

МПС РОССИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

11/4/2

Одобрено кафедрой
«Энергоснабжение электрических
железных дорог»

КОНТАКТНЫЕ СЕТИ И ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями
для студентов IV курса

специальности

101800 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЭНС)



Москва — 2004

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Рецензент — канд. техн. наук, доц. Г.И. ГАТАЛЬСКИЙ

Для выполнения курсового проекта необходимо применить полученные знания теоретического материала курса для решения технических задач по проектированию контактной сети.

Контактная сеть электрифицированных железных дорог является одним из основных и дорогостоящих элементов системы электроснабжения. Ее стоимость составляет 25–36% от общих затрат на электрификацию железных дорог.

Контактная сеть работает в сложных условиях механического и коммутационного взаимодействия с токоприемниками локомотивов и подвергается воздействиям атмосферных влияний.

Особенностью контактной сети является и то, что она не имеет резерва, а ее большая протяженность усложняет обслуживание и уход за ней.

Поэтому при проектировании контактной сети необходимо не только обеспечить надежное токоснимание при любых заданных скоростях движения поездов, токовых нагрузках и климатических условиях, но и гарантировать механическую прочность и устойчивость всей системы контактной подвески, опорных и поддерживающих конструкций.

Эти задачи проекта должны быть решены с учетом экономической целесообразности, направленной на снижение затрат материалов, оборудования и стоимости строительных и монтажных работ.

Для проектирования задают участок однопутной железной дороги, состоящий из станции и примыкающего к ней справа перегона. Требуется спроектировать контактную сеть на заданном участке.

ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект должен содержать пояснительную записку, включающую задание на разработку проекта, расчетную часть и два листа чертежей.

В расчетную часть входят:

1. Определение нагрузок на провода контактной сети.
2. Определение допустимых длин пролетов на перегоне и станции на прямых и на кривых участках пути.
3. Составление схемы питания и секционирования.
4. Выбор способа прохода контактной подвески в искусственных сооружениях на станции и перегоне и соответствующие расчеты.
5. Расчет одного анкерного участка цепной подвески на главном пути станции и построение монтажных кривых.
6. Расчеты к подбору опор на перегоне.

На чертежах должны быть представлены:

1. Трассировка контактной сети на станции и питающих линий от тяговой подстанции со спецификациями анкерных участков и опор; схема секционирования станции; устройство контактной подвески под пешеходным мостиком.
2. Трассировка контактной сети на перегоне со спецификацией анкерных участков и опор; устройство контактной сети на мосту через реку.

Курсовой проект необходимо выполнить в соответствии со Строительными нормами и правилами [2] и с соблюдением правил содержания контактной сети электрифицированных железных дорог [3].

Трассировку контактной сети на станции и перегоне удобнее выполнять на миллиметровой бумаге.

ДАННЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА

Исходные данные по курсовому проекту приведены в табл. 1–3 и приложениях. Выбор варианта производится в со-

ответствии с двумя последними цифрами учебного шифра студента.

В том случае, когда номер учебного шифра студента состоит из одной цифры, в качестве предпоследней цифры принимают 0.

1. Характеристика цепной подвески

На перегоне: система подвески — одинарная, компенсированная, полукозая на прямых участках и вертикальная на кривых участках пути с рессорным тросом.

При наличии двух контактных проводов расстояние между ними следует принимать 40 мм.

Площадь сечения подвески выбирают по табл. 1. Номер варианта соответствует последней цифре шифра студента.

Таблица 1

Вариант	Несущий трос	Контактный провод	Род тока
0	М-95	2МФ-100	Постоянный
1	М-120	2МФО-100	Переменный
2	ПБСМ-95	МФ-100	Постоянный
3	М-120	2МФ-100	Постоянный
4	М-120	2МФ-100	Переменный
5	ПБСМ-95	МФ-100	Переменный
6	М-95	МФ-100	Постоянный
7	М-120	МФ-100	Постоянный
8	ПБСМ-95	2МФ-100	Переменный
9	М-95	МФО-100	Переменный

На станции: на главном пути — полукомпенсированная цепная подвеска с рессорным тросом, площадь сечения подвески такая же, как на перегоне; на остальных станционных путях — полукомпенсированные подвески ПБСМ-95+МФ-85 со смещенными струнами.

2. Климатические условия

Вариант климатических условий выбирают по табл. 2. Но-

Таблица 2

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Низшая температура, °С	-30	-45	-45	-40	-35	-45	-40	-35	-30	-40
Высшая температура, °С	+45	+35	+30	+30	+40	+35	+40	+40	+50	+35
Толщина стенки гололеда, мм	10	5	5	10	10	5	10	5	5	10
Ветровой район	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2

мер варианта соответствует предпоследней цифре учебного шифра студента.

1. Гололед цилиндрической формы с плотностью 900 кг/м³.
2. Температура гололедных образований равна –5°С.
3. Температура, при которой наблюдаются ветры максимальной интенсивности, равна +5°С; проектируемый участок расположен в местности, не защищенной от ветра.

Характеристики ветровых районов приведены в [1, табл. 2.1].

Скорость ветра при гололеде принимать равной 0,5 от максимальной скорости ветра, а в районах с толщиной стенки льда 15 мм и выше — $0,6 v_{\max}$, но не менее 20 м/с.

3. Станция

Схемы станций даны в 20 вариантах (см. приложение).

Выбор варианта производится в соответствии с двумя последними цифрами учебного шифра студента, указанными на схеме станции.

1. На станции электрифицируются все пути, кроме подъездного к тяговой подстанции.
2. Стрелки и стрелочные улицы, примыкающие к главному пути, имеют марки 1/11, остальные стрелки — марки 1/9.
3. На схеме станции цифрами указаны условные пикеты (расстояние от оси пассажирского здания в метрах) острых стрелок, входных светофоров, тупиков и пешеходного мостика. Также показаны расстояния между осями путей.

4. Перегон

В табл. 3 даны пикеты входных сигналов и искусственных сооружений. Выбор варианта производится по последней цифре учебного шифра студента.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК

Расчетную часть проекта рекомендуется начать с определения нагрузок на провода контактной сети.

В расчетах принимают следующие условные обозначения нагрузок:

- g — вертикальная нагрузка па метр прокола, кН/м;
- p — горизонтальная нагрузка на метр провода, кН/м;
- q — результирующая нагрузка, кН/м;
- G — полная вертикальная нагрузка на всей длине пролета провода, кН;
- P — полная горизонтальная нагрузка, кН.

1. Нагрузку от силы тяжести провода определяют непосредственно по справочным таблицам [1, табл. 1.1, 1.2, 1.5] или по формулам [1, п. 2.2].

2. Нагрузку от зажимов и струн цепной подвески принимают равномерно распределенной по длине пролета. Принимая силу тяжести струны с двумя зажимами равной $5 \cdot 10^{-3}$ кН при среднем расстоянии между струнами 10 м, получаем дополнительную вертикальную нагрузку от силы тяжести струн $g_c = 0,5 \cdot 10^{-3}$ кН/м при одном контактном проводе и $g_c = 1 \cdot 10^{-3}$ кН/м при двойном контактном проводе.

3. Суммарная вертикальная нагрузка на 1 метр троса при отсутствии гололеда:

$$g = g_T + n g_0 + g_c,$$

где g_T — нагрузка от несущего троса;

Таблица 3

Сигналы, сооружения и кривые	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Входной сигнал заданной станции «О»	23 км	23 км	23 км	23 км	23 км	23 км	24 км	24 км	24 км	23 км
	8+35	9+38	8+42	9+44	7+05	7+54	0+35	0+42	1+26	9+40
Начало кривой R=600 м, центр слева по ходу километров	24 км	24 км	24 км	24 км	24 км	24 км	24 км	3+32	4+20	24 км
	0+48	2+60	2+17	1+72	9+92	0+27	1+75			2+37
Конец кривой	3+27	4+82	5+38	4+27	3+27	4+29	4+28	6+18	6+75	5+15
Ось каменной трубы с отверстием 1,1 м	4+50	5+16	5+94	4+96	3+82	5+06	8+15	7+05	6+96	6+14
	4+88	5+29	7+37	5+95	5+16	5+38	9+38	7+63	8+20	8+77
Конец кривой	25 км	25 км	25 км	25 км	25 км	25 км	25 км	25 км	25 км	25 км
	3+87	2+62	4+64	4+37	3+55	4+20	3+11	5+34	2+34	4+28
Мост через реку с ездой понизу: пикет оси моста длина моста, м	5+16	4+11	7+27	6+29	6+20	5+58	6+28	7+46	6+05	5+30
	125	150	130	145	135	140	120	115	120	130

Окончание табл. 3

Сигналы, сооружения и кривые	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Ось железобетонной трубы с отверстием 3,5 м	7+08	6+20	9+09	8+85	7+85	6+92	8+08	8+70	7+60	7+11
	8+20	7+65	26 км	26 км	8+37	7+15	26 км	9+90	8+34	26 км
Начало кривой R=1000 м, центр справа	26 км	26 км	26 км	26 км	26 км	26 км	26 км	26 км	26 км	26 км
	0+95	2+15	0+22	2+06	3+12	2+28	1+24	1+27	2+34	0+18
Конец кривой	5+21	6+54	7+27	7+70	4+77	5+64	8+48	4+90	6+12	6+73
Входной сигнал следующей станции	5+94	7+54	7+94	9+37	5+54	6+15	9+11	5+48	6+88	7+25
Ось переезда шириной 6 м	6+88	8+15	9+55	9+95	6+25	7+11	27 км	6+37	7+94	0+30
Первая стрелка следующей станции							0+35			

Примечания 1. Высота моста через реку 6,5 м (расстояние от головки рельса до нижней части ветровых связей моста). 2. Справа по ходу километров предполагается укладка второго пути. 3. На расстоянии 300 м по обе стороны моста путь расположен на насыпях высотой 7 м.

g_0 — нагрузка от контактного провода;
 g_c — нагрузка от струн;
 n — число контактных проводов.

4. Нагрузку от гололеда определяют по формулам (2.4) и (2.5) [1, п. 2.3].

Толщину стенки гололеда на контактном проводе принимают вдвое меньше, чем на тросе; полную дополнительную нагрузку от гололеда определяют по формуле

$$g_{\Gamma} = g_{\Gamma\Gamma} + ng_{\Gamma 0},$$

где $g_{\Gamma\Gamma}$ — удельный вес гололеда на тросе;
 $g_{\Gamma 0}$ — удельный вес гололеда на контактном проводе.

5. Суммарная вертикальная нагрузка на метр троса с гололедом

$$g_{\text{общ}} = g + g_{\Gamma}.$$

6. Ветровую нагрузку на метр троса при максимальной скорости ветра определяют по формулам (2.8) и (2.9) [1, и 2.4].

7. Результирующая нагрузка на трос при v_{\max}

$$q_{\text{vmax}} = \sqrt{g^2 + p^2}.$$

здесь p — ветровая нагрузка на 1 метр троса.

П р и м е ч а н и е. Ветровая нагрузка на контактные провода в данном случае (при расчете троса) не учитывается, так как она в основном воспринимается фиксаторами.

8. Ветровую нагрузку на метр троса, покрытого гололедом, определяют по формуле (2.10) [1, п. 2.4].

9. Результирующая нагрузка на метр троса при гололеде с ветром v :

$$q_{\Gamma} = \sqrt{(g + g_{\Gamma})^2 + p_{\Gamma}^2}.$$

10. Ветровую нагрузку на погонный метр контактных проводов при ветре v_{\max} определяют по формулам (2.8) и (2.9) [1].

Значения аэродинамического коэффициента c_x для проводов контактной подвески даны в таблице, приведенной в [1, с. 26].

2. РАСЧЕТ НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОДОВ

Расчет на прочность проводов контактной сети проводят по допустимому напряжению.

Расчет проводят по формулам [1, 1.6]. Окончательно натяжение выбирают в соответствии с таблицей [1, 1.4].

Натяжение компенсированных несущих тросов принимают несколько меньшим, чем некомпенсированных [4, табл. 15].

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ БЕСПРОВОСНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПРОВОДОВ

Температуру t_0 , при которой контактные провода принимают беспровосное положение, определяют по формулам:

а) при простых опорных струнах

$$t_0 = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} - (10 \div 15)^{\circ}\text{C},$$

(10 — при двойном контактном проводе и 15 — при одиночном);

б) при подвеске с рессорными (эластичными) струнами

$$t_0 = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2}.$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ДЛИН ПРОЛЕТОВ

Максимально допустимую по ветровому отклонению длину пролета определяют с учетом взаимодействия контактных проводов и несущего троса. Такой учет может быть выполнен по методике, изложенной в учебнике [1]. В этом случае необходимо предварительно найти длины про-

летов без учета влияния несущего троса на отклонение контактного провода.

Ниже излагается более простая методика учета такого взаимодействия.

На контактный провод в горизонтальной плоскости действуют сила ветра и горизонтальная проекция реакции струн. Первую из них мы считаем распределенной равномерно по длине пролета. Вторая зависит от угла наклона струн и изменяется вдоль пролета. Эта составляющая по сравнению с первой мала, поэтому без существенной погрешности можно считать, что горизонтальная проекция провода будет параболой. В этом случае максимальное значение отклонения провода от его начального положения

$$Z_{\text{ок}} = \frac{P_{\text{кз}} l^2}{8K},$$

где $P_{\text{кз}}$ — некоторая эквивалентная, равномерно распределенная по длине пролета нагрузка на провод в горизонтальной плоскости, учитывающая взаимодействие провода и троса. Очевидно, максимально допустимому пролету $l = l_{\text{max}}$ будет соответствовать и максимально допустимое отклонение провода от его начального положения

$$Z_{\text{од}} = \frac{P_{\text{кз}} l_{\text{max}}^2}{8K}, \quad (1)$$

откуда

$$l_{\text{max}} = 2 \sqrt{2 \frac{Z_{\text{од}} K}{P_{\text{кз}}}}. \quad (2)$$

где K — напряжение контактного провода.

Значение $Z_{\text{к}}$ (рис. 1) будет зависеть от максимально допустимого отклонения $b_{\text{д}}$ провода оси токоприемника и от начального расположения провода в плане.

При расположении провода в плане по параболе отклонение его от начального положения $Z_{\text{к}}$ на расстоянии x от середины пролета будет равно

$$Z_{\text{к}} = Z_{\text{од}} \left(1 - 4 \frac{x^2}{l^2} \right) \quad (3)$$

На прямых участках провод имеет зигзаг, т.е. выносится у опор в разные стороны от оси пути (рис. 2), а на кривых имеет у опор вынос на внешнюю сторону кривой. Поэтому $Z_{\text{од}}$ не равно $b_{\text{д}}$.

Из рис. 2 видно, что на прямой отклонение провода от оси токоприемника, расположенного на расстоянии x от середины пролета, равно:

$$b_x = x \sin \alpha + Z_{\text{к}} \cos \alpha. \quad (4)$$

На рис. 2 $x-x$ — траектория оси полоза токоприемника. Ось x совпадает с горизонтальной проекцией провода при отсутствии ветра.

Угол α мал, поэтому можно принять:

$$\sin \alpha = \text{tg} \alpha = \frac{2a}{l} \text{ и } \cos \alpha \cong 1,$$

здесь, как и на рис. 2, a — вынос провода у опоры. С учетом этого при подстановке в формулу (4) $Z_{\text{к}}$ из формулы (3) получим:

$$b_x = \frac{2ax}{l} + Z_{\text{од}} \left(1 - 4 \frac{x^2}{l^2} \right) \quad (5)$$

Значение x , при котором b_x достигнет максимального значения b_{max} можно найти, приравняв производную b_x по x нулю:

$$\frac{2a}{l} - 8Z_{\text{од}} \left(\frac{x}{l^2} \right) = 0,$$

откуда

$$\frac{x}{l} = \frac{a}{4Z_{\text{од}}},$$

после подстановки $\frac{x}{l}$ в формулу (5) и простых преобразований получим

$$b_{\text{max}} = Z_{\text{од}} + \frac{a^2}{4Z_{\text{од}}}. \quad (6)$$

Под действием ветра провод получает дополнительное смещение γ_k за счет прогиба опоры. Суммарное максимальное отклонение провода с учетом этого станет равным $b_{\text{max}} + \gamma_k$. Приравняв эту величину к допускаемому отклонению, получим

$$b_d = Z_{\text{од}} + \frac{a^2}{4Z_{\text{од}}} + \gamma_k. \quad (7)$$

Решая это уравнение относительно $Z_{\text{од}}$, найдем:

$$Z_{\text{од}} = \frac{1}{2} \left[b_d - \gamma_k + \sqrt{(b_d - \gamma_k)^2 - a^2} \right]. \quad (8)$$

Исходя из полученного по этой формуле $Z_{\text{од}}$ следует определить по формуле (2) l_{max} .

При подвеске на кривой (рис. 3) отклонение провода от оси полоза токоприемника будет равно:

при ветре, направленном к центру кривой,

$$b_{\text{max}} = Z_{\text{од}} + (c - a),$$

при ветре, направленном от центра кривой,

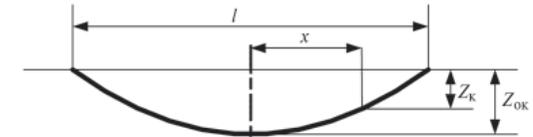


Рис. 1

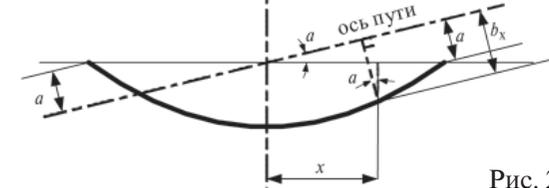


Рис. 2

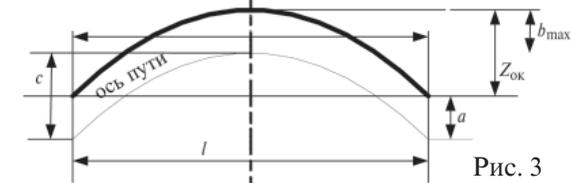
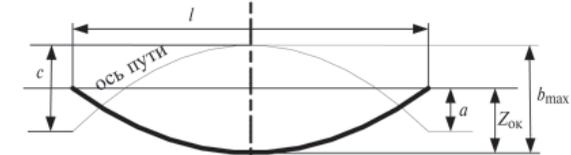


Рис. 3

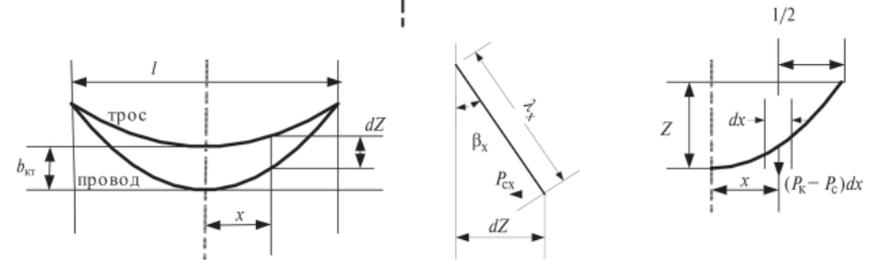


Рис. 4

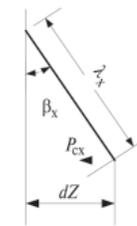


Рис. 5

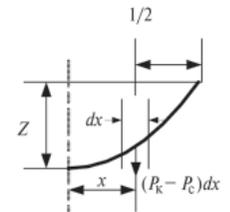


Рис. 6

$$b_{\max} = Z_{\text{од}} - (c - a),$$

где c — стрелка кривой;
 a — вынос провода у опоры.

Вместо двух последних выражений можно написать

$$b_{\max} = Z_{\text{од}} \pm (c - a) \quad (9)$$

Знак (+) соответствует направлению ветра к центру, а (-) — от центра кривой, стрелка дуги кривой при $l - l_{\max}$

$$c = \frac{l_{\max}^2}{8R}, \quad (10)$$

где R — радиус кривой.

Разделив почленно это выражение на выражение (1) и приняв $P_{\text{ку}} \cong P_{\text{к}}$, получим

$$\frac{c}{Z_{\text{од}}} = \frac{K}{P_{\text{к}}R},$$

откуда

$$c = Z_{\text{од}} \frac{K}{P_{\text{к}}R}.$$

Подставляя c в уравнение (9) и приравнявая $b_{\max} + \gamma_{\text{к}}$ к $b_{\text{д}}$, получим

$$b_{\text{д}} = Z_{\text{од}} \pm Z_{\text{од}} \frac{K}{P_{\text{к}}R} \pm a + \gamma_{\text{к}},$$

откуда

$$Z_{\text{од}} = \frac{b_{\text{д}} - \gamma_{\text{к}} \pm a}{1 + \frac{K}{P_{\text{к}}R}}. \quad (11)$$

По полученному из этой формулы значению $Z_{\text{од}}$ следует определить l_{\max} на кривых участках.

Верхние знаки соответствуют направлению ветра к центру, а нижние — от центра кривой. В практических расчетах всегда берут верхние знаки. При этом если на кривых с большими радиусами длины пролетов получаются больше, чем на прямых, то их берут такими же, как на прямых. Нетрудно показать, что такое положение возможно при

$$R \geq \frac{b_{\text{д}} - \gamma_{\text{к}}}{aP_{\text{к}}} K. \quad (12)$$

Считая, что проекции троса и провода на горизонтальную плоскость являются параболами, можно расстояние между ними представить в виде

$$\Delta Z = \left(1 - 4 \frac{x^2}{l^2} \right) b_{\text{кт}}, \quad (13)$$

где x — абсциссы рассматриваемых точек троса и провода (рис. 4).

Очевидно, горизонтальная составляющая натяжения струн (рис. 5)

$$P_{\text{сх}} = g_0 \text{tg} \beta_x, \quad (14)$$

где β_x — угол наклона к вертикали струны, на расстоянии x от середины пролета;

g_0 — нагрузка от силы тяжести контактного провода (контактных проводов).

Угол α мал, поэтому можно принять:

$$\text{tg} \beta_x \approx \sin \beta_x = \frac{\Delta Z}{\lambda_x} \text{ и } P_{\text{сх}} = \frac{\Delta Z}{\lambda_x} g_0, \quad (15)$$

где λ_x — длина струны, расположенной на расстоянии x от середины пролета.

Ее можно найти из равенства

$$\lambda_x = \lambda_0 + y,$$

где λ_0 — длина минимальной струны (принимается 0,8 м) или (см. формулу 3.10 [1]).

$$\lambda_x = \lambda_0 + \frac{g_0 x^2}{2T_0}. \quad (16)$$

здесь T_0 — напряжение несущего троса при беспровесном расположении провода.

Подставляя в формулу (15) ΔZ и λ_x из формул (13) и (16), получим

$$P_{cx} = \frac{1 - 4 \frac{x^2}{l^2}}{\lambda_0 + \frac{g_0 x^2}{2T_0}} b_{кт}. \quad (17)$$

Рассматривая горизонтальную проекцию контактного провода, можно, взяв момент сил относительно точки A (рис. 6), написать

$$Z_{ок} = \frac{1}{T_{п}} \int_0^{l/2} \left(\frac{l}{2} - x \right) (P_k - P_c) dx$$

и аналогично для троса

$$Z_{от} = \frac{1}{T_{п}} \int_0^{l/2} \left(\frac{l}{2} - x \right) (P_T + P_c) dx,$$

где $T_{п}$ — приведенное натяжение несущего троса, позволяющее учитывать отклонение гирлянды изоляторов (см. формулы (6) и (8) [1, с. 109]).

Следовательно расстояние $b_{кт}$ между тросом и проводом

$$b_{кт} = Z_{ок} - Z_{от} = \left(\frac{P_k}{K} - \frac{P_T}{T_{п}} \right) \int_0^{l/2} \left(\frac{l}{2} - x \right) dx - \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{T_{п}} \right) \int_0^{l/2} \left(\frac{l}{2} - x \right) P_c dx$$

или

$$b_{кт} = b_{кт0} - \Delta b_{кт},$$

где $b_{кт0} = \left(\frac{P_k}{K} - \frac{P_T}{T_{п}} \right) \frac{l^2}{8}$ — расстояние между тросом и проводом в плане, определенное без учета реакции струн, и

$$\Delta b_{кт} = b_{кт} g_0 \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{T_{п}} \right) \frac{l^2}{4} \int_0^{l/2} \frac{\left(\frac{l}{2} - x \right) \left(1 - 4 \frac{x^2}{l^2} \right)}{\lambda_0 + \frac{g_0 x^2}{2T_0}} dx$$
 — изменение этого расстояния за счет реакции струн.

Введем подстановку $u = \frac{x}{l/2}$. Тогда $x = \frac{ul}{2}$ и $dx = \frac{l}{2} du$ при $x = \frac{l}{2}$, $u = 1$.

Следовательно,

$$\Delta b_{кт} = b_{кт} g_0 \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{T_{п}} \right) \frac{l^2}{4} \int_0^1 \frac{(1-u)(1-u^2)}{\lambda_0 + \frac{g_0 l^2}{8T_0} u^2} du$$

или

$$\Delta b_{кт} = b_{кт} g_0 \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{T_{п}} \right) \frac{2T_0}{g_0} \int_0^1 \frac{(1-u)(1-u^2)}{d + u^2} du. \quad (18)$$

Здесь $d = \frac{8T_0}{g_0 l^2} \lambda_0 = \frac{\lambda_0}{F_0}$;

$F_0 = \frac{g_0 l^2}{8T_0}$ — стрела провеса несущего троса при беспровесном положении контактного провода. Интеграл, входящий в выражение (18), представим в виде

$$I_1 = \frac{1}{d} \int_0^1 (1-u)(1-u^2) du + \int_0^1 \left[\frac{(1-u)(1-u^2)}{d + u^2} - \frac{1}{d} (1-u) \right] du$$

или

$$I_1 = \frac{5}{12d} - I_2.$$

где $I_2 = \int_0^1 \frac{(1-u)(1-u^2)u^2}{d(d+u^2)} du.$

Оценим этот интеграл сверху и снизу. В первом случае положим в знаменателе $u^2 = 0$, а во втором $u^2 = 1$. При этом получим в первом случае

$$I_2 < \frac{1}{d^2} \int_0^1 (1-u)(1-u^2)u^2 du = \frac{1}{20d^2},$$

или

$$I_2 < \frac{0,12}{d} I_1,$$

Во втором —

$$I_2 > \frac{1}{2d(d+1)}$$

или

$$I_2 > \frac{0,12}{d+1} I_2.$$

Следовательно, $\frac{0,12}{d+1} I_1 < I_2 < \frac{0,12}{d} I_1.$

Наиболее широкие границы в этом соотношении получатся при минимальном значении d . Его можно принять равным 1/2. Тогда найдем

$$0,08I_1 < I_2 < 0,24I_1.$$

Приняв $I_2 \approx 0,16I_1$, мы, следовательно, допустим ошибку не более $\pm 8\%$, что, принимая во внимание небольшое влияние реакции струн на результирующее отклонение провода, вполне допустимо.

Итак,

$$I_1 = \frac{5}{12d} - 0,16I_1,$$

откуда

$$I_1 \approx \frac{5}{14d}.$$

После подстановки в выражение (18) d и полученного I_1 найдем:

$$\Delta b_{\text{КТ}} = \frac{5b_{\text{КТ}}Tg_0l^2}{56\lambda_0} \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{T_{\text{П}}} \right)$$

или с учетом уравнения (17):

$$b_{\text{КТ}} = \frac{5g_0l^2}{56\lambda_0} \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{T_{\text{П}}} \right) (b_{\text{КТ}0} - \Delta b_{\text{КТ}}). \quad (19)$$

Но $\Delta b_{\text{КТ}}$ можно также найти другим путем. Действительно,

$$\Delta b_{\text{КТ}} = \Delta Z_{\text{от}} - \Delta Z_{\text{ко}},$$

Здесь $\Delta Z_{\text{то}}$ и $\Delta Z_{\text{ко}}$ — дополнительные смещения троса и провода по горизонтали за счет реакции струн.

Будем считать, что эти смещения пропорциональны эластичностям троса и провода, или, что то же, обратно пропорциональны напряжениям:

$$\Delta Z_{\text{то}} = \frac{K}{T_{\text{П}}} \Delta Z_{\text{ко}}.$$

Следовательно,

$$\Delta b_{\text{КТ}} = \left(1 + \frac{K}{T_{\text{П}}} \right) \Delta Z_{\text{ко}}.$$

Пусть $P_{\text{ср}}$ — некоторая эквивалентная, равномерно распределенная по пролету горизонтальная составляющая реакции струн, вызывающая то же смещение, что и изменяющаяся сила $P_{\text{сх}}$.

Очевидно,

$$P_{сз} = P_k - P_{кз};$$

$$\Delta Z_{ко} = \frac{P_{сз} l^2}{8K}$$

и

$$\Delta b_{кт} = \left(1 + \frac{K}{T_{п}}\right) \frac{P_{сз} l^2}{8K}.$$

Подставляя отсюда $\Delta b_{кт}$ в выражение (19) и заменяя в нем

$b_{кт0}$ на $\left(\frac{P_k}{K} - \frac{P_T}{T_{п}}\right) \frac{l^2}{8}$, получим

$$\left[1 + \frac{5g_0 l^2}{56\lambda_0} \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{T_{п}}\right)\right] \left[1 + \frac{K}{T_{п}}\right] \frac{P_{сз} l^2}{8K} = \frac{5g_0 l^2}{56\lambda_0} \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{T_{п}}\right) \left(\frac{P_k}{K} - \frac{P_T}{T_{п}}\right) \frac{l^2}{8},$$

откуда

$$P_{сз} = \frac{5(T_{п} + K)g_0 l^2}{56\lambda_0(T_{п} + K) \left[1 + \frac{5g_0 l^2}{56\lambda_0} \frac{T_{п} + K}{T_{п}K}\right]} \left(\frac{P_k}{N} - \frac{P_T}{T_{п}}\right)$$

При $l = l_{\max}$ можно воспользоваться выражением (2). Так как $P_{сз}$ мало по сравнению с P_k , его можно найти приближенно, полагая в выражение (2) $P_{кз} = P_k$.

$$P_{сз} = \frac{5g_0 Z_{од}(T_{п} - K)}{Z\lambda_0(T_{п} + K)P_k \left[1 + \frac{5g_0 Z_{од}}{7\lambda_0 P_k} \left(1 - \frac{K}{T_{п}}\right)\right]} \left(P_k - \frac{K}{T_{п}} P_T\right)$$

Далее имеем

$$P_{кз} = P_k - P_{сз} = P_k - \frac{5g_0 Z_{од}(T_{п} - K)}{7\lambda_0 P_k (T_{п} + K) \left[1 + \frac{5g_0 Z_{од}}{7\lambda_0 P_k} \left(1 - \frac{K}{T_{п}}\right)\right]} \left(P_k - \frac{K}{T_{п}} P_T\right) \quad (20)$$

В [1, с. 109] приведена формула для расчета $T_{п}$:

$$T_{п} = \frac{1}{\frac{1}{T} + 8 \frac{h}{ql^2}},$$

где h — длина гирлянды изоляторов;

T — фактическое натяжение несущего троса при ветровом режиме;

q — результирующая нагрузка от троса при том же режиме.

Полагая $l = l_{\max}$, можно, воспользовавшись формулой (2), исключить из последнего выражения неизвестное l . В этом случае допустимо положить $P_{кз} = P_k$. При этом получим

$$T_{п} = \frac{T}{1 + \frac{P_k T h}{qKZ_g}} \quad (21)$$

Из изложенного вытекает следующий порядок расчета максимально допустимой длины пролета:

1) по формуле (21) находят $T_{п}$,

2) по формуле (8) (для прямой) или (11) (для кривых) определяют Z_g ,

3) по формуле (20) определяют $P_{кз}$,

4) по формуле (2) находят максимально допустимую длину пролета.

Если эта длина пролета на кривом участке пути получается больше, чем на прямом, следует принять максимальную длину пролета на данном участке равной максимальной допустимой длины пролета для прямого участка пути. Наибольшая длина пролета не должна превышать 70 м при под-

веске с одним контактным проводом и 75 м при двух контактных проводах.

Если на станционных путях подвешивают провода различных марок, то максимальную длину пролета на станции определяют для проводов, дающих при расчете меньшую величину пролета.

5. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ПИТАНИЯ И СЕКЦИОНИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Схему питания и секционирования вычерчивают без масштаба. На схеме должно быть предусмотрено питание контактной сети станции и прилегающих перегонов, продольное секционирование (отделение контактной сети станции от контактной сети перегона) и поперечное секционирование (выделение группы путей в отдельные секции). При электрификации участка на переменном токе на том конце станции, где расположена тяговая подстанция, должна быть предусмотрена нейтральная вставка.

При составлении схемы секционирования контактной сети на станции число секций должно быть выбрано в соответствии с работой станции, а также условиями обеспечения надежности работы сети и удобствами ее обслуживания.

Излишнее дробление контактной сети на секции снижает ее надежность, усложняет и удорожает ее устройство. Поэтому на малых станциях с небольшим развитием путей допускается объединение контактной сети главного пути с контактной сетью отдельных станционных путей. Иногда допускается объединение всех путей станции в одну секцию, но во всех случаях необходимо предусмотреть возможность плавки гололеда.

Независимо от путевого развития станции электрически отделяются: главные пути — друг от друга, погрузочно-разгрузочные пути и тупики, а также пути и тупики, на которых производится экипировка пассажирских вагонов или осмотр крышевого оборудования подвижного состава, — от других путей (поперечное секционирование). Для обеспече-

ния безопасности работ секционные разъединители на этих путях должны иметь заземляющие ножи.

Подача и снятие напряжения с отдельных секций контактной сети осуществляется секционными разъединителями.

При секционировании желателен обходиться минимальным числом разъединителей, располагать их группами, а не размещать по всей территории станции.

Установка двух разъединителей с обоих концов секции не допускается, поскольку это усложняет оперативность действий и не обеспечивает безопасность.

6. ТРАССИРОВКА КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА СТАНЦИИ

При разбивке опор на станции необходимо обеспечить нормальное расположение контактного провода относительно оси пути, надежную фиксацию места изгиба проводов на кривых участках пути, воздушных стрелках и при отводе провода на анкеровку.

Следует учесть также перспективное развитие станции и расположить опоры так, чтобы укладка новых путей не вызвала значительных переустройств контактной сети.

Лучшим вариантом трассировки считается тот, который при соблюдении всех технических условий требует меньшего количества опор и меньшей суммарной длины нерабочих ветвей проводов. При выполнении трассировки контактной сети следует пользоваться условными обозначениями, приведенными в учебнике [1, с. 217–218].

Для того чтобы не допустить ошибок в трассировке контактной сети, надо правильно начертить план станционных путей в масштабе 1: 1 000 и хорошо представлять устройство воздушных стрелок и фиксацию контактных проводов.

Данные для вычерчивания плана станции приведены в приложении. На заданных станциях указаны центры стрелочных переводов (расстояние от пассажирского здания), и, поскольку линии на чертеже представляют собой оси путей, математический центр стрелки (точка пересечения прямой

Место фиксации провода на стрелочной кривой целесообразно намечать в ее середине. Каждое место, где необходима фиксация контактных проводов, следует наметить вертикальной пунктирной линией, затем определить его пикет, т.е. расстояние от пассажирского здания.

После того как все пункты, где необходима фиксация контактных проводов, намечены, производится выбор тех мест, где рационально установить несущие и анкерные опоры. При этом должны быть рассмотрены варианты расположения опор с учетом возможности выполнения отдельных воздушных пересечений без фиксации. Нефиксированные стрелки могут быть выполнены или путем смещения анкерной опоры на такое расстояние, чтобы анкеруемый провод проходил без изгиба, или путем закрепления пересекающихся проводов на фиксирующем тросе поперечно поддерживающей конструкции так, чтобы эти провода не изгибались и были прямолинейными. Следует избегать устройства воздушной стрелки с двойным пересечением контактных проводов, а также использования для фиксации контактной подвески специально натянутых тросов или нерабочих ветвей проводов, идущих на анкеровку.

В этом случае, как правило, целесообразно установить фиксирующую опору. Отдельные способы трассировки контактной сети на стрелках показаны в [4, рис. 127, 129].

При размещении опор в горловинах станции надо учитывать возможность анкеровок всех проводов с путей, заканчивающихся в горловинах, без установки специальных (дополнительных) анкерных опор и следить, чтобы разница длин двух соседних пролетов составляла не более 25% от длины большего пролета.

Металлические опоры могут быть применены только в качестве анкерных в тех случаях, когда необходимо разместить анкеровки с двух сторон опоры или анкеровки двух подвесок с одной стороны.

Из всех возможных вариантов выбирают тот, при котором будет установлено наименьшее количество несущих и фиксиру-

ющих опор. Фиксирующие опоры устанавливают в тех местах, где нефиксированные стрелки установить нельзя, а установка несущих опор привела бы к значительному уменьшению длины пролетов и, следовательно, к значительному удорожанию сети.

Когда опоры в горловинах станции уже намечены, целесообразно приступить к размещению опор в местах сопряжения анкерных участков станции и перегонов. Сопряжение анкерных участков станции и перегона должно осуществляться с одновременным секционированием сети (воздушным промежутком) и конструктивно выполняться в трех или четырех пролетах.

Изолирующее сопряжение должно располагаться между входным сигналом и первым стрелочным переводом станции.

При этом анкерная опора изолирующего сопряжения (со стороны перегона) должна располагаться не далее 300 м от последней стрелки станции, но так, чтобы она не выходила за входной сигнал. Допускается установка анкерной опоры воздушного промежутка на перегоне перед входным сигналом. В случае невозможности размещения воздушного промежутка между входным сигналом и первой стрелкой станции сигнал должен быть перенесен в сторону перегона на необходимое расстояние.

Длина пролета между переходными опорами воздушного промежутка должна составлять не более 75% максимально допустимой длины пролета на станции. Видимость сигналов не должна быть ухудшена, что должно быть учтено при выборе габаритов установки опор у сигналов.

После размещения опор на обоих концах станции производят размещение их в средней части станции. При этом разбивку опор следует производить по возможности равными пролетами, стремясь к установке минимального числа опор, нигде не превышая при этом максимально допустимой величины пролета. На пассажирских платформах следует устанавливать минимальное число опор. При наличии одного или двух параллельно расположенных путей применяют опоры с однопутными консолями. Установку опор с двухпутными консолями применять не следует. При параллельном расположении от трех до семи путей рекомендуется применять

опоры с жесткой поперечиной (ригелем), а при большем количестве путей — гибкую поперечную конструкцию.

Опоры, располагаемые у складских помещений, желательно устанавливать по краям этих помещений. При невозможности такого решения опоры и стойки жестких поперечин могут быть установлены в междупутьях, если ширина их не менее 6 м у главных путей и не менее 5,4 м между другими станционными путями.

Одновременно с размещением опор на чертеж наносят все длины пролетов, которые для выделения их из ряда других цифр подчеркивают одной чертой (например, 60).

Проход контактной подвески под пешеходным мостиком может быть осуществлен с пропуском подвески под мостиком без закрепления на нем изолятора несущего троса. В первом случае мостик должен рассматриваться как опора и ближайшие к нему соседние опоры должны располагаться на расстоянии, равном или близком к максимально допускаемой величине пролета на станции. Во втором случае, независимо от выбранного способа прохода подвески под мостиком (проход без разанкеровки несущего троса или с его разанкерровкой), ближайшие к мостику опоры должны располагаться так, чтобы мостик был в середине пролета. Принятый в курсовом проекте способ прохода контактной подвески под пешеходным мостиком должен быть описан и обоснован соответствующими расчетами в пояснительной записке к проекту и показан на листе.

При выборе способа прохода контактной подвески под пешеходным мостиком надо все расчеты относить к беспровесному положению контактных проводов, принимая его высоту от головки рельс не менее 6,25 м. Допускается установка скользящих струн длиной не менее 300 мм.

Следует учитывать, что расстояние от частей контактной сети, находящихся под напряжением, до заземленных частей при самых неблагоприятных условиях не должно быть менее 200 мм при системе постоянного тока и 300 мм при системе переменного тока.

Если расстояние от частей, находящихся под напряжением, менее 500 мм при постоянном токе и менее 650 мм при переменном токе, необходимо предусматривать установку отбойников. Расстояние от контактных проводов до их отбойников, без учета отжатия токоприемником, должно быть 100 мм при одном и не менее 70 мм при двух контактных проводах.

Когда расстановка опор на станции закончена, выполняют окончательную наметку мест анкеровки контактных подвесок всех путей станции и приступают к составлению плана контактной сети.

При составлении плана контактной сети цепную подвеску изображают прямой линией, располагаемой по оси пути (т.е. рабочие участки контактной сети полностью совпадают с планом станции). Однако на плане контактной сети условными обозначениями должны быть ясно показаны все анкеровки, пересечения и воздушные стрелки.

Контактная сеть каждого анкерного участка на плане должна легко просматриваться, поэтому расположение проводов на воздушных стрелках показывают условными линиями [4, рис. 146, 147].

Нерабочие ветви контактной подвески обозначают тонкими сплошными линиями. После разбивки всех анкерных участков подсчитывают их длину (длина анкерного участка не должна превышать 1 600 м, а только в исключительных случаях допускается 1 800 м), у каждой анкерной опоры указывают номер и

длину анкерного участка (например $\frac{1375}{VI}$) и составляют спецификацию анкерных участков по следующей форме:

Номер участка						
Длина подвески						
Несущий трос ПБСМ70						
Контактный провод МФ100 МФ85						

Если длина анкерного участка не превышает 800 м, устраивается односторонняя компенсация натяжения контактного провода. На участках длиной более 800 м устраивается двусторонняя компенсация контактного провода и в середине среднего пролета анкерного участка отмечается устройство средней анкеровки. Величины пролетов, в которых размещаются средние анкеровки, должны быть на 10% меньше максимально допускаемых.

Затем по ходу километров выполняют нумерацию всех опор, начиная с первой анкерной опоры левого воздушного промежутка и кончая последней анкерной опорой правого воздушного промежутка. При этом необходимо, чтобы опоры с одной стороны путей имели четные номера, а с другой стороны — нечетные (в соответствии с нумерацией направлений движения поездов). Номера опор указывают непосредственно около их обозначения. Там же (или в графе специальной таблицы) указывают габариты всех опор. Для того чтобы можно было выделить эти цифры, перед ними ставят букву «Г» (например, Г-3,1). Габарит для всех опор на прямых участках пути принимают равным 3,1 м, за исключением тех опор, габарит которых определяется условиями устройства нефиксированных стрелок и опор, устанавливаемых в больших междупутьях для обслуживания обоих путей. Анкерные железобетонные опоры устанавливают с габаритом 3,1 м. Кроме того, для тех опор, которые устанавливают вблизи пассажирского здания (на расстоянии 150–200 м в обе стороны), принимается увеличенный габарит установки опор (до 6 м). Габарит опор для улучшения видимости сигналов может быть также увеличен. Опоры перед светофором должны располагаться не ближе 20–25 м от сигнала и иметь габарит 3,5 м.

Места установки обратных фиксаторов показываются соответствующими условными обозначениями.

В соответствии с принятой схемой секционирования на плане станции показывают места установки всех секционных изоляторов, а также изоляторов, включенных в фиксирующие тросы поперечин и в нерабочие ветви подвески. Все

секционные разъединители также должны быть указаны на плане станции у тех опор, на которых они будут устанавливаться. Продольные секционные разъединители устанавливают на ближайших к оси станции переходных опорах воздушных промежутков; поперечные секционные разъединители устанавливаются на опорах, расположенных как можно ближе к тяговой подстанции.

7. ТРАССИРОВКА ПИТАЮЩИХ ЛИНИЙ

Питающие и отсасывающие линии от тяговых подстанций к контактной сети могут быть выполнены воздушными или кабельными. В данном курсовом проекте должна быть произведена трассировка воздушных питающих линий, а отсасывающие линии выполняются кабельными.

Как правило, воздушные питающие линии подвешиваются на опорах контактной сети, и только для подвода линий от здания тяговой подстанции до ближайших опор контактной сети устанавливаются специальные опоры. Непосредственно у зданий тяговых подстанций устанавливают или типовые ригельные опоры высотой 7,2 м, или, в тех случаях, когда эта высота недостаточна для соблюдения габаритных расстояний от проводов питающих линий до земли (или до головки рельса при переходе через пути), типовые опоры контактной сети высотой 10–15 м.

Подвеска проводов питающих линий должна осуществляться таким образом, чтобы можно было производить работы на контактной сети без отключения питающих линий и на питающих линиях без отключения контактной сети. Для этого расстояние между проводами различных питающих линий или между проводами питающей линии и контактной сети должно быть не менее 2 м.

На опорах с гибкой поперечной подвеской высотой 15 м с полевой стороны могут быть размещены две различные питающие линии, крепление которых осуществляется в промежутке между креплениями поперечно-несущих и верхних

фиксирующих тросов. На консольных опорах высотой 10 м с полевой стороны опор может быть размещена только одна питающая линия.

На специальных опорах высотой до 10 м могут быть подвешены две различные питающие линии (по одной на противоположных сторонах опор); на специальных опорах высотой 15 м могут быть подвешены 4 различные питающие линии (по две на противоположных сторонах опор).

На консольных или специальных опорах высотой до 10 м может быть осуществлена анкеровка только одной питающей линии (с одной стороны опоры). На опорах высотой 15 м можно осуществить с одной стороны анкеровку двух различных питающих линий, расположив их на разных высотах. С применением специального анкерного кронштейна, дающего возможность разместить анкеровки двух различных линий на одной высоте, указанное выше количество анкеровок питающих линий на опорах может быть удвоено.

Запрещается подвешивать питающие провода над пассажирской платформой. Надо подвешивать их с противоположной стороны пассажирского здания.

Переходы проводов питающих линий через контактные сети путей должны производиться как можно ближе к середине пролета между опорами контактной сети и под углом, близким к 90° . Переход осуществляется при помощи специальных опор высотой не менее 15 м, установленных с обеих сторон путей с анкеровкой проводов питающих линий на этих опорах. В этом случае на каждой опоре может быть заанкеровано не более двух различных питающих линий.

Переход можно осуществить также и по жесткой поперечине, но для этого надо на ригеле закрепить специальные стойки.

В данном курсовом проекте необходимо произвести трассировку трех питающих линий (по одной линии на каждый из примыкающих к станции перегонов и одной для питания контактной сети станционных путей).

Присоединение станционной питающей линии к контактной сети производится через соответствующие секционные разъединители в месте, наиболее близко расположенном к тяговой подстанции.

Присоединения перегонных питающих линий к контактной сети при расположении тяговой подстанции в пределах станции осуществляется в местах изолирующих сопряжений анкерных участков на ближайших к станции переходных опорах.

При расположении тяговой подстанции за пределами изолирующего сопряжения анкерных участков, присоединение одной из перегонных питающих линий к контактной сети может быть осуществлено непосредственно у тяговой подстанции.

8. ТРАССИРОВКА КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ПЕРЕГОНЕ

План перегона вычерчивают на листе № 2, в масштабе 1:2 000. Данные для составления плана перегона приведены в табл. 3 задания на курсовой проект. Заданный перегон примыкает к станции справа и начинается от входного светофора «О». Таким образом, перегон является продолжением станции, местоположения опор на станции и перегоне должны быть увязаны между собой.

План перегона подготавливается для последующей работы в виде прямой линии, ниже которой помещается его спрямленный план и еще ниже — таблица того же вида, что указывалось выше для станции (рис. 8) [1, рис. 9.45].

Пикеты на плане перегона обозначаются по ходу километров в соответствии с заданием на проект. Кривые участки пути отмечают только на линии профиля с указанием направления поворота радиуса и длины кривой, все искусственные сооружения наносят на условную прямую линию соответствующими обозначениями.

Границы расположения высоких насыпей (высотой более 5 м) показывают на спрямленном плане перегона с указанием высоты насыпей.

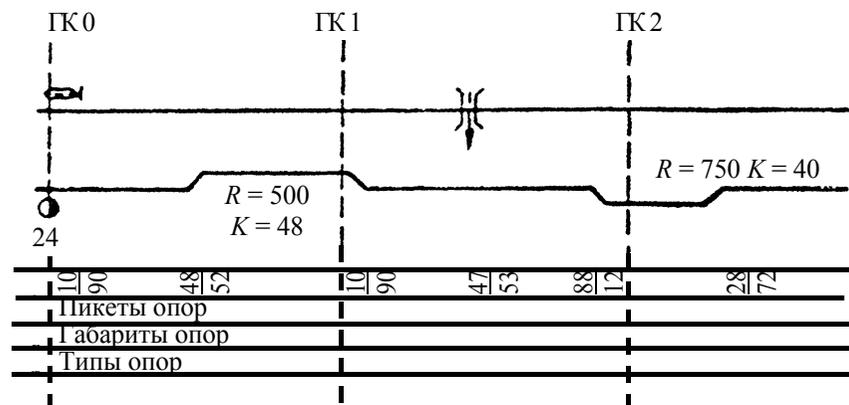


Рис. 8

Размещение опор контактной сети па перегоне выполняют на прямой линии плана перегона, начиная с переноса на эту линию опор изолирующего сопряжения станции, к которому прилегает перегон. Привязку опор производят по входному сигналу «О», который обозначен и на плане станции и на плане перегона. При этом надо иметь в виду, что на плане станции пикет сигнала «О» показан условный (от оси пассажирского здания), а на перегоне — действительный. Далее пролетами, по возможности равными максимально допускаемой длине пролета для соответствующего участка пути, производится расстановка всех опор как промежуточных. При этом разница в длине двух смежных пролетов не должна превышать 25% длины большего пролета.

Длины пролетов, расположенных частично на прямых и частично на кривых участках пути, следует принимать равными максимально допускаемым длинам пролетов для кривых участков.

Все опоры располагаются с одной стороны пути, противоположной той, с которой предполагается укладка второго пути.

Опоры, располагаемые у искусственных сооружений и переездов, должны отстоять от края этого сооружения или от обочины переезда на расстоянии не менее 5 м. Те проле-

ты, в которых будут расположены средние анкеровки (что может быть установлено примерной наметкой расположения анкерных участков), должны быть на 10% меньше, чем величина максимально допускаемого пролета.

При подходе к расположенному на перегоне мосту через реку следует прекратить расстановку опор примерно за 500 м до моста и установить способ прохода цепной подвески через мост. Обоснованный выбор системы подвески на мосту с необходимыми расчетами должен быть приведен в пояснительной записке к проекту, а расположение подвески показано на чертеже.

При выборе способа прохода моста простой подвеской в случае применения на перегоне одинарного контактного провода следует на мосту добавить второй контактный провод. В этом случае, а также в случае применения цепной подвески малой конструктивной высоты с анкеровкой несущего троса на порталах моста ближайшие к мосту опоры устанавливаются на расстоянии, равном половине максимально допускаемой длины пролета для данного участка пути.

В случае применения цепной подвески малой конструктивной высоты без анкеровки несущего троса на порталах моста опоры, ближайшие к мосту, устанавливаются так, чтобы разница длин двух соседних пролетов не превышала 25% длины большего пролета (при необходимости должны быть применены переходные пролеты соответствующей длины). Желательно расположить анкерный участок так, чтобы мост находился на его середине.

После размещения опор у моста производится их привязка к ранее установленным опорам и разбивка опор за мостом до конца перегона. При этом надо учесть, что на следующей станции также должен быть воздушный промежуток, поэтому между входным сигналом и первой стрелкой следующей станции опоры должны быть расположены с учетом возможности размещения этого воздушного промежутка.

Все пролеты обозначаются в соответствующих местах цифрами, подчеркнутыми снизу одной чертой.

По окончании размещения всех опор как промежуточных производится разбивка перегона на анкерные участки. Длины анкерных участков следует определять с учетом конкретного расположения кривых в их пределах (желательно, чтобы кривые участки пути были расположены ближе к середине анкерных участков). Сопряжения анкерных участков должны выполняться по трехпролетной схеме и устраиваться на прямых и на внешней стороне кривых участков пути. Устройство сопряжения анкерных участков на внутренней стороне кривых нежелательно, а на кривых радиусом менее 1 200 м вообще недопустимо.

Анкерные участки, примыкающие к станциям, выполняются со средними анкеровками компенсированной подвески, но со стороны станции несущий трос не компенсируется.

Для компенсированных контактных подвесок длины анкерных участков, расположенных целиком на прямых участках пути, должны быть не более 1 600 м. При наличии кривых в пределах анкерного участка длина его не должна превышать 1 400 м. Если анкерный участок частично расположен на кривой, то среднюю анкеровку смещают по возможности в сторону кривой.

После окончательной наметки мест анкеровок и нанесения условных обозначений с номерами и длинами анкерных участков составляют их спецификацию по той же форме, что и для станции, и указывают места средних анкеровок.

Затем производят нумерацию всех опор (опоры изолирующих сопряжений в нумерацию перегона не включаются), обозначение мест установки поперечных электрических соединений (пс), которые устанавливают по два на каждый анкерный участок на линиях переменного тока и примерно через каждые 200 м на линиях постоянного тока. Устанавливают и записывают в соответствующие графы таблицы пикеты всех опор двумя цифрами (т. е. указанием расстояний от двух соседних пикетов) и габариты опор. Установку опор на прямых участках пути следует проектировать на расстоянии 3,1 м от оси пути до переднего края опоры. При

установке опор на внутренней стороне кривых участков пути радиусом не менее 1 000 м это расстояние увеличивают до 3,2 м. В выемках опоры устанавливают за кюветом с габаритом 4,9 м.

9. РАСЧЕТ АНКЕРНОГО УЧАСТКА ПОЛУКОМПЕНСИРОВАННОЙ ЦЕПНОЙ ПОДВЕСКИ

В объем расчета анкерного участка цепной подвески входит построение монтажных кривых и таблиц для нагруженного и ненагруженного троса и контактного провода, а также определение натяжения нагруженного несущего троса при режиме гололеда с ветром и при режиме максимального ветра.

Расчет выполняют для одного анкерного участка на главном пути станции.

Перед тем как приступить к расчету, необходимо хорошо изучить по учебнику [1] пп. 5.4, 5.5, 5.6 и 5.9.

Расчет выполняют в следующем порядке:

1. Определяют расчетный (эквивалентный) пролет.
2. Определяют исходный режим.

Исходный расчетный режим (режим, при котором возможно наибольшее натяжение несущего троса) определяют по величине критического пролета $l_{кр}$.

Для полукомпенсированной подвески будем иметь

$$l_{кр} = (T_{max} + K) \sqrt{\frac{24\alpha(t_{гл} - t_{min})}{q_{гл}^2 - g^2 + \frac{2gK(q_{гл} - g)}{T_0}}}. \quad (22)$$

В выражении (22) неизвестно, чему равно T_0 , но можно установить пределы, в которых эта величина может изменяться, а тем самым установить пределы для $l_{кр}$. Очевидно, что $T_0 < T_{max}$ с другой стороны:

$$T_0 > T_{max} - \alpha ES(t_0 - t_{min}). \quad (23)$$

Если принять $T_0 = T_{\max}$ то, как видно из формулы (22), получим l больше действительного, т. е. $l_{\text{кр}1} > l_{\text{кр}}$. При обычных климатических условиях разница между $l_{\text{кр}1}$ и $l_{\text{кр}}$ не превосходит 4–5%. Поэтому если действительный пролет больше $l_{\text{кр}1}$, то можно подставить второе значение T_0 из формулы (23). При этом получим $l_{\text{кр}1} < l_{\text{кр}}$. Если действительный пролет меньше $l_{\text{кр}2}$, то исходным будет режим наинизшей температуры.

3. Определяют точное значение натяжения несущего троса при беспровесном положении контактного провода T_0 .

Выбрав температуру беспровесного положения t_0 , после подстановки значений величин T_{\max} , K_1 , t_1 , q_1 , l , для исходного режима можно получить значение T_0 , решая уравнение состояния:

$$t_0 = t_1 + \frac{T_{\max} - T_0}{\alpha ES} - \frac{l^2}{24\alpha} \left[\frac{\left(q_1 + g \frac{K_1}{T_0} \right)^2}{(T_{\max} + K_1)^2} - \frac{g^2}{T_0^2} \right].$$

В этом уравнении неизвестным является T_0 , которое определяют методом подбора.

4. Определяют натяжения нагруженного несущего троса в зависимости от температуры для расчетного пролета.

Зависимость натяжений несущего троса от температуры $T_x(t_x)$ определяется по уравнению состояния (5.54) [1].

В расчетах удобнее задаваться различными значениями T_x (6–7 значений) и вычислять соответствующую этому натяжению температуру t_x .

Полученные результаты сводят в таблицу и представляют в виде графика $T_x(t_x)$ (рис. 9).

При решении уравнений состояния рекомендуется значения произведений αES и 24α и обратных им величин брать из табл. 12 [4], но с учетом единиц измерения и системе СИ.

5. Определяют натяжения несущего троса при наибольших дополнительных нагрузках.

Наибольшими дополнительными нагрузками для контактной сети могут быть гололед с ветром или ветер максимальной интенсивности. Расчет ведут по уравнению состояния. Полученные значения T_{Γ} и $T_{\text{умax}}$ наносят на график (рис. 9) в виде точек.

6. Определяют стрелы провеса несущего троса и контактных проводов для действительного пролета.

Вычисленные для эквивалентного пролета натяжения несущего троса в функции температуры будут соответствовать натяжениям троса для всех действительных пролетов, входящих в данный анкерный участок, но стрелы провеса несущего троса и контактного провода разных длин пролетов будут разные.

В курсовом проекте стрелы провеса несущего троса и контактного провода в функции температуры следует находить (согласно условию) для одного из действительных пролетов расчетного анкерного участка.

Стрелу провеса несущего троса цепной подвески определять по формулам [1, п. 5.4] в зависимости от конструкции подвески.

Величины натяжений троса T_x , брать из таблиц или графиков, вычисленных для l_3 .

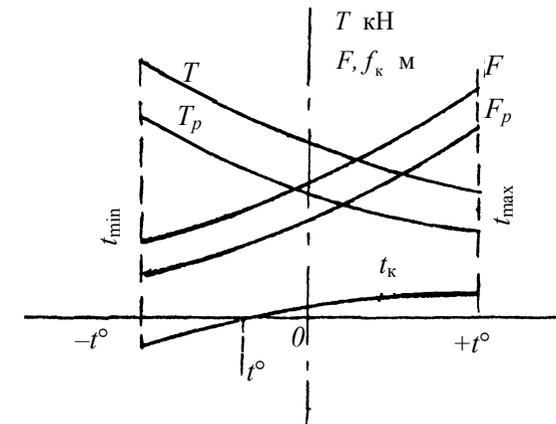


Рис. 9

Стрелы провеса контактных проводов определяют по формуле (5.40) [1].

Полученные результаты сводятся в табл. 4

Таблица 4

$t_x, ^\circ\text{C}$	T_x, kH	l_d	
		$F_x, \text{м}$	$F_{kx}, \text{м}$

Примечание. В курсовом проекте для гололедного режима максимального ветра f_k можно не определять, при подвеске с двумя контактными проводами f_k определять сразу для двух проводов.

7. Определяют натяжения и стрелы провеса ненагруженного несущего троса.

Натяжение ненагруженного несущего троса в зависимости от температуры определяют для эквивалентного пролета по уравнению состояния простой подвески, за исходный режим принимают режим беспровесного положения контактного провода.

Стрелы провеса ненагруженного троса определяют по уравнению (5.83) [1] для действительного пролета.

Результаты расчета сводят в табл. 5

Таблица 5

$t_x, ^\circ\text{C}$	H_x, kH	$F_p, \text{м}$

В расчете цепных подвесок с двумя контактными проводами при одновременной их раскатке и подвешивании необходимо построить монтажные кривые натяжения несущего троса с одним контактным проводом в функции температуры.

Методика решения этой задачи достаточно хорошо описана в п. 5.9. учебника [1] и дополнительных пояснений не требует.

10. ПОДБОР ТИПОВЫХ ОПОР ДЛЯ ПЕРЕГОНА

Для перегона должны быть подобраны опоры анкерные, переходные, промежуточные на прямых и кривых участках, а также опоры средней анкеровки.

Все опоры контактной сети должны подбираться из серии типовых опор, указанных в табл. 26 и 35 [4]. Только в исключительных случаях допускается устройство специальных опор.

Подбор типовых опор производится как по высоте, так и по изгибающему моменту в основании опоры. Расчет ведется при наиболее тяжелом для опоры режиме и комбинации нагрузок.

Для компенсированных цепных подвесок дополнительной нагрузкой могут быть режим гололеда с ветром или ветер максимальной интенсивности.

На электрифицированных дорогах РФ преимущественное распространение получили центрифугированные конические железобетонные опоры с предварительно напряженной арматурой.

В качестве анкерных опор могут быть использованы железобетонные опоры СК, СКУ или СП с нормативным моментом, равным $80 \text{ кН} \cdot \text{м}$, и с установкой оттяжек.

Для переходных опор, кроме момента у основания опор, должен быть также определен момент у пяты консоли. Приближенно можно считать, что в месте крепления пяты консоли типовые опоры допускают момент, равный половине момента, допускаемого у основания опоры.

При подборе фиксирующих опор, промежуточных и переходных опор с однопутными консолями следует ориентироваться на железобетонные конические центрифугированные опоры типа СК длиной 13,6 м с нормативным моментом 40, 50, 60 и $80 \text{ кН} \cdot \text{м}$, устанавливаемые без фундаментов и лежней.

При расположении промежуточных консольных опор на кривых участках пути необходимо учесть дополнительные горизонтальные усилия от изменения направления несущего троса и контактного провода. Поэтому для участков пути с малым радиусом закругления наиболее тяжелым режимом может быть ветер максимальной интенсивности с направлением к центру кривой.

При составлении расчетных схем могут быть приняты размеры, данные на рис. 10.

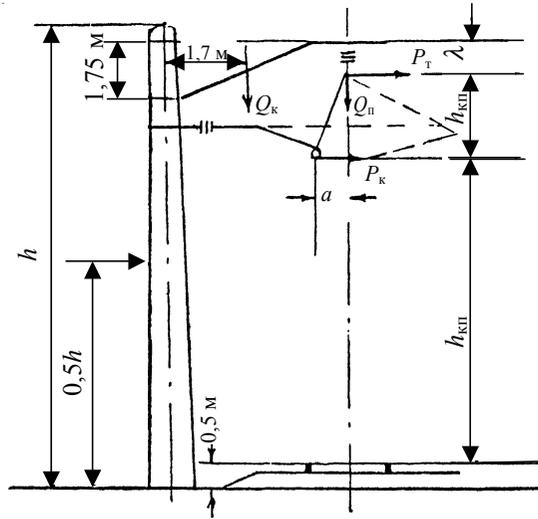


Рис. 10

- Q_n — сила тяжести цепной подвески с изоляторами и фиксатором, кН;
- Q_k — сила тяжести консоли с тягой, кг. В расчете можно принять силу тяжести консоли без гололеда равной 0,50 кН при переменном токе (изолированные консоли) и 0,60 кН при постоянном токе, а с гололедом — 0,87 кН независимо от системы тока;
- P — нажатие ветра па опору;
- P_t — суммарная горизонтальная нагрузка от нажатия ветра, действующая на несущий трос, кН;
- P_k — суммарная горизонтальная нагрузка от нажатия ветра, действующая на контактные провода;
- λ — длина гирлянды изоляторов (для двух ПФ6-А $\lambda = 0,56$, для трех — 0,73 м);
- h_k — конструктивная высота контактной подвески ($h_k = 1,8$ м).

Расчетные схемы для всех типов опор вычерчивают на листе.

Нажатие ветра (в кН) на опору определяют по формуле

$$P = c_x \frac{V^2}{16} F_p,$$

где c_x — аэродинамический коэффициент (для плоских опор $c_x = 1,4$, для цилиндрических $c_x = 0,7$);

F_p — расчетная площадь.

Для цилиндрических опор F_p принимается равной площади диаметрального сечения:

$$F_p = (0,5 \div 0,6) \left(\frac{a+b}{2} \right) h,$$

где a — размер сечения опоры в верхней части, равный 0,29 м;

b — то же на уровне земли — 0,44 м;

h — высота опоры, м.

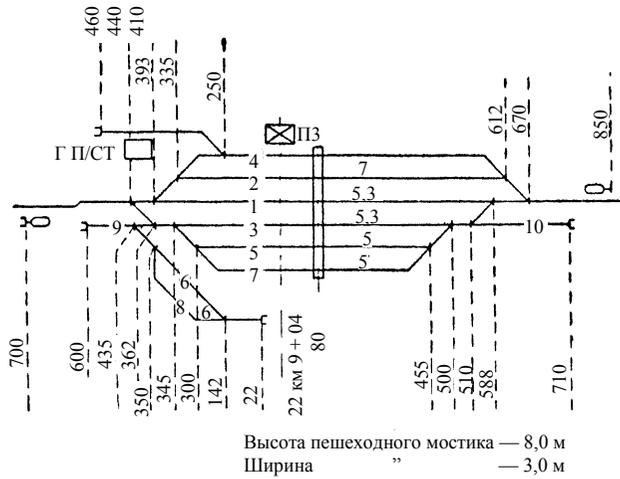
По окончании подбора всех опор их типы указывают на листах трассировок контактной сети. Далее составляют спецификации опор на перегоне и станции по следующим показателям и форме:

Типы опор				
Количество				

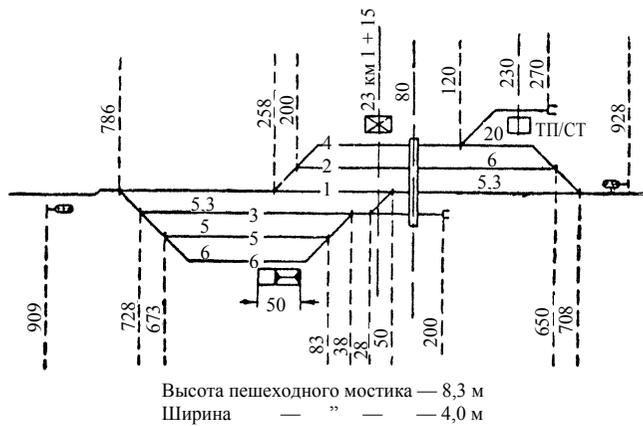
Эти спецификации также помещают на листах.

СХЕМА СТАНЦИЙ

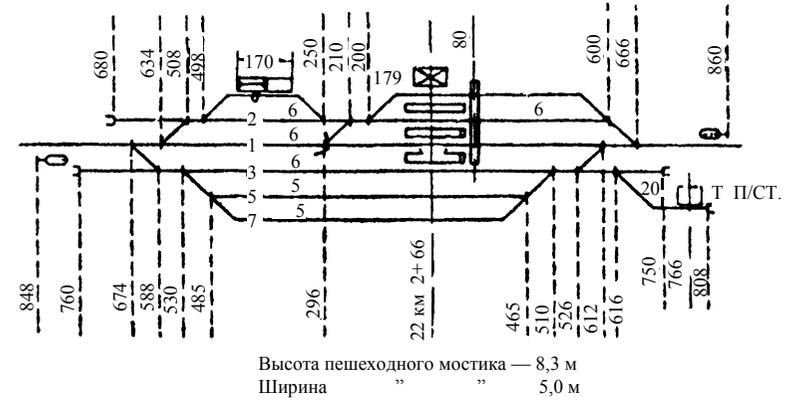
02, 22, 42, 62, 82



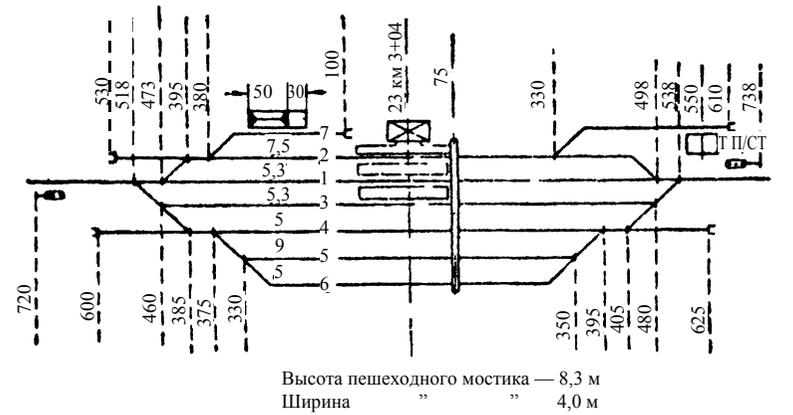
01, 21, 41, 61, 81



18, 38, 58, 78, 98

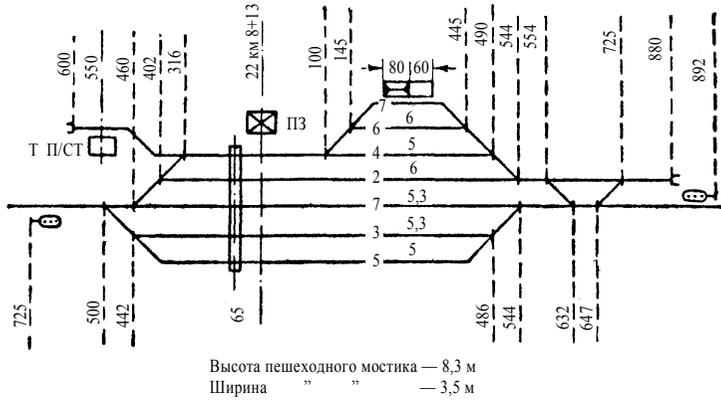


09, 29, 49, 69, 89



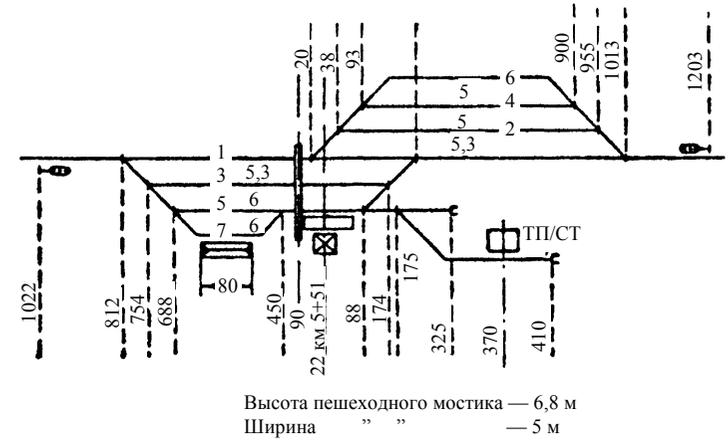
Приложение

03, 23, 43, 63, 83,



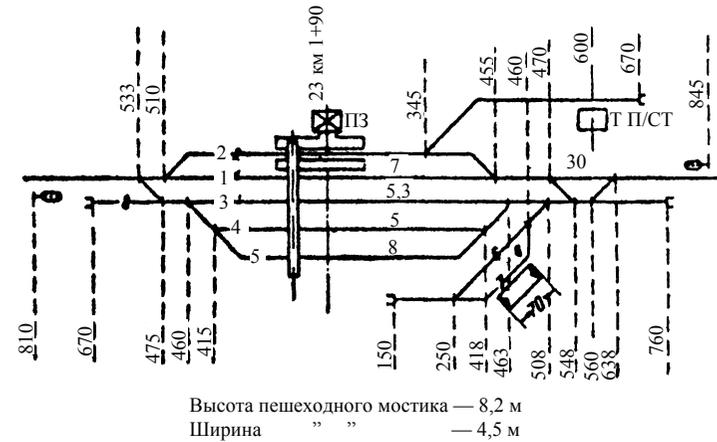
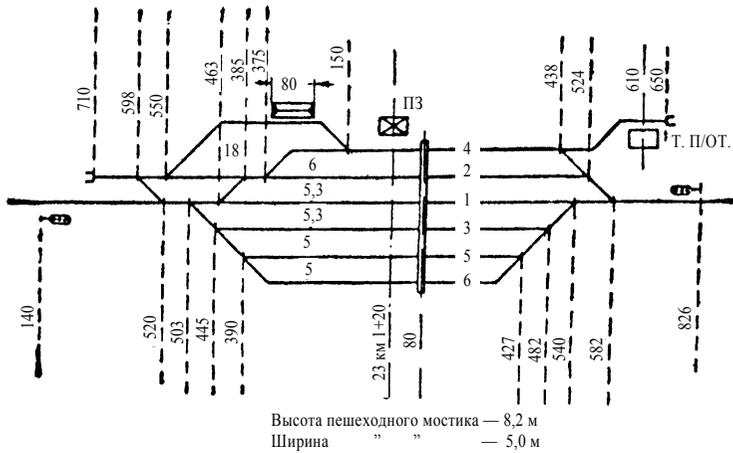
Приложение

12, 32, 52, 72, 92



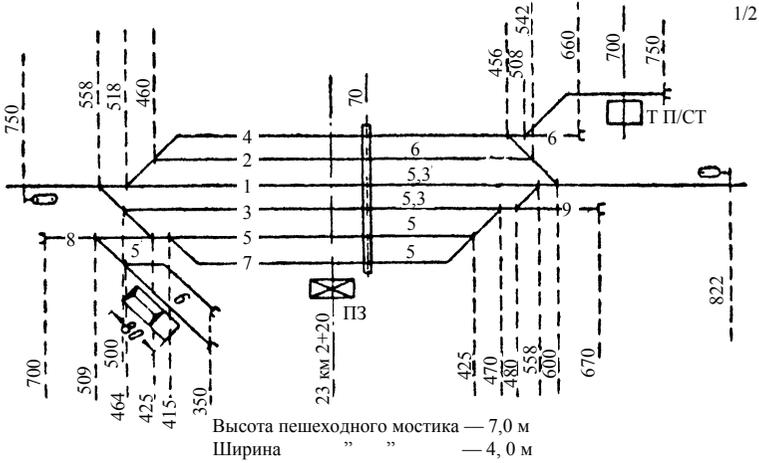
15, 35, 55, 75, 95

11, 31, 51, 71, 91

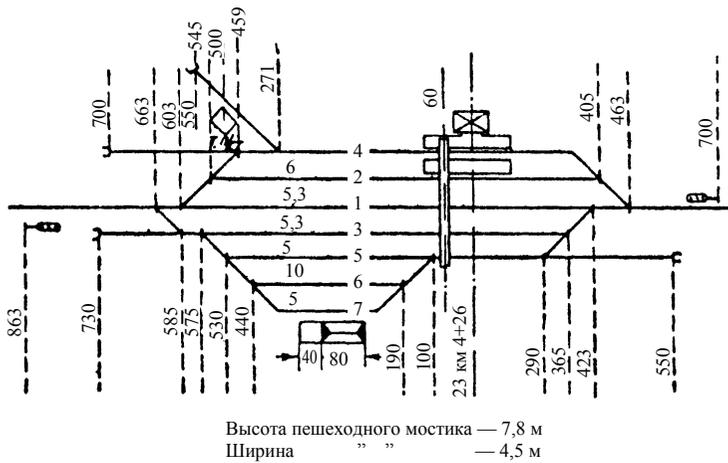


Приложение

19, 39, 59, 79, 99

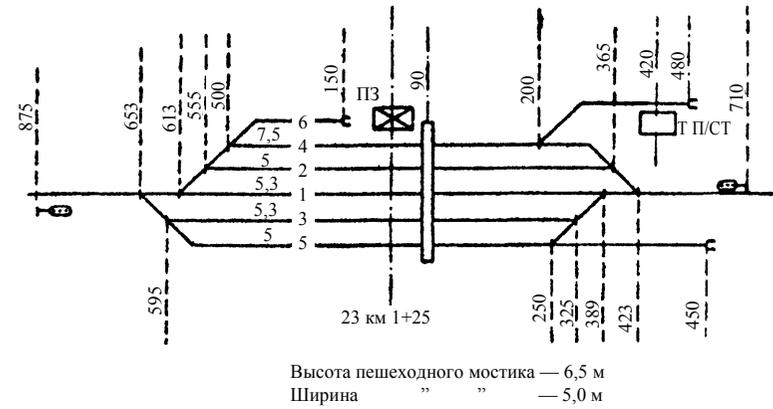


08, 28, 48, 68, 88

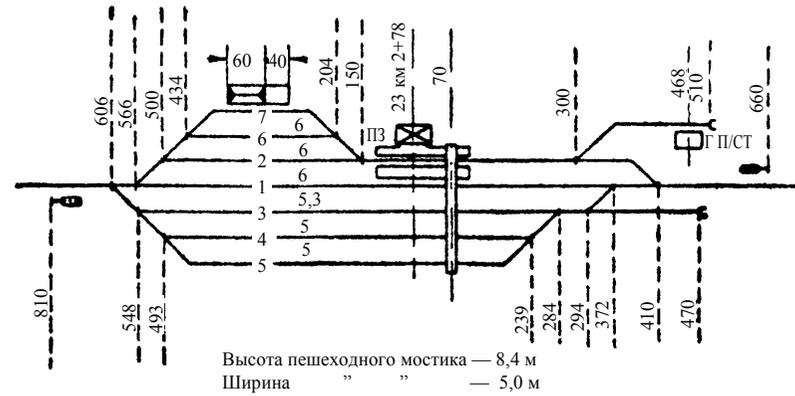


Приложение

17, 37, 57, 77, 97



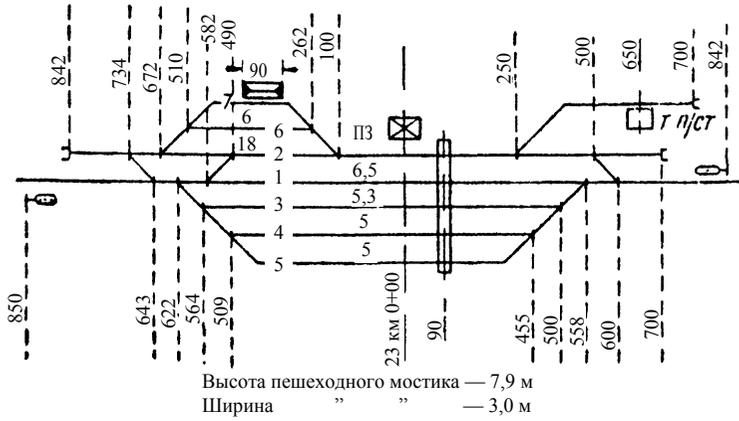
16, 36, 56, 76, 96



Приложение

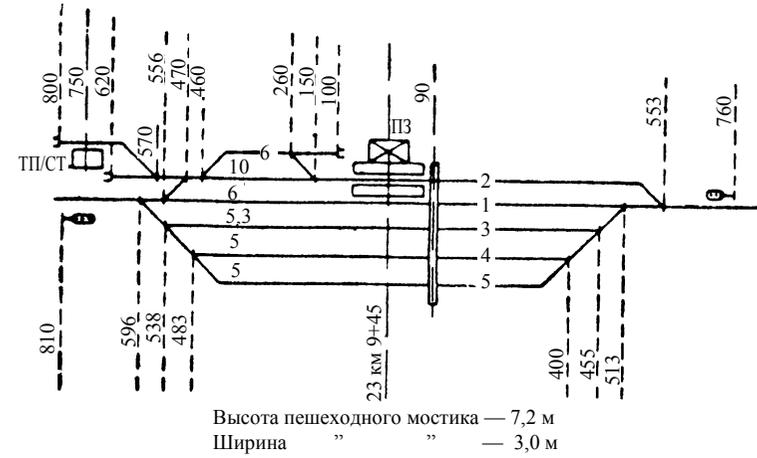
00, 20, 40, 60, 80

1/2



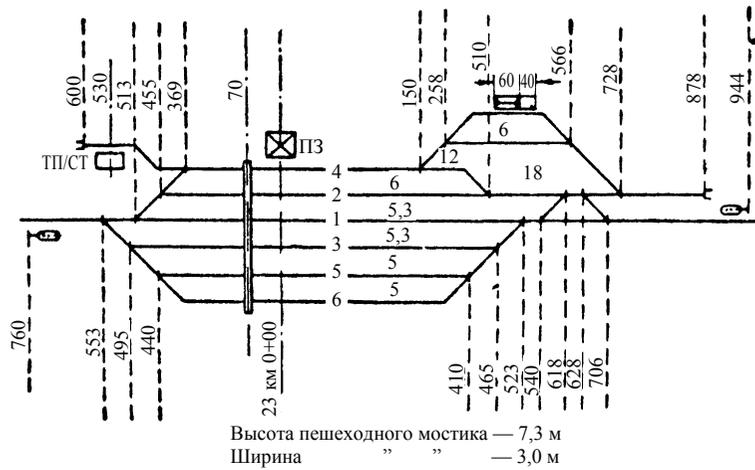
Приложение

13, 33, 53, 73, 93

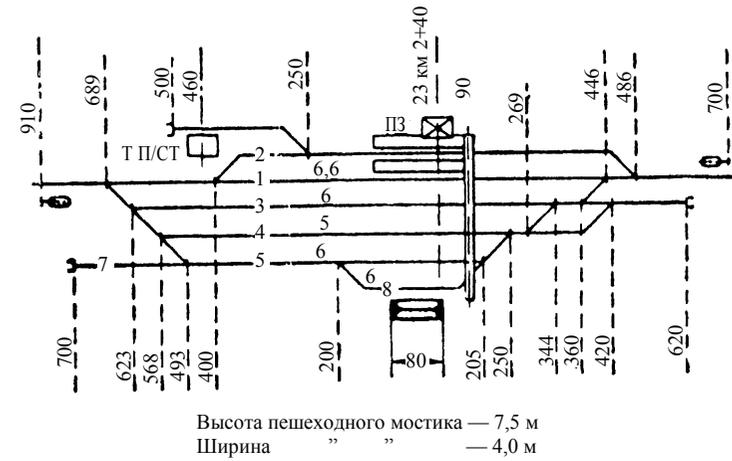


14, 34, 54, 74, 94

05, 25, 45, 65, 85



54



55

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Марквардт К.Г., Власов И.И. Контактная сеть. — М.: Транспорт, 1977. — 271 с.

Дополнительная

2. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел А. Гл. 39. Железные дороги колеи 1 520 мм. Нормы проектирования (СНиП, П-А, гл. 39). — М.: Транспорт, 1977. — С. 50–55.

3. Правила технического обслуживания и ремонта контактной сети электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт, 1981. — С. 70.

4. Фрайфельд А.В. Проектирование контактной сети. — М.: Транспорт, 1984. — 327 с.

Д-р техн. наук, проф. ДЕМЧЕНКО А.Т.

КОНТАКТНЫЕ СЕТИ И ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями

Редактор *В.И. Чучева*
Компьютерная верстка *Г.Д. Волкова*

Тип. зак.	Изд. зак. 81	Тираж 700 экз.
Подписано в печать 24.03.04	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 3,5		Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр РГОТУПС,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПС, 125993, Москва, Часовая ул., 22/2