реализуют процедуру перемещения поездов в соответствии с графиком движения.

В.2.2 В указанной процедуре согласно рисунку В.2 циклически рассматривают все нитки графика *ИпЩп. F), л* * 1 ... *M„[.* по всем путям участка 1 ... *M/.*

Каждой нитке графика *ЦпЩп, f*) соответствуют элементы массива поездов *Tms{n, f).* который содержит следующие параметры:

- текущую координату расположения поезда на участке Гт5(л. *f)* ■ км;
- ток элвктроподаижного состава {при переменном токе комплексное значение) 7ms(n. *f)* ■ i_0. А:
- индекс ближайшей станции по ходу движения *Tms{n. f)* ■ W_M;
- счетчик тактов времени стоянок 7ms{n. *f)* ■ С„;
- признак стоянки поезда *Tms(n. f)* ■ *ost.*

Рисунок В.1 — Алгоритм расчета интегральных показателей

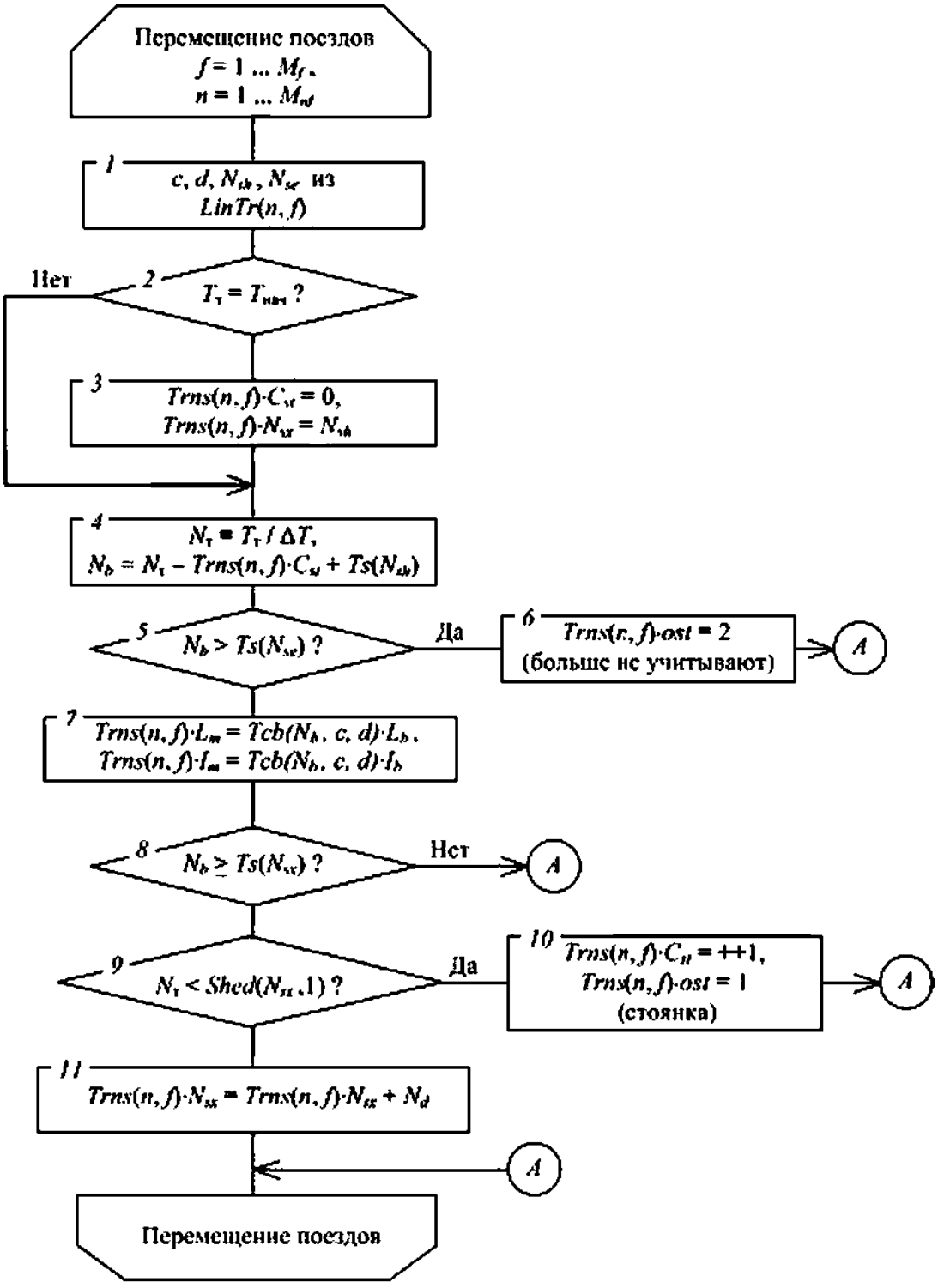


Рисунок В.2 — Схема алгоритма перемещения поездов в модели графика движения

На шаге *1* цикла (сы. рисунок В.2) по ранным рассматриваемой нитки графика *ЦпЩп, f*) принимают текущие значения индекса типа поезда с. указателя направления движения *d.* индексов начагъной и конечной станций участка движения поезда по формулам:

$$c = Ltfi7r\{n.\ f) \blacksquare c.\ d = iir»7r(fj,\ 0 \bullet A \qquad (B.9)$$

$$W^*, = UnTrin.\ f) - N^*. \qquad = Untyn.\ Г)\ N^*,- \qquad (B.10)$$

В начальный момент времени моделирования 7, = 7^ для поезда 717)5(0. /) задают начальные условия движения (шаги *2,* 3) по формулам:

$$7ms(o.Г) \blacksquare Cgt\text{-}0.\ Tms(n, f) \blacksquare N_{sx} = N^{\wedge}. \quad (B.11)$$

На шаге *4* определяют индекс N_b. соответствующий положению данного поезда на оси времени графика движения, по формуле

$$N_b = N, - 7ms(n, /) - C_s, * TsiN_{st)}, c. d). \quad (B.12)$$

где *Ыщ* — номер такта времени.

Номер *Ц,* такта времени рассчитывают по формуле

$$N, - 7,/Д7. \quad (B.13)$$

Если поезд вышел за пределы участка движения, что соответствует условию

$$N_0 > TsW'', c, \quad d). \quad (B.M)$$

то признаку стоянки поезда 7глз(л. *f)* ■ *ost* присваивают значение 2. и этот поезд в дальнейших расчетах не учитывают (шаги 5. б).

На шаге 7 для рассматриваемого поезда принимают значения координаты расположения на участке Ггл5(л, /) ■ Ц. км. и тока *Tms{n, f)* ■ t_9, А. на основе результатов тяговых расчетов по формулам:

$$7ms(n. /> \bullet L_a - Tcb\{N_b. c. d) \blacksquare L_b. \quad (B.15)$$

$$7ms(n. 0 \bullet \quad = Tcb(N_b. c. d) \blacksquare t_b. \quad (B.16)$$

Дальнейшие действия выполняют, если поезд уже достиг ближайшей по ходу движения станции 7ms(n. *f)* ■ что проверяют на шаге *8* по условию

$$N_b \,\&\, 7s(W_M. c. \quad d). \quad (B.17)$$

Если номер такта времени A/, меньше момента *UnTr{n, f)* • *Shed{*N_{sx}, 1} отправления поезда от станции $Ы_u$, то счетчик времени стоянок 7ms(n. *f)* ■ увеличивают на единицу и признаку 7ms(n. *f*) ■ osf присваивают значение 1. что соответствует стоянке поезда или ожиданию входа на участок (шаг *10).* В противном случае на шаге *11* принимают *Tms(n, f)* ■ *ost* = 0 и для поезда устанавливают следующую ближайшую станцию по направлению движения по формуле

$$7глз(л. f) \bullet \quad - Tms(n, f) \bullet /Y^*, + N_a. \quad (B.18)$$

где — шаг приращения индекса станции, который принимают N_a = 1 для нечетного направления движения.

N_a = -1 для четного направления.

В.2.3 По завершении описанной выше процедуры перемещения всех поездов на данном шаге *к* составляют мгновенную расчетную схему системы тягового электроснабжения из схем замещения отдельных ее элементов, приведенных в приложении Б, посредством совмещения их внешних узлов, к которым относятся:

- сборные шины распределительных устройств тяговых подстанций и постов секционирования:
- точки подключения к контактной сети пунктов параллельного соединения контактной сети, автотрансформаторных пунктов и других устройств.

В контактную сеть включают дополнительные узгы, соответствующие текущему расположению Гглз(л. /) - L, поездов на участке, признак стоянки которых *Tms{n. f)* ■ *ost* равен нулю. В этих узлах задают токи 7глж(л. Г) • I_4 соответствующих поездов.

Например, ток А. в узле *4.* показанном на рисунке В3. определяют по формуле

$$Iy4 \blacksquare Jhwfl. 1) \bullet V \quad (B.19)$$

где 7ms<1.1)-/, — комплексное значение тока первого поезда на первом пути. А.

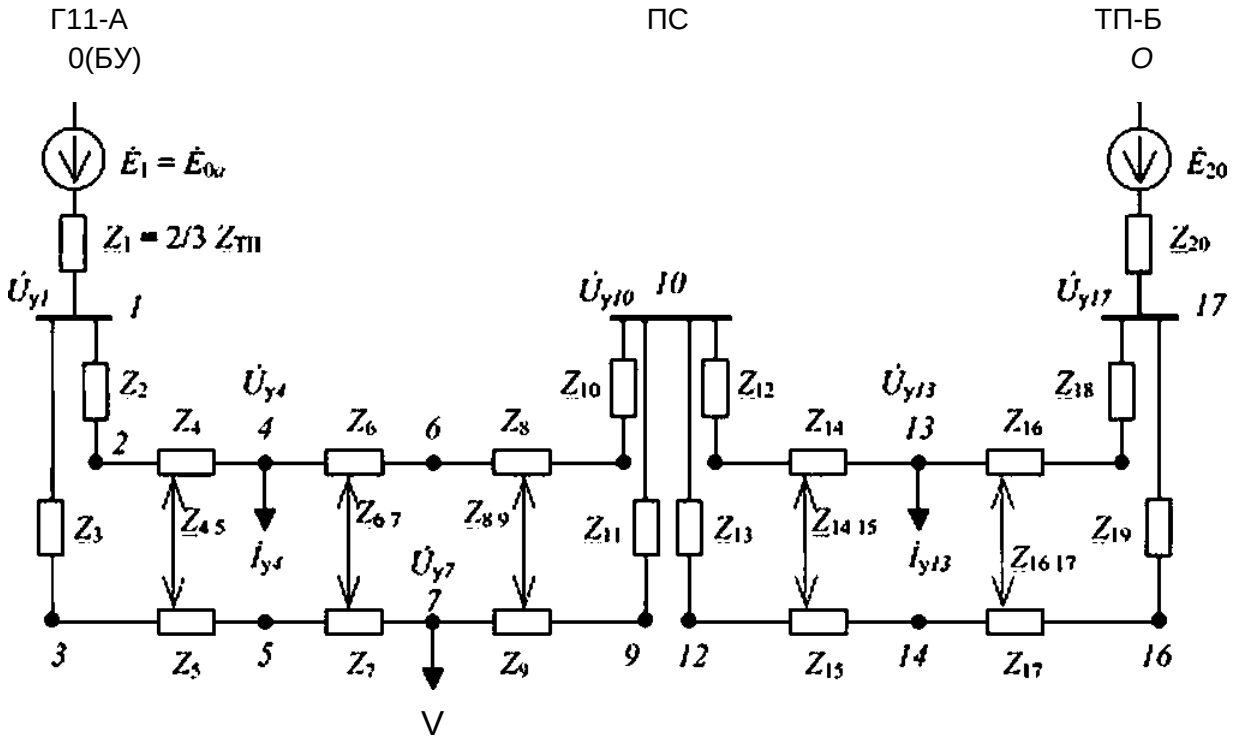
Собственные сопротивления *Z^. Z^.* Ом. ветвей р, *q* расчетной схемы и взаимное сопротивление $_q$. Ом. между этими ветвями рэсс-ытываюг по формулам:

$$\boldsymbol{h> = .2*1\ V\text{-}j.\ ht = \qquad h> я = \qquad L<\text{-})'} \quad \textbf{(B2°)}$$

где г,,, — сопротивления контактных сетей первого и второго пути. Ом'км. вычисляемые по формулам (Б.33). (Б.34) (приложение Б);

^$_{1к2}$ — полное сопротивление взаимной индуктивности между контактными сетями путей. Ом/км. которое вычисляют по формуле (Б.35) (приложение Б):

у — длина участка контактной сети между соседними узлами *i. j,* которые соединены ветвью с сопротивлением^-. км.



ТП-А. ТП-Б — тяговые подстанции. ПС — пост секционирования: БУ — базисный узел

Рисунок В.3 — Мгновенная расчетная схема межподстанционной зоны системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ

Длину участие, например $L^*_{л}$, км. между узлам *2* и *4* (см. рисунок В.3) рассчитывают по формуле

$$h\text{-}4 \text{ - } 11ГГЛ5(1.1) \text{ - } L, \text{ - } i.*] \text{ I.} \qquad \text{(В.21)}$$

где fms(1,1) - **L,** — координата расположения первого поезда на первом пути, км:

L_a — координата расположения тяговой подстанции ТП-А. км.

Сопротивления Zj. Zj. Z_{10}—Z_{13}. Z_{18}, Z_{10}, Ом. ветвей, соответствующих на рисунке В.3 питающим линиям, вычисляют по формуле (Б.26) (приложение Б).

В.2.4 Токи и напряжения в мгновенной расчетной схеме системы тягового электроснабжения определяют, например, методом узловых напряжений, приведенным в В.3. При условиях, указанных в В.2.4.1—В.2.4.3. расчет схемы производят повторно.

В.2.4.1 Если для каких-либо тягоеых подстанций постоянного тока получено отрицательное значение выпрямленного тока $!_a$, показанного на рисунке Б.1 (приложение Б), то расчет выполняют повторно, исключив из схемы ветви соответствующих тяговых подстанций.

В.2.4.2 Для тех тягоеых подстанций постоянного тока, на которых работают устройства регулирования выпрямленного напряжения, указанные в Б.1.1.2 (приложение Б), при первом расчете значение ЭДС E_Q. В. и эквивалентное сопротивление Rjp. Ом. тяговой подстанции принимают по формулам:

$$£0 = Ч,\text{-}\ ^{Я}ТП = °\ ^{01}\text{-} \qquad \text{<В'22>}$$

где — заданное стабилизированное напряжение на сборных шинах распределительного устройства Э.3 кВ. В.

Если полученный в ходе первого расчета выпрямленный ток $/_0$ данной тяговой подстанции превышает максимальное значение $/_л$. А. вычисленное по формуле (Б.6) (приложение Б), то выполняют второй расчет при других значениях параметров тяговой подстанции, которые принимают по формулам:

$$£0\ ''\ Чю\ V\ ^{Я}тп = ^{Я}тпм' \qquad \text{(В.23)}$$

где $и_л$ — напряжение холостого хода на выходе статического преобразователя для системы тягового электроснабжения без учета устройств регулирования напряжения. В:

>.р — отношение наибольшего и наименьшего значений выпрямленного напряжения холостого хода, которое в зависимости от типа устройства регулирования напряжения вычисляют по формуле (Б.2) или (В.3) (приложение Б);

/?тпу — эквивалентное сопротивление тяговой подстанции в режиме наибольшего выпрямленного напряжения. вычисляемое по формуле (Б.4) или (Б.5) (приложение Б). Ом.

Ток $I_{(nd}$. А. понижающего трансформатора, приведенный х стороне выпрямленного напряжения, при условии рассчитывают по формуле

'md " 'd 1*ст * (*р - *К.)* V'dJ. = Цп'Чю- (В-24)

При условии у > ток I_{nrf}. А. вычисляют по формуле

Anrf-'rfV (В.25)

При отсутствии устройств регулирования напряжения на тяговой подстанции ток . А. вычисляют по формуле (В.25). в которой принимают $л_р$ - 1.

В.2.4.3 При системах тягового электроснабжения переменного тока мгновенную схему рассчитывают итерационно при корректировке углов задающих комплексных токов в узлах.

На любом шаге *h* игвращы ток $у_л$, А в каждом узле / схемы рассчитывают по формуле

'у, $_h$ = У, cos ф, „ + ; у, sin ф, (В.26)

где у, — модуль тока 7лтз<л, Г) • I_0 поезда, находящегося в этом узле. А:

— У™ тока \/h- '•

Угол $ф_{(л}$. *. рассчитывают по формуле

Ф/А^{8}Ф, А-1 $^{+}$ »уй-1. (В.27)

где ту ^ — угол комплексного напряжения {у ^ в узле /. рассчитанного на предыдущем шаге. ".

На начальном шаге итерации принимают

ЧУ 0 * Ф.О ^{а} Фао- (В-^{28})

где — угол тока *Tms{n. f)* • $У_э$ относительно напряжения на токоприемнике. ".

Расчеты повторяют до тех пор. пока для всех узлов / схемы не будет выполнено условие

|ф, » - ф. $_{л-1}$ I < 1'- (В-29)

В.2.5 На данном шаге Ус по результатам расчетов токов в ветвях мгновенной схемы заполняют числовые ряды следующих значений токов. А:

- на выходе статических преобразователей для системы тягового электроснабжения ***IJ,k)***
- нагрузки понижающих трансформаторов тяговых подстанций постоянного тока $I_{пга}$[А):
- в выводах 27,5 кВ грехфазных трансформаторов тяговых подстанций переменного тока 25 кВ *($_a${к),* /*<*)• *Цк)*\
- в секциях расщепленных вторичных обмоток однофазных трансформаторов $I_{,п1}$(Ус).

и в отсасывающих линиях $У_{тр}$(Ус) тяговых подстанций переменного тока 2 х 25 кВ:

- в обмотках автотрансформаторов системы тягового электроснабжения переменного тока 2 х 25 кВ $I_А$(Ус);
- в питающих линиях тяговых подстанций и постов секционирования Уф(Ус).

По результатам расчетов напряжений узлов мгновенной схемы заполняют числовые роды следующих значений напряжения. В:

- на сборных шинах питающих линий контактной сети тяговых подстанций ($У_{шк}${Ус);
- на токоприемниках элекгроподвижного состава каждого поезда *п* на пути */ Utitn. (, к) - U_3.*

Значение напряжения *Utt{n. (, к) • U_3,* В. определяют по формуле

Ulr{n. У. *к)* ■ *U_3*- iy. (В.ЗО)

где $U_{\}}$ — напряжение узла схемы, в котором расположен данный поезд. В.

Вместе с указанным значением напряжения в числовой ряд помещают текущую координату расположения поезда на участке (Лг[л. /. *к)* ■ Ц. км. определяемую по формуле

Utrtp. f. к) ■ *L_3- Tms(n. f) - $L_г$* (В.31)

В.2.6 После окончания процесса моделирования графика движения поездов на основе данных числовых рядов токов и напряжений рассчитывают интегральные показатели режима работы системы тягового электроснабжения. указанные в 6.1. в соответствии с методикой, изложенной в разделах 6—10.12.13.

В.3 Расчет схемы замещения методом узловых напряжений

Напряжения ty. В. независимых узлов; {без базисного) при их количестве $С_у$ в схеме замещения определяют как элементы столбца [(у] из уравнения

|Uy,I = *[$Y_п$]-'* ([y] - [M*,] [V^] [Ep]). (В.32)

где [У^] —матрица узловых проводимостей У^, См. *I^{s}* 1 ... С ./* 1… $С_у$;

[у] — столбец заданных токов у в узлах. А

|Ау] — определенная матрица соедтений;

[У^] — матрица проводимостей ветвей У^. См. ***р*** - 1… $С_в$. g = 1 ... $С_„$ ($С_е$ — количество ветвей е схеме):

[Ер] — столбец заданных ЭДС ветвей $Е_р$. В.

Матрицу [У^] узловых проводимостей рассчитывают по формуле

IV*] = f««p] *[Упр$_я$*I («#>].- **(В-33)**

где [М^,], — транспонированная матрица [М^,].

В качестве элементов M_v определенной матрицы соединений [М^,] принимают:

1.................................... если узел г является начальной вершиной ветви р:

минус 1 .... если узел г является конечной вершиной ветви р:

О.................................... если узел г не связан непосредственно с ветвью р.

Матрицу I Y„__ J проводимостей ветвей рассчитывают по формуле

^ЦОЯ = fZP eJ'1- (В-34)

где (Z_{p4}) — матрица собственных и взаимных сопротивлений Z_{pq} ветвей схемы. Ом.

Токи /р. А. в ветвях схемы вычисляют как элементы столбца y_p] по формуле

I'p] = (V_w] ([Mg,], [$i/_w$] ♦ [Ep])- (В.35)

Приложение Г
(рекомендуемое)

Метод расчета температуры нагрева и допустимого длительного тока проводов контактной сети и воздушных линий

Г.1 Расчет температуры нагрева провода

При расчетах температуры нагрева провода используют числовой ряд значений тока 8 проводе /(А). А. с шагом по времени ЛГ. мин.

Соответствующие числовому ряду тока /(А) значения температуры провода $/_П$(А). *С, на каждом шаге *к* рассчитывают по формулам:

М*> ■ - «(*)• (Г1)

<Н*) » <W*) + И* - 1) - $в_{ал}${А)| exp <-ДП7$_{пи}$). (Г.2)

где $(_0$ — температура окружающего воздуха. *С;

6(А). 0(А - 1) — температура перегрева провода соответственно на данном и предшествующем шагах расчета. ’С. На первом шаге расчетов принимают 0(А - 1) = 0 *С:

И (А) — установившаяся температура перегрева провода в стационарном режиме. *С;

T_m — постоянная нагревания провода, мин.

Установившуюся температуру перегрева вд^А), ’С. и постоянную нагревания *Т^.* мин. рассчитывают по формулам соответственно:

ед<.(*) = !³{k\R «г E O — ■ гт с п л.-'*<*«*«, (Г.3)

г = "" 2 60{А -/«(AJR^eJ (Г.4)

где R_e — сопротивление провода при температуре окружающего воздуха. Ом/м:

$е_л$ — поглощающая способность поверхности провода, которую при проектных расчетах принимают для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов $е_п$ = 0.6. для модных, сталемедных, бронзовых проводов £„=0.8:

E_c — интегральная поверхностная плотность потока солнечного излучения E_c. Вг/м^;

$О_п$ — диаметр провода, м:

h_T — коэффициент теплоотдачи с поверхности провода. Вг/(м • ’С);

f?2u — сопротивление провода при температуре 20 "С. Ом/м;

u_t — температурный коэффициент электрического сопротивления. "С": «,.= 0.0039'С-1:

$С_п$ — теплоемкость провода. Вт - с/(м ■ *С).

Сопротивление R_0, Ом/м. провода при температуре окружающего воздуха рассчитывают по формуле

*„ = *2о П + «г ('« - 20)]. (Г.5)

Сопротивление . Ом/м. провода при температуре 20 *С вычисляют по формуле

*2о = Ю-3 *fwt* (Г.6)

где — погонное сопротивление провода. Ом/км. которое при системе тягового электроснабжения постоянного тока для многопроволочных проводов принимают равным сопротивлению $г_п$ до- для контактных проводов рассчитывают по формуле (Б.13) (приложение Б), при системах тягового электроснабжения переменного тока определяют по формуле (Б.20) (приложение Б).

Диаметр £>„. м. контактного провода рассчитывают по формуле

D„ = 0.5 ■ 10-3 *{А + Н) ко* ^ (Г.7)

где *А.Н* — соответственно ширина и высота провода по ГОСТ Р 55647—2013 (пункт 5.1.1). мм;

^£>юн — коэффициент уменьшения расчетного диаметра изношенного провода. Для проводов без износа *ко* изн = 1 При износе 15 % площади полного сечения фасонного провода Ад мэи = 0.91. фасонного овального провода А^ = 0.94.

Коэффициент теплоотдачи /г,. Вт/(м ”С), с поверхности провода определяют как сумму составляющих теплоотдачи вследствие конвективного теплообмена $Л_к$ и теплового излучения h_n. Вт/(м - *С), по формуле

$$h_{,} = h_K + h_n \quad (Г.8)$$

Коэффициент теплоотдачи й,. Вт/(м ■ *С), за счет конвективного теплообмена при скорости V_e ветра от 0.5 до 5.0 м/с включ. в поперечном направлении к проводу рассчитывают по формуле

$$h_K - 0.356\ я\ A\ (V, O_п/v)^{o'5eB}. \quad (Г.9)$$

где А — коэффициент теплопроводности воздуха. Вт/{м ■ *С);

v — кинематический коэффициент вязкости воздуха. м²/с.

Коэффициент теплопроводности воздуха А. Вт/(ы - 'С), и кинематический коэффициент вязкости воздуха v. м²/с. рассчитывают по формулам:

$$A = 2.42 \cdot 10\text{-}2 + 7.2 \cdot 10''^5\ 1^{\wedge}. \quad (Г.10>$$

$$v = 1.32 \cdot 10\text{-}^* + 9.5 \cdot 10\text{-}^*\ (_{со}. \quad (Г.11)$$

В формулах (Г.10). (Г.11) параметр ($_{ср}$. *С. является средней температурой между поверхностью провода и окружающей средой, который с использованием значения температуры провода $1_п(к$ -1) на предыдущем шаге вычисляют по формуле

$$'O\text{-}\ \Theta S\ [*_„\ (a\text{-}1) + Д \quad (Г12)$$

Коэффициент теплоотдачи $h_п$. Вт/(м - *С). вследствие теплового излучения рассчитывают по формуле

$$5.67^*\ кО \qquad 273»T_п\{*\text{-}1) \qquad \left.\right\}^4 - \left[\left(\frac{273 + t_e}{100}\right)^4\right] \quad (Г13)$$

$$100$$

где $e_и$ — излучающая способность (степень черноты) поверхности провода, которую при проектных расчетах принимают для алюминиевых и ствлеалюминиевых проводов $e_и$ = 0.6. для модных, стэлемедных. бронзовых проводов $e_я$ = 0.8.

Теплоемкость $C_п$. Вт - с/(м ■ *С). провода рэосчитываюг по формуле

$$C_„ » Щ\ c_т + /п_{ст}\ c^{\wedge}. \quad (Г.14)$$

где $m_т$. $гп_{ст}$ — масса соответственно токопроводящей части и стального сердечника (при его наличии) в 1 м провода. кг;

$c_т$. $c_{С1}$ — удельная теплоемкость соответственно материала токопроводящей части и стального сердечника провода. Вт - с/(кг • 'С):

390..... для меди и бронзы:

910..... для алюминия:

470..... для стали.

Г.2 Определение допустимого длительного тока провода

Допустимый длительный (20 мин. и более) ток провода $1_{т„}$. А. рассчитывают по формуле

$$/доп \sim \frac{\mathbf{Mg.\text{-}g\text{-}E..gA}}{J} \quad (Г.15)$$

где (до — допустимая длительная температура нагрева провода. 'С.

Коэффициент теплоотдачи h,. Вт/(м • *С). вычисляют по формулам (Г.В)—(Г.13) при температуре провода

*п " facn-