

**Калужский филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения  
императора Александра I»**

**Методические указания для выполнения  
курсового проекта  
по профессиональному модулю**

**ПМ.01. Техническое обслуживание оборудования электрических  
подстанций и сетей**

МДК 01.02. Устройство и техническое обслуживание сетей  
электрообеспечения

*Контактная сеть*

программы подготовки специалистов среднего звена  
по специальности СПО

*13.02.07 Электрообеспечение (по отраслям)*

Базовая подготовка

## ***1. Цель курсового проектирования.***

Каждый учащийся специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), выполняет курсовой проект. Курсовое проектирование по теме 2.3 Контактная сеть имеет цель развить у студентов умение применять полученные знания при решении практических вопросов, закрепить знания по теме и навыки самостоятельной творческой работы, подготовить студента к выполнению дипломного проектирования.

Курсовой проект выполняется после соответствующих разделов теоретического курса, обеспечивающих достаточные знания для самостоятельной работы над проектом

## **2. Тематика курсового проектирования.**

Для курсового проектирования предусматривается тема «Контактная сеть электрифицируемого участка железной дороги».

Руководителю курсового проекта предоставляется возможность вносить изменения в исходные данные, а также в перечень вопросов, которые должны решить студенты.

Студенту могут выполнить курсовой проект или часть его реального характера для каждого – либо предприятия или по развитию кабинетов техникума.

Курсовые проекты выполняются строго по заданию, все изменения вносятся только руководителем проекта.

### **3. Содержание курсового проекта.**

Курсовой проект, выполненный в полном объеме состоит из расчетно-пояснительной записки, объемом 15-20 страниц и графической части.

#### **Пояснительная записка.**

- 3.1. Введение.
- 3.2. расчёт нагрузок действующих на подвеску.
- 3.3. Расчёт максимально-допустимых длин пролётов.
- 3.4. Обоснование схемы питания и секционирования, трассировки контактной сети станции и перегона.
- 3.5. Подсчёт стоимости сооружения контактной сети анкерного участка перегона.
- 3.6. Описание технологии текущего или капитального ремонта заданного узла контактной сети.
- 3.7. Охрана труда.
- 3.8. Безопасность движения.

В разделе «Введение» к курсовому проекту следует отразить развитие энергетики нашей страны на данный период, перспективы развития электрификации, дать краткую характеристику особенностей контактной сети постоянного или однофазного переменного тока, дать описание своего типа подвески.

#### **Графическая часть.**

- 3.8. Схема питания и секционирование контактной сети станции.
- 3.9. Монтажный план контактной сети станции.
- 3.10. Монтажный план контактной сети перегона.
- 3.11. Схема заданного узла контактной сети.

### **4. Задание на курсовой проектирование.**

Выбор исходных данных происходит в соответствии с вариантом.

#### **Примечание:**

1. Остальные стрелки станции имеют марку крестовины 1-9.
2. Ширина пешеходного моста 4м.
3. Пассажирские платформы расположены симметрично оси П.З. длина 400 м.
4. Гололёд цилиндрической формы с удельным весом  $0,9 \text{ г-см}^3$

#### 4.1. Характеристика цепной подвески.

Таблица 1

№ вар.	Несущий трос	Контактный провод	Система тока	Конструктивная высота	Тип консоли	Количество изоляторов
1	2	3	4	5	6	7
1	М-120	БрФ-100	постоянный	2,2	изолированная	нет
2	М-120	НлФ-100	постоянный	2,4	неизолированная	2
3	М-95	МФ-100	постоянный	2	неизолированная	2
4	М-95	НлФО-100	постоянный	2,2	изолированная	нет
5	М-95	БрФ-100	постоянный	1,8	неизолированная	2
6	М-120	МФ-150	постоянный	2,4	неизолированная	2
7	М-95	НлФ-100	постоянный	2,6	неизолированная	2
8	М-95	2МФ-100	постоянный	2,2	неизолированная	2
9	М-120	2МФ-100	постоянный	2,4	неизолированная	2
10	М-95	2НлФ-100	постоянный	2,2	неизолированная	2
11	М-95	МФО-100	постоянный	2	неизолированная	2
12	ПБСМ-95	2БрФ-100	постоянный	2,4	неизолированная	2
13	М-120	МФ-100	постоянный	1,8	неизолированная	2
14	М-120	2МФ-100	постоянный	2,6	неизолированная	2
15	ПБСМ-70	БрФ-100	переменный	1,8	неизолированная	3
16	ПБСМ-70	МФ-100	переменный	1,6	неизолированная	3
17	ПБСМ-95	НлФ-100	переменный	2	неизолированная	3
18	М-95	МФО-100	переменный	2	изолированная	нет
19	М-95	БрФ-100	переменный	2,2	изолированная	нет
20	ПБСМ-70	МФ-150	переменный	1,8	изолированная	нет
21	ПБСМ-70	МФО-100	переменный	1,6	изолированная	нет
22	ПБСМ-95	МФО-100	переменный	2	изолированная	нет
23	ПБСМ-95	БрФ-100	переменный	2,2	изолированная	нет
24	ПБСМ-95	БрФО-100	переменный	1,8	изолированная	нет
25	ПБСМ-70	БрФ-100	переменный	1,6	изолированная	нет
26	ПБСМ-70	БрФО-100	переменный	2	изолированная	нет
27	М-95	МФ-100	переменный	2,2	изолированная	нет
28	М-95	МФ-85	переменный	1,8	изолированная	нет
29	М-120	МФ-100	постоянный	2,4	неизолированная	2
30	М-120	МФ-150	постоянный	2,6	неизолированная	2
31	М-120	НлФ-100	постоянный	2,2	неизолированная	2
32	М-95	НлФО-100	постоянный	2	неизолированная	2
33	ПБСМ-95	МФ-150	постоянный	2,2	неизолированная	2
34	ПБСМ-95	2БрФ-100	постоянный	2,6	неизолированная	2
35	ПБСМ-95	МФ-100	постоянный	2,4	неизолированная	2

#### 4.2. Метеорологические условия.

#### Трассировка контактной сети на станции.

Таблица 2

Варианты	Марки стрелок примыкающих к гл.п	Расстояние до Т. П. От оси I-го пути	Высота переходного мостика	Ветровой район	Гололёд. район
1	2	3	4	5	6
1.	IV1	70	7	V	I
2.	IV8	80	7,5	III	II
3.	IV8	100	7,8	IV	III
4.	IV1	120	8	I	II
5.	IV1	60	6,8	II	I
6.	IV8	90	8,5	III	II
7.	IV1	70	7,8	IV	III
8.	IV8	90	7,4	III	II
9.	IV1	80	8	IV	III
10.	IV1	100	8,4	V	II

## 5. Методические указания по выполнению курсового проекта.

### 5.1. Методика расчёта нагрузок.

В курсовом проекте производится расчёт нагрузок для всех метеорологических условий. Отдельно считаются нагрузки для контактного провода и несущего троса.

Расчёт нагрузок производится для следующих условий:

а) Защищённые от ветра места - принимается, что подвеска защищена от ветра на станции (строениями) и на перегоне в выемке. Кроме того следует учитывать, что на станции применяются различные подвески на главных и боковых путях. На главных путях (см. задание) такая же, как и на перегоне, а на боковых тип подвески ПБСМ - 70 + МФ - 85. (Трасса А.)

б) Места с нормальным ветровым воздействием. (Трасса А,Б.)

в) Незащищенные от ветра места - имеются в виду места, где возможно возникновение автоколебаний, насыпь высотой более 5 метров. (Параметры задаются преподавателем).

Расчёт нагрузок в различных режимах можно вести в следующем порядке.

5.1.1. Вес контактного провода  $g_k$ , и вес несущего троса  $g_t$  определяется в зависимости от марки провода по таблицам. Наиболее удобно пользоваться таблицами учебника "Контактная сеть" авторов Горошков Ю.И. и Бондарев Н.А. М.: Транспорт 1990. 400 с. в дальнейшем [1]. Данные проводов помещены на страницах 26, таблица 1 для контактного провода и страница 33, таблицы 5 и 6 для несущих тросов заданных марок.

5.1.2. В режиме минимальной температуры несущий трос воспринимает нагрузку только вертикальную - от собственного веса контактной подвески; ветра и гололёда нет,  $t_x = t_{min}$ .

Вертикальная нагрузка от собственного веса 1-го погонного метра проводов в даН/м определяется по формуле:

$$g_o = g_t + n (g_k + g_e),$$

где:

$n$  - число контактных проводов.

$g_e$  - нагрузка от собственного веса струн и зажимов, равномерно распределённая по длине пролёта принимается равной 0,05 даН/м для каждого провода.

5.1.3. В режиме максимального ветра на несущий трос и контактный провод действуют, как вертикальная (на несущий трос), так и горизонтальные нагрузки от давления ветра (на несущий трос и контактный провод), гололёд отсутствует;  $t_x = t_v \max = - 5^\circ \text{C}$ .

Горизонтальная ветровая нагрузка на несущий трос в даН/м определяется по формуле:

$$P_{t v \max} = C_x * (K_v V_n)^2 / 16 * d/1000,$$

где:

$C_x$  - аэродинамический коэффициент лобового сопротивления несущего троса ветру, определяется по таблице на с.105. [1].

$V_n$  - нормативная скорость ветра наибольшей интенсивности, м/с, с повторяемостью 1 раз в 10 лет. с. 102. т. 17. [1].

$d$  - диаметр несущего троса, мм. с. 33. т. 5 или 6.[1].

$K_v$  - коэффициент, учитывающий порывистость ветра.

При выполнении курсового проекта коэффициент  $K_v$  рекомендуется принимать учитывая условия трассы по таблице:

Таблица 5

Условия трассы	Наибольшая допустимая длина пролёта L, м	Характеристика	Скорость ветра, м/с, в ветровых районах				
			I	II	III	IV	V
А (K = 1,0)	70	Районы сплошной застройки, лесные массивы, выемки глубиной более 7м	22	25	29	32	36
Б (K = 1,15)	60	Незащищенные от ветра места: равнины, выемки глубиной до 7м, насыпи высотой до 5м и в лесных массивах до 10м	25	29	33	37	42
В (K = 1,25)	50	Насыпи высотой от 5 до 10 м открытой местности и от 10 до 25м в лесных массивах, поймы рек, овраги	27	31	36	40	45
Г (K = 1,35)	40	Насыпи эстакады и мосты высотой более 10м открытой местности и более 25м в лесных массивах	30	34	39	43	49

Горизонтальная ветровая нагрузка на контактный провод в даН/м определяется по формуле:

$$P_{kv \max} = C_x * (K_v V_n)^2 / 16 * H/1000,$$

где:

$C_x$  - аэродинамический коэффициент лобового сопротивления контактного провода ветру, определяется по таблице на с.105. [1].

При выполнении курсового проекта коэффициент  $C_x$  рекомендуется принимать:

Таблица 6

Для несущего троса контактной подвески с учётом зажимов и струн и одиночного контактного провода -	1,25
Для одиночного овального контактного провода -	1,15
Для одиночного контактного провода сечением 150мм <sup>2</sup> -	1,3
Для двойных контактных проводов -	1,85

$H$  - высота контактного провода. с. 26. т. 1. [1].

Результирующая (суммарная) нагрузка на несущий трос в даН/м определяется по формуле:

$$q_{tv \max} = \sqrt{g_{t0}^2 + P_{tv \max}^2},$$

При определении результирующей нагрузки на несущий трос ветровая нагрузка на контактные провода не учитывается, т.к. она в основном воспринимается фиксаторами.

5.1.4. В режиме гололёда с ветром на несущий трос действуют вертикальные нагрузки от собственного веса проводов контактной подвески, от веса гололёда на проводах и струнах и горизонтальная нагрузка от давления ветра на несущий трос, покрытый гололёдом. при скорости ветра  $V_r$ :  $t_x = t_r = - 5^\circ C$ .

Вертикальная нагрузка от веса гололёда на несущем тросе в даН/м определяется по формуле:

$$g_{tr} = n_r * 0,009 * \Pi * b_r * (d + b_r),$$

где:

$n_r$  - коэффициент перегрузки можно принять:

$n_r = 0,75$  - для защищённых участков контактной сети. (Выемка)

$n_r = 1$  - для нормальных условий контактной сети. (Станция, кривая)

$n_r = 1,25$  - для не защищённых участков контактной сети. (Насыпь)

$b_T$  - толщина стенки гололёда на несущем тросе, мм.;

$d$  - Диаметр несущего троса, мм.;

$\Pi$  - 3,14

Толщина стенки гололёда  $b_T$  на несущем тросе определяется путём умножения нормативной для данного района толщины  $b_n$  на поправочные коэффициенты:  $K_{r'}$ , учитывающий диаметр несущего троса и  $K_{r''}$  - коэффициент учитывающий высоту расположения контактной подвески над уровнем земли.

$$b_T = b_n * K_{r'} * K_{r''},$$

где:

$b_n$  - нормативная толщина стенки гололёда, мм.

Нормативную толщину стенки гололёда принимают в зависимости от гололёдного района России по таблице:

Таблица 7

Район России по гололёду	I	II	III	IV	V
Нормативная толщина гололёда, $b_n$ , мм.	5	10	15	20	25

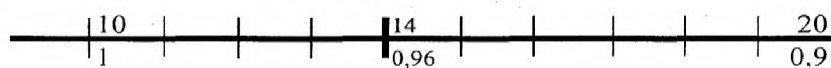
Поправочный коэффициент  $K_{r'}$  принимают в зависимости от диаметра провода следующим:

Таблица 8

Диаметр провода, троса, мм	5	10	20	30
Поправочный коэффициент :	1,1	1	0,9	0,8

Например:

Для несущего троса марки М -120, диаметром 14 мм. поправочный коэффициент будет равен 0,96.



Поправочный коэффициент  $K_{r''}$  принимают в зависимости от вида поверхности следующим:

Выемка глубиной, м	
7 и более	0,6
5	0,75
Участки защищенные лесом, зданиями, станционными постройками	0,8
Нулевые места, насыпи до 5-ти метров, выемки	1
Насыпи высотой, м.	
5	1,1
10	1,3
15	1,35

Вертикальная нагрузка от веса гололёда на контактном проводе в даН/м определяется по формуле:

$$g_{KT} = n_r * 0,009 * \Pi * b_K * (d_K + b_K),$$

где:

$b_K$  - толщина стенки гололёда на контактном проводе, мм.;

На контактных проводах толщину стенки гололёда принимают равной 50% от толщины стенки гололёда на несущем тросе:

$$b_K = 0,5 * b_T$$

$d_K$  - средний диаметр контактного провода, мм.

$$d_K = 0,5 * (H + A)$$

где:

**H** и **A** - соответственно высота и ширина сечения контактного провода, мм.

Полная вертикальная нагрузка от веса гололеда на проводах контактной подвески в даН/м определяется по формуле:

$$g_{\Gamma} = g_{\Gamma\Gamma} + n (g_{\text{кг}} + g_{\text{сг}}),$$

где:

$g_{\text{сг}}$  - равномерно распределенная по длине пролета вертикальная нагрузка от веса гололеда на струнах и зажимах при одном контактном проводе, даН/м, которая в зависимости от толщины стенки гололёда  $b_{\text{н}}$  составляет:

Таблица 9

$b_{\text{н}}$ , мм.	5	10	15	20
$g_{\text{сг}}$ , даН/м.	0,01	0,03	0,06	0,1

Горизонтальная ветровая нагрузка на несущий трос, покрытый гололёдом в даН/м определяется по формуле:

$$P_{\Gamma\Gamma} = C_x * (K_v V_{\Gamma\Gamma})^2 / 16 * (d + 2b_{\Gamma}) / 1000,$$

где:

$V_{\Gamma\Gamma}$  - нормативная скорость ветра при гололёде, м/с.

Нормативная скорость ветра при гололёде  $V_{\Gamma\Gamma}$ , м/с. можно принять по таблице:

Таблица 10

Ветровой район России	I	II	III	IV	V
Нормативная скорость ветра при гололёде $V_{\Gamma\Gamma}$ , м/с.	13	14	15	18	19

Результирующая (суммарная) нагрузка на несущий трос в даН/м определяется по формуле:

$$q_{\Gamma} = \sqrt{(g_0 + g_{\Gamma})^2 + P_{\Gamma\Gamma}^2}.$$

После расчета всех нагрузок на различных участках пути составляется таблица следующего образца:

Таблица 11

Участок местности	Нагрузки действующие на контактную подвеску
Станция	<b>Заполняется на основе расчетов</b>
Главные пути	
Боковые пути	
Перегон	
Выемка, $h =$ м.	
Нормальные усл.	
Насыпь, $h =$ м.	



### Расчёт нагрузок на провода контактной подвески.

Пример: Определить нагрузки на провода контактной сети.

Категория трассы: А

Тип подвески: Рессорная, полукомпенсированная на станции и компенсированная на перегоне.

Несущий трос:

Контактный провод:

Система тока - переменный, однофазный, промышленной частоты.

Конструктивная высота подвески, м. - 2

Тип консоли - изолированная

Метеорологические условия:

Ветровой район - III

Район территории по гололёду - II

Станция.		Перегон.		
Главные пути:	Боковые пути:	Выемка:	Насыпь:	Н.у.(кривая):

1. Определим нагрузку от собственного веса несущего троса. (см. табл. 6.)

Введите:  $g_{\tau} =$   даН/м        0,774    0,774    0,774

2. Определим нагрузку от собственного веса контактного провода. (см. табл. 1.)

Введите:  $g_{\kappa} =$   даН/м        0,89    0,89    0,89

3. Нагрузка от веса струн.

Введите:  $g_{\sigma} =$   даН/м        0,05    0,05    0,05

Вертикальная нагрузка от собственного веса 1-го погонного метра проводов в даН/м определяется по формуле:

Введите:  $n =$          1    1    1

Результат расчёта:  $g_o =$  1,714 даН/м    1,403    1,714    1,714    1,714

4. В режиме максимального ветра на несущий трос и контактный провод действуют, как вертикальная, так и горизонтальные нагрузки от давления ветра.

4.1. Горизонтальная ветровая нагрузка на несущий трос в даН/м определяется по формуле:

$$P_{\tau v \max} = C_x * (K_v V_n)^2 / 16 * d / 1000,$$

Введите:  $C_x =$          1,25    1,25    1,25  
 $K_v =$          1,25    1    1  
 $V_n =$   м/с    25    25    25    25  
 $d =$   мм        12,5    12,5    12,5

Результат расчёта:  $P_{\tau v \max} =$  0,61 даН/м    0,537    0,22    0,954    0,61

4.2. Горизонтальная ветровая нагрузка на контактный провод в даН/м определяется по формуле:

$$P_{\kappa v \max} = C_x * (K_v V_n)^2 / 16 * H / 1000,$$

Введите:  $C_x =$          1,25    1,25    1,25  
 $H =$   мм        11,8    11,8    11,8

Результат расчёта:

$$P_{kv \max} = 0,576 \text{ даН/м} \quad 0,527 \quad 0,207 \quad 0,9 \quad 0,576$$

4.3. Результирующая (суммарная) нагрузка на несущий трос в даН/м определяется по формуле:

$$q_{tv \max} = \sqrt{g_o^2 + P_{tv \max}^2},$$

Результат расчёта:

$$q_{tv \max} = 1,82 \text{ даН/м} \quad 1,50 \quad 1,73 \quad 1,96 \quad 1,82$$

5. В режиме гололёда с ветром на несущий трос действуют вертикальные нагрузки от собственного веса проводов контактной подвески, от веса гололёда на проводах и струнах и горизонтальная нагрузка от давления ветра на несущий трос, покрытый гололёдом при скорости ветра  $V_r$ :  $t_x = t_r = -5^\circ \text{C}$ .

5.1. Вертикальная нагрузка от веса гололёда на несущем тросе в даН/м определяется по формуле:

$$g_{тг} = n_{г} * 0,0009 * \Pi * b_{т} * (d + b_{т}),$$

где:

$$b_{т} = b_{н} * K_{г'} * K_{г''},$$

Введите:

$$\begin{aligned} n_{г} &= 1 \\ b_{н} &= 5 \text{ мм} \\ K_{г'} &= 0,975 \\ K_{г''} &= 0,8 \end{aligned}$$

1	0,75	1,25	1
5	5	5	5
0,99	0,975	0,975	0,975
0,8	0,75	1,1	1

Результат расчёта:

$$b_{т} = 4 \text{ мм} \quad 4 \quad 4 \quad 5 \quad 5$$

Результат расчёта:

$$g_{тг} = 0,181 \text{ даН/м} \quad 0,167 \quad 0,125 \quad 0,338 \quad 0,239$$

5.2. Вертикальная нагрузка от веса гололёда на контактном проводе в даН/м определяется по формуле:

$$g_{кг} = n_{г} * 0,0009 * \Pi * b_{к} * (d_{к} + b_{к}),$$

где:

$$b_{к} = 0,5 * b_{т}$$

Результат расчёта:

$$b_{к} = 2,0 \text{ мм} \quad 2,0 \quad 1,8 \quad 2,7 \quad 2,4$$

$$d_{к} = 0,5 * (H + A)$$

Введите:

$$A = 12,81 \text{ мм} \quad 11,76 \quad 12,81 \quad 12,81 \quad 12,81$$

Результат расчёта:

$$d_{к} = 12,3 \text{ мм} \quad 11,3 \quad 12,3 \quad 12,31 \quad 12,31$$

Результат расчёта:

$$g_{кг} = 0,08 \text{ даН/м} \quad 0,07 \quad 0,055 \quad 0,142 \quad 0,102$$

5.3. Полная вертикальная нагрузка от веса гололёда на проводах контактной подвески в даН/м определяется по формуле:

$$g_{г} = g_{тг} + n_{г} g_{кг},$$

Гололёд на струнах цепной подвески не учитываем.

Результат расчёта:

$$g_{г} = 0,26 \text{ даН/м} \quad 0,24 \quad 0,18 \quad 0,48 \quad 0,34$$

5.4. Горизонтальная ветровая нагрузка на несущий трос, покрытый гололёдом в даН/м определяется по формуле:

$$P_{тг} = C_x * (K_v V_{гн})^2 / 16 * (d + 2b_{т}) / 1000,$$

Введите:

$$V_{гн} = \boxed{15} \text{ м/с} \quad 15 \quad 15 \quad 15 \quad 15$$

Результат расчёта:

$$P_{тг} = 0,357 \text{ даН/м} \quad 0,333 \quad 0,125 \quad 0,638 \quad 0,391$$

5.5. Результирующая (суммарная) нагрузка на несущий трос в даН/м определяется по формуле:

$$q_{г} = \sqrt{(g_0 + g_{г})^2 + P^2_{тг}}$$

Результат расчёта:

$$q_{г} = 2,005 \text{ даН/м} \quad 1,678 \quad 1,898 \quad 2,285 \quad 2,092$$

5.6. Горизонтальная ветровая нагрузка на контактный провод, покрытый гололёдом в даН/м определяется по формуле:

$$P_{кг} = C_x * (K_v V_{г})^2 / 16 * (H + 2i * b_{к}) / 1000,$$

Результат расчёта:

$$P_{кг} = 0,276 \text{ даН/м} \quad 0,259 \quad 0,098 \quad 0,471 \quad 0,293$$

Результаты расчета нагрузок на различных участках пути сведём в таблицу :

Таблица 12

Участок местности	Нагрузки действующие на контактную подвеску											
	g т	g к	g с	g <sub>0</sub>	P <sub>т в</sub>	P <sub>к в</sub>	q <sub>т в</sub>	P <sub>тг</sub>	P <sub>кг</sub>	g <sub>тг</sub>	g <sub>кг</sub>	q <sub>г</sub>
Станция	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м	даН/м
Глав. пути	0,774	0,89	0,05	1,714	0,61	0,576	1,82	0,357	0,276	0,181	0,08	2,005
Боков. пути	0,598	0,755	0,05	1,403	0,537	0,527	1,50	0,333	0,259	0,167	0,07	1,678
Перегон												
Выемка	0,774	0,89	0,05	1,714	0,22	0,207	1,73	0,125	0,098	0,125	0,05	1,898
Насыпь	0,774	0,89	0,05	1,714	0,954	0,9	1,96	0,638	0,471	0,338	0,14	2,285
Н.у.(кривая)	0,774	0,89	0,05	1,714	0,61	0,576	1,82	0,391	0,293	0,239	0,10	2,092

## 5.2. Определение максимально - допустимых длин пролетов.

Длина пролёта контактной подвески определяется исходя из максимального возможного ветрового отклонения контактного провода от оси пути. Это отклонение не должно быть более 500 мм для прямых и 450 мм для кривых участков пути.

По условиям токосяёма длина пролёта не должна быть больше 70 м.

Расчет длин пролётов ведется отдельно для главных и боковых путей станции и для всех участков перегона:

- Участки с минимальным ветровым воздействием (выемка)
- Участки с нормальным ветровым воздействием ( прямая и две кривых )
- Участки с повышенным ветровым воздействием (насыпь, высотой более 5 м.)

В работе используются приближенные формулы метода динамического расчёта допустимых длин прлётов:

$$L_{\max} = 2 \sqrt{\frac{K}{P_k} [ b_{\text{к доп.}} - \gamma_k + \sqrt{(b_{\text{к доп.}} - \gamma_k)^2 - a^2} ]}$$

На кривых:

$$L_{\max} = 2 \sqrt{\frac{2K}{P_k + K/R} (b_{\text{к доп.}} - \gamma_k + a)}$$

где:

**K** - номинальное натяжение контактных проводов, даН;

Значение натяжение контактных проводов принимают в зависимости от марки проводов:

МФ - 85	850
БрФ - 85	950
МФ - 100, МФО - 100, НЛОл0,04Ф - 100	1000
БрФ - 100, БрФО - 100	1300
МФ - 150, НЛОл0,04Ф - 150	
НЛОл0,04ФО - 150	1500
БрФ - 150, БрФО - 150	1800
2МФ - 100, 2МФО - 100, 2НЛОл0,04Ф - 100	2000
2БрФ - 100, 2БрФО - 100	2600

**b<sub>к доп.</sub>** - наибольшее допустимое горизонтальное отклонение контактных проводов от оси токоприёмника в пролёте; **b<sub>к доп.</sub> = 0,5 м** - на прямых и **b<sub>к доп.</sub> = 0,45** - на кривых;

**a** - зигзаг контактного провода, **a = 0,3 м** - на прямых и **a = 0,4 м** - на кривых;

**P<sub>к</sub>** - ветровая нагрузка на контактный провод, даН/м;

**γ<sub>к</sub>, γ<sub>т</sub>** - упругий прогиб опоры, м. взять из таблицы при соответствующей скорости ветра, **V<sub>max</sub>**.

Таблица 13

V <sub>max</sub> , м/с	до 25	30	35	40
γ <sub>к</sub> , м	0,01	0,015	0,022	0,03
γ <sub>т</sub> , м	0,015	0,022	0,03	0,04

**R** - радиус кривой, м.

Далее определяем среднюю длину струны по формуле:

$$S_{cp} = h - 0,115 \frac{g_0 L^2_{\max}}{T_0}$$

где:

**h** - конструктивная высота подвески;

$g_0$  - нагрузка на несущий трос от веса всех проводов цепной подвески;  
 $T_0$  - натяжение несущего троса при беспровесном положении контактного провода.  
 Значение ориентировочно можно принимать равным  $0,75T_{max}$  - для медного несущего троса и  $0,8T_{max}$  - для биметаллического и стального.

Натяжение несущего троса  $T_{max}$ , даН, - можно принять по таблице:

Таблица 14

Марка провода	Некомпенсированный трос		Компенсированный трос
	$T_{max}$	$T_0$	$T_{max} = T_0 = T_{ном} = const$
М - 120	2000	1500	1800
ПБСМ - 95	2000	1600	1600 - 1800
ПБСА - 50/70	2000	1600	1600 - 1800
С - 70	2000	1600	2000
М - 95	1600	1200	1450
ПБСМ - 70	1600	1280	1000 - 1500

Удельная эквивалентная нагрузка, учитывающая взаимодействие несущего троса и контактного провода при ветровом их отклонении, даН/м, определяется по формуле:

$$P_{\Sigma} = \frac{P_k * T - P_T * K - (8 * K * T / L_{max}^2) * (h_{и} * P_T / q_T + \gamma_T - \gamma_K)}{T + K + 10,6 S_{cp} * K * T / g_k * L_{max}^2}$$

где:

- $T$  - натяжение несущего троса контактной подвески в расчетном режиме, даН/м;
- $P_T$  - ветровая нагрузка на несущий трос, даН/м;
- $g_T$  - результирующая нагрузка на несущий трос, даН/м;
- $h_{и}$  - длина подвесной гирлянды изоляторов, м.

Длину гирлянды изоляторов, м., можно принять:

0,16 м (длина серьги и седла) при изолированных консолях; 0,56 м при двух подвесных изоляторах в гирлянде, 0,73 м при трёх, 0,90 м при четырёх изоляторах.

$L_{max}$  - длина пролета, м.

Окончательно определяем длину пролета с учетом удельной эквивалентной нагрузки по формулам:

на прямой:

$$L_{max}' = 2 \sqrt{\frac{K}{P_k - P_{\Sigma}} \left[ b_{к доп.} - \gamma_K + \sqrt{(b_{к доп.} - \gamma_K)^2 - a^2} \right]}$$

на кривых:

$$L_{max}' = 2 \sqrt{\frac{2K}{P_k - P_{\Sigma} + K/R} (b_{к доп.} - \gamma_K + a)}$$

При выполнении курсового проекта следует помнить, что длина пролёта  $L_{max}$  и  $L_{max}'$  не должны отличаться более чем на 5%, по этому приходится выполнять уточняющий расчёт, определив снова  $P_{\Sigma}$  и  $S_{min}$ .

Если длина пролёта  $L_{max}$  и  $L_{max}'$  получились более 70 метров дальнейшее уточнение расчёта не имеет смысла.

После расчета пролётов на различных участках пути составляется таблица

следующего образца:

Таблица 15

Участок местности		Lmax	Scp	Pэ	Lmax'
Станция	Главные пути	<b>Заполняется на основе расчетов</b>			
	Боковые пути				
Перегон	Выемка, h = м.				
	Нормальные усл.				
	Насыпь, h = м.				
	Кривая, R <sub>1</sub> = м.				
Кривая, R <sub>2</sub> = м.					

### Определение максимально - допустимых длин пролетов.

Расчет длин пролетов ведется отдельно для главных и боковых путей станции и для всех участков перегона:

- Участки с минимальным ветровым воздействием (выемка)
- Участки с нормальным ветровым воздействием ( прямая и две кривых )
- Участки с повышенным ветровым воздействием (насыпь, высотой более 5 м.)

1. Определим длину пролёта на станции.

Главные пути	Боковые пути	выемка	насыпь
--------------	--------------	--------	--------

$$L_{\max} = 2 \sqrt{\frac{K}{P_k} \left[ b_{\text{к доп.}} - \gamma_k + \sqrt{(b_{\text{к доп.}} - \gamma_k)^2 - a^2} \right]}$$

Введите:

K =	<input type="text" value="1000"/>	кН
b <sub>к доп.</sub> =	<input type="text" value="0,5"/>	м
γ <sub>к</sub> =	<input type="text" value="0,01"/>	м
a =	<input type="text" value="0,3"/>	м

850	1000	1000
0,5	0,5	0,5
0,01	0,01	0,01
0,3	0,3	0,3

Результат расчета:

L <sub>max</sub> =	78,05 м	75,21 м	130,1 м	62,44 м
--------------------	---------	---------	---------	---------

2. Определяем среднюю длину струны.

$$S_{cp} = h - 0,115 \frac{g_0 L^2_{\max}}{T_0}$$

Введите:

h =	<input type="text" value="2"/>	м
T <sub>0</sub> =	<input type="text" value="1800"/>	кН

2	2	2
1280	1500	1500

Результат расчета:

S <sub>cp</sub> =	1,3 м	1,3 м	-0,2 м	1,5 м
-------------------	-------	-------	--------	-------

3. Определяем удельную эквивалентную нагрузку, учитывающую взаимодействие несущего троса и контактного провода при ветровом их отклонении, даН/м.

$$P_3 = \frac{P_k * T - P_T * K - (8 * K * T / L^2_{\max}) * (h_n * P_T / q_T + \gamma_T - \gamma_k)}{T + K + 10,6 S_{cp} * K * T / g_k * L^2_{\max}}$$

Введите:

T <sub>max</sub> =	<input type="text" value="2000"/>	кН
γ <sub>т</sub> =	<input type="text" value="0,015"/>	м
h <sub>н</sub> =	<input type="text" value="0,73"/>	м

1600	1500	1500
0,015	0,015	0,015
0,73	0,16	0,16

Результат расчета:

P <sub>3</sub> =	<input type="text" value="-0,000000001"/>	даН/м	главный путь
P <sub>3</sub> =	<input type="text" value="-0,000000001"/>	даН/м	боковой путь
P <sub>3</sub> =	<input type="text" value="-0,000000001"/>	даН/м	выемка
P <sub>3</sub> =	<input type="text" value="0,000000001"/>	даН/м	насыпь

4. Определяем длину пролета с учетом удельной эквивалентной нагрузки

$$L_{\max} = 2 \sqrt{\frac{K}{P_k - P_3} [b_{\text{к доп.}} - \gamma_k + \sqrt{(b_{\text{к доп.}} - \gamma_k)^2 - a^2}]}$$

Результат расчета:

$$L_{\max} = \quad \approx \quad 83,32 \text{ м} \quad \quad \quad 80,3 \text{ м} \quad \quad \quad 138,9 \text{ м} \quad \quad \quad 66,66 \text{ м}$$

5. Определим длину пролёта на кривых.

Введите:

Радиус кривой:  $R_1 = \boxed{800} \text{ м}$        $R_2 = \boxed{1000} \text{ м}$

$$L_{\max} = 2 \sqrt{\frac{2K}{P_k + K/R} (b_{\text{к доп.}} - \gamma_k + a)}$$

Введите:

$b_{\text{к доп.}} = \boxed{0,45} \text{ м.}$        $\boxed{0,45} \text{ м.}$   
 $a = \boxed{0,4} \text{ м.}$        $\boxed{0,4} \text{ м.}$

Результат расчета:

$$L_{\max} = \quad \quad \quad 60,66 \text{ м.} \quad \quad \quad 70,69 \text{ м.}$$

6. Определяем среднюю длину струны на кривых.

$$S_{cp} = h - 0,115 \frac{g_0 L^2_{\max}}{T_0}$$

Введите:

$h = \boxed{2} \text{ м}$        $\boxed{2} \text{ м}$   
 $T_0 = 1500 \text{ кН}$        $1500 \text{ кН}$

Результат расчета:

$$S_{cp} = \quad \quad \quad 1,5 \text{ м} \quad \quad \quad 1,3 \text{ м}$$

7. Определяем удельную эквивалентную нагрузку, учитывающую взаимодействие есушего троса и контактного провода при ветровом их отклонении, на кривых, даН/м.

$$P_3 = \frac{P_k * T - P_T * K - (8 * K * T / L^2_{\max}) * (h_{и} * P_T / q_T + \gamma_T - \gamma_K)}{T + K + 10,6 S_{cp} * K * T / g_K * L^2_{\max}}$$

Результат расчета:

$$P_3 = \boxed{0,000000001} \text{ даН/м} \quad \quad \quad P_3 = \boxed{0,000000001} \text{ даН/м}$$

8. Определяем длину пролета с учетом удельной эквивалентной нагрузки а кривых:

$$L_{\max}' = 2 \sqrt{\frac{2K}{P_k - P_3 + K/R} (b_{\text{к доп.}} - \gamma_k + a)}$$

Результат расчета:

$$L_{\max}' = \quad \quad \quad 60,66 \text{ м.} \quad \quad \quad 70,69 \text{ м.}$$

После расчета пролётов на различных участках пути составляется таблица



следующего образца:

Таблица 16

Участок местности			Lmax	Scp	Lmax'
Станция	Главные пути		78,05	1,3	83,32
	Боковые пути		75,21	1,3	80,3
Перегон	Выемка, м	h = 5	130,1	-0,2	138,9
	Нормальные условия				
	Насыпь, м	h = 5	62,44	1,5	66,66
	Кривая, м	R <sub>1</sub> = 800	60,66	1,5	60,66
	Кривая, м	R <sub>2</sub> = 1000	70,69	1,3	70,69

Задание на контрольную работу № 1:

Выполнить механический расчёт анкерного участка цепной полукompенсированной контактной подвески.

1. Установить основные данные проводов подвески.
  2. Определить расчётные нагрузки на несущий трос.
  3. Подсчитать длину эквивалентного и критических пролётов и установить исходный расчётный режим.
  4. Расчитать и построить монтажную кривую натяжений несущего троса; определить значения натяжений несущего троса при всех расчётных режимах  $T_{tmin}$ ,  $T_g$ ,  $T_{vmax}$  и при температуре беспровесного положения контактных проводов  $T_0$ . Составить монтажную таблицу.
  5. Расчитать и построить монтажные кривые стрел провеса несущего троса и контактных проводов для заданных пролётов анкерного участка; составить монтажные таблицы. Монтажные таблицы должны содержать данные натяжений и стрел провеса при следующих значениях температуры  $t_x$ :  $t_{min}$ ;  $-20^\circ$ ;  $t_0$ ;  $0^\circ$ ;  $+20^\circ$ ;  $t_{max}$ .
  6. Составить итоговую монтажную таблицу. Сделать выводы о характере зависимости натяжения несущего троса и стрел провеса несущего троса и контактных проводов от температуры при её изменении от  $t_{min}$  до  $t_{max}$  и о зависимости стрел провеса от длины пролёта.
- Исходные данные для контрольной работы выбираются по таблице 17 и 18 в соответствии с первой буквой фамилии студента и последней цифрой его шифра.

Характеристика контактной подвески

Таблица 17

Первая буква фамилии студента	Контактная подвеска состоит из:		Система тока	Анкерный участок состоит из пролётов, м	Расстояние от опоры до первой простой струны e, м
	несущего троса	контактных проводов			
А, П	ПБСМ-70	МФ - 100	Переменный	$8 * 70 + 8 * 66 + 6 * 63$	15
Б, Р	ПБСМ-70	МФО - 100		$9 * 70 + 10 * 65 + 3 * 60$	
В, С	ПБСМ-70	НЛОл-0,04Ф-100		$10 * 70 + 4 * 67 + 5 * 60$	14
Г, Т		НЛОл-0,04Ф-100		$8 * 70 + 12 * 65 + 2 * 62$	
Д, У		МФ - 100		$12 * 65 + 10 * 60 + 2 * 65$	10
Е, Ф		БРФ - 100		$10 * 68 + 8 * 62 + 2 * 54$	
Ж, Х	ПБСМ-95	МФ - 100		$10 * 65 + 7 * 60 + 6 * 50$	
З, Ц	ПБСМ-95	МФО - 100		$10 * 70 + 2 * 68 + 10 * 65$	15
И, Ч	ПБСМ-95	БРФ - 100		$12 * 70 + 6 * 65 + 3 * 60$	
К., Ш	М-95	2МФ - 100		Постоянный	$11 * 70 + 8 * 65 + 2 * 50$
Л, Щ	М-95	2МФО - 100	$9 * 70 + 10 * 66 + 3 * 63$		
М, Э	М-120	2НЛОл-0,04Ф-100	$10 * 68 + 7 * 65 + 4 * 60$		10
Н, Ю	М-120	2БРФ - 100	$8 * 65 + 6 * 60 + 7 * 55$		
О, Я	М-120	НЛОл-0,04Ф-100	$6 * 65 + 10 * 60 + 7 * 50$		

Примечание: Для всех вариантов принять, что конкретная подвеска расположена на перегоне, на нулевом месте, в открытой равнинной местности с редким лесом.

Расстояние между двойными контактными проводами принять равным 40 мм.

Метерологические условия

Таблица 18

Исходные данные	Последняя цифра шифра студента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Минимальная температура $t_{\min}, ^\circ\text{C}$	-40	-25	-45	-30	-50	-30	-45	-35	-25	-35
Максимальная температура $t_{\max}, ^\circ\text{C}$	25	45	30	25	20	25	25	30	35	35
Ветровой район	III	II	III	II	I	I	II	III	IV	V
Гололёдный район	II	III	I	IV	II	III	II	IV	I	III
Форма гололёда	Для всех вариантов цилиндрическая									
Удельная плотность гололёда $\gamma_g, \text{кг/м}^3$	Для всех вариантов - 900									
Температура образования гололёда $t_g, ^\circ\text{C}$	Для всех вариантов (-5)									
Температура при которой наблюдается максимальная скорость ветра $t_{v\max}, ^\circ\text{C}$	Для всех вариантов (+5)									
Характеристика воздушной газовой среды	Среднеагрессивная к железобетонным конструкциям					Неагрессивная к железобетонным конструкциям				

Определение натяжений нагруженного (контактным проводом) несущего троса в зависимости от температуры и построение монтажной кривой  $T_x(t_x)$ . Определение натяжений несущего троса при всех расчётных режимах и при температуре беспровесного положения контактных проводов. Составление монтажной таблицы.

### 10. Определение длины эквивалентного и критических пролётов и установление расчетного режима.

10.1. Длина эквивалентного пролёта, в м, определяется по формуле:

$$L_{\text{э}} = \sqrt{\frac{n_1 \cdot L_1^3 + n_2 \cdot L_2^3 + \dots + n_n \cdot L_n^3}{L_1 + L_2 + \dots + L_n}}$$

где:

$L$  - длина пролёта.

$n$  - число пролётов в анкерном участке

Для дальнейших расчетов полученную длину эквивалентного пролёта следует округлить до целого числа.

Расчёт эквивалентного пролёта следует выполнить для одного из анкерных участков расположенных на станции или по индивидуальному заданию.

10.2. Установление исходного расчетного режима.

Определим длину критического пролета  $L_{\text{кр}}$ :

для режима максимального ветра

$$L_{\text{кр.v.max}} = T_{\text{max}} \cdot \sqrt{\frac{24a \cdot (t_{v \text{ max}} - t_{\text{min}})}{q_{v \text{ max}}^2 - g^2}}$$

для режима гололёда с ветром

$$L_{\text{кр.г.}} = T_{\text{max}} \cdot \sqrt{\frac{24a \cdot (t_r - t_{\text{min}})}{q_r^2 - g^2}}$$

Расчет зависимости  $T_x(t_x)$  выполняется по уравнению состояния несущего троса цепной полукомпенсированной контактной подвески

$$t_x = \left( t_1 - \frac{q_1^2 \cdot L_{\text{э}}^2}{24a \cdot T_1^2} + \frac{T_1}{aES} \right) + \frac{q_x^2 \cdot L_{\text{э}}^2}{24a \cdot T_x^2} - \frac{T_x}{aES}$$

В уравнении состояния величины с индексом "1" относятся к исходному режиму, при котором  $T_1 = T_{\text{max}}$ :

а) если исходный расчётный режим - минимальная температура,

то  $T_1 = T_{\text{max}}$ ;  $t_1 = t_{\text{min}}$ ;  $q_1 = g$ ;

б) если исходный расчётный режим - гололёд с ветром,

то  $T_1 = T_{\text{max}}$ ;  $t_1 = t_r = -5^\circ\text{C}$ ;  $q_1 = q_r$ ;

в) если исходный расчётный режим - максимальный ветер,

то  $T_1 = T_{\text{max}}$ ;  $t_1 = t_v = +5^\circ\text{C}$ ;  $q_1 = q_{v \text{ max}}$ ;

Величины с индексом "x" в уравнении состояния - это искомые значения натяжения несущего троса  $T_x$  и соответствующие им значения температуры  $t_x$  и нагрузки  $q_x$ .

При расчёте зависимости натяжения несущего троса от температуры, без учёта дополнительных нагрузок, следует принять:  $q_x = g$ .

Для упрощения дальнейших расчётов уравнение состояния приведём к виду:

$$t_x = A + \frac{B}{T_x^2} - \frac{C}{T_x}$$

где **A, B, C** - постоянные для данного расчета коэффициенты:

$$A = t_1 - \frac{q_1^2 * L_э^2}{24a * T_1^2} + \frac{T_1}{aES},$$

$$B = \frac{q_x^2 * L_э^2}{24a},$$

$$C = aES$$

Подставляя в уравнение различные значения  $T_x$ , взятые с интервалом 200 даН, получают соответствующие им значения  $t_x$ . Начать следует с  $T_x = T_{max}$ . Расчет следует продолжать до тех пор, пока значениями  $t_x$  не будет охвачен весь заданный диапазон температур от  $t_{min}$  до  $t_{max}$  - в итоге будет получен ряд значений ( $T_x, t_x$ ), которые удобно свести в промежуточную таблицу. По этим результатам расчета нужно построить на листе миллиметровой бумаги кривую  $T_x(t_x)$  - монтажную кривую натяжения нагруженного (контактным проводом) несущего троса полукомпенсированной цепной подвески в зависимости от температуры.

При построении кривой  $T_x(t_x)$  рекомендуется принять масштаб:

по вертикали ( $T_x$ ) 10 мм - 100 даН;

по горизонтали ( $t_x$ ) 10 мм - 10°C, ось  $T_x$  следует провести через 0°C.

10.3 Определение натяжения несущего троса при беспросветном положении контактных проводов

Прежде всего следует определить температуру  $t_0$ , при которой контактный провод будет занимать беспросветное положение.

Для полукомпенсированной цепной подвески температуру  $t_0$  беспросветного положения контактных проводов обычно принимают несколько ниже (на величину  $t'$ ), чем среднее значение температуры в заданном районе. В связи с этим формула для определения температуры беспросветного положения контактных проводов может быть записана так:

$$t_0 = \frac{t_{max} + t_{min}}{2} - t',$$

где:  $t'$  - величина, зависящая от типа и количества контактных проводов;

Таблица 19

Для одиночных контактных проводов сечением 85 - 100 мм <sup>2</sup>	$t' = 15^\circ$
Для одиночных контактных проводов сечением 150 мм <sup>2</sup>	$t' = 10^\circ - 15^\circ$
Для двойных контактных проводов	$t' = 5^\circ - 10^\circ$

Величину натяжения несущего троса при беспросветном положении контактных проводов  $T_0$  проще всего определить по монтажной кривой натяжения несущего троса  $T_x(t_x)$  соответственно найденной температуре беспросветного положения контактных проводов  $t_0$ .

10.4 Составление монтажной таблицы натяжения несущего троса.

По монтажной кривой натяженияч нагруженного несущего троса  $T_x(t_x)$  определяют значения натяжения несущего троса, соответствующие заданным значениям  $t_x$ , и заносят их в

монтажную таблицу.

Таблица 20

$t_x, ^\circ\text{C}$	$t_{\min} = \dots$	-20	$t_0 = \dots$	0	20	$t_{\max} = \dots$
$T_x, \text{даН}$			$T_0 = \dots$			

Примечание:

1. Графа температуры беспровесного положения контактных проводов  $t_0$  в каждом варианте должна быть расположена в порядке повышения температуры слева на право.
2. Под монтажной таблицей следует указать найденные выше значения натяжений  $T$   $v_{\max}$ ,  $T_r$

## 11 Расчёт и построение монтажных кривых стрел провеса несущего троса и контактных проводов.

### 11.1 Определение стрел провеса нагруженного несущего троса.

Стрелы провеса нагруженного контактным проводом несущего троса  $F_x$  в м для каждого из заданных действительных пролётов, входящих в анкерный участок, определяют по формуле:

$$F_x = \frac{(g_x + g_0 * K / T_0) * (l - 2e)^2}{b (T_x + K)} + \frac{(g_x * l - g_{Tx} * e) e}{2 T_x}$$

В этой формуле:

$l$  - длина пролёта в м, для которого рассчитывается стрела провеса несущего троса;

$e$  - расстояние от опоры до первой простой (нерессорной) струны в м;

$K$  - натяжение контактного провода в даН;

$T_0$  - натяжение несущего троса при беспровесном положении контактных проводов в даН;

$T_x$  - натяжение несущего троса в даН, соответствующее температуре  $t_x$ , для которой рассчитывается значение стрелы провеса  $F_x$ ;

$g_0$  - вертикальная нагрузка на несущий трос от всех проводов цепной подвески при беспровесном положении контактных проводов в даН/м; т. е.  $g_0 = g$ ;

$g_x$  - вертикальная нагрузка на несущий трос от всех проводов цепной подвески, соответствующая расчетным условиям, даН/м

$g_{Tx}$  - нагрузка от веса несущего троса при расчетных условиях, даН/м.

Поскольку в данном расчёте определяются значения  $F_x$  в зависимости только от температуры, без учёта гололёда и максимального ветра, то  $g_x = g_0 = g$ ,  $g_{Tx} = g_T$ .

Из формулы следует, что расчёт стрел провеса несущего троса должен быть выполнен по этой формуле отдельно для каждой заданной длины пролёта и отдельно для каждой заданной температуры  $t_x$ , т.е. для соответствующих заданным температурам значений натяжений несущего троса  $T_x$ .

Значения  $T_x$ , соответствующие заданным температурам  $t_x$ , принимаются по составленной выше монтажной таблице натяжений несущего троса. Все прочие величины, кроме  $T_x$ , не зависят от температуры.

На основании итогов расчёта стрел провеса несущего троса нужно построить монтажные кривые стрел провеса несущего троса  $F_x(t_x)$ .

При построении кривых  $F_x(t_x)$  рекомендуется применять масштаб:

по вертикали ( $F_x$ ) 10 мм - 0,1 м;

по горизонтали ( $t_x$ ) 10 мм - 10 $^\circ\text{C}$ ;

ось  $F_x$  следует провести через 0 $^\circ\text{C}$

### 11.2 Определение стрел провеса контактных проводов.

Стрела провеса контактных проводов  $f_{KX}$  в м определяются по формуле :

$$f_{KX} = \frac{g_0 * (l - 2e)^2 * (T_0 - T_x)}{8 * T_0 * (T_x + K)}$$

Из формулы видно, что стрелы провеса контактных проводов должны быть определены в том же порядке, что и стрелы провеса несущего троса, т. е. отдельно для каждой заданной длины пролёта и отдельно для каждой заданной температуры  $t_x$  (для каждого значения  $T_x$ , соответствующего заданным значениям температуры  $t_x$ ).

По окончании расчётов стрел провеса контактных проводов следует себя проконтролировать, убедившись, что при  $t_x$  ниже  $t_0$   $f_{КХ}$  - отрицательны и тем больше, чем ниже температура;

что при  $t_x = t_0$   $f_{КХ} = 0$ ;

что при  $t_x$  выше  $t_0$   $f_{КХ}$  - положительны и тем больше, чем выше температура.

Если эта зависимость нарушена, значит в расчёте  $f_{КХ}$  есть ошибки.

На основании итогов расчёта стрел провеса контактных проводов  $f_{КХ}$  следует построить монтажные кривые стрел провеса контактных проводов  $f_{КХ}(t_x)$ .

При построении кривых  $f_{КХ}(t_x)$  рекомендуется применять масштаб:

по вертикали ( $f_{КХ}$ ) 10 мм - 0,01 м;

по горизонтали ( $t_x$ ) 10 мм - 10°C;

ось  $f_{КХ}$  следует провести через 0°C

## 12. Составление итоговой монтажной таблицы. Выводы из расчёта.

Получение для заданных значений  $t_x$  величины натяжения  $T_x$  и стрел провеса  $F_x$  несущего троса, а также стрел провеса контактных проводов  $f_{КХ}$  следует свести в итоговую монтажную таблицу.

Таблица 21

$t_x$	$T_x$	$l_1 = \dots M$		$l_2 = \dots M$		$l_3 = \dots M$	
		$F_x$	$f_{КХ}$	$F_x$	$f_{КХ}$	$F_x$	$f_{КХ}$
°C	даН	м	м	м	м	м	м
$t_{min} = \dots$							
-20							
$t_0 = \dots$							
0							
20							
$t_{max} = \dots$							

В выводах, как это указано в задании, необходимо пояснить, как изменяются натяжение несущего троса  $T_x$  и стрелы провеса несущего троса  $F_x$  и контактных проводов  $f_{КХ}$  полукомпенсированной контактной подвески при изменении температуры от  $t_{min}$  до  $t_{max}$ .

Выводы должны быть сделаны на основании анализа помещенной выше итоговой монтажной таблицы, в которой изменение всех перечисленных параметров контактной подвески при изменении температуры окружающего воздуха представлено наглядно.

При формировании выводов необходимо особое внимание уделить описанию изменения стрел провеса контактных проводов при изменении температуры, указав как изменяется стрела провеса контактных проводов  $f_{КХ}$  при изменении температуры:

от  $t_{min}$  до  $t_0$ ;

от  $t_0$  до  $t_{max}$ ;

какой будет  $f_{КХ}$  при  $t_x = t_0$ .

Кроме этого следует указать, как влияет длина пролёта на величины  $F_x$  и  $f_{КХ}$ .

## 10. Определение длины эквивалентного и критических пролётов и установление расчетного режима.

10.1. Длина эквивалентного пролёта в м определяется по формуле:

$$L_{\text{э}} = \sqrt{\frac{n_1 * L_1^3 + n_2 * L_2^3 + \dots + n_n * L_n^3}{L_1^3 + L_2^3 + \dots + L_n^3}}$$

Введите:

L1 =	70	м	n1 =	5
L2 =	62	м	n2 =	10
L3 =	58	м	n3 =	8
L4 =	0	м	n4 =	0
L5 =	0	м	n5 =	0

Результат расчетов:

$$L_{\text{э}} = 62,8 \text{ м}$$

Длина анкерного участка

$$L_{\text{ау}} = 1434 \text{ м}$$

10.2. Определим длину критического пролета  $L_{\text{кр}}$  для режима максимального ветра

$$L_{\text{кр.v.max}} = T_{\text{max}} * \sqrt{\frac{24a * (t_{\text{v.max}} - t_{\text{min}})}{q_{\text{v.max}}^2 - g^2}}$$

Введите:

a =	13,3	$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	1E-05
Tmax =	16	кН	
tr =	-5	$^\circ\text{C}$	
tmin =	-50	$^\circ\text{C}$	
tvmax =	5	$^\circ\text{C}$	
qr =	2,42	даН/м	0,0242
qvmax =	1,7	даН/м	0,017
g =	1,54	даН/м	0,0154

Результат расчетов:

$$L_{\text{кр.v.max}} = 294,4 \text{ м}$$

для режима гололёда с ветром

$$L_{\text{кр.г.}} = T_{\text{max}} * \sqrt{\frac{24a * (t_r - t_{\text{min}})}{q_r^2 - g^2}}$$

Результат расчетов:

$$L_{\text{кр.г.}} = 102,7 \text{ м}$$

10.3 Определим натяжение нагруженного (контактным проводом) несущего троса в зависимости от температуры по упрощенному уравнению состояния несущего троса.

$$t_x = A + \frac{B}{T_x^2} - \frac{T_x}{C}$$

10.3.1. Определим коэффициент "А"

$$A = t_1 - \frac{q_1^2 * L_{\text{э}}^2}{24a * T_1^2} + \frac{T_1}{aES},$$



Введите:

$t_1 =$	-50	°C	
$q_1 =$	1,54	даН/м	0,0154
$L_э =$	63	м	
$T_1 =$	16		
$E =$	175	ГПа	2E+08
$S =$	69,9		7E-05

Результат расчетов:

$$A = 36,8$$

10.3.2. Определим коэффициент "В"

$$B = \frac{q_x^2 * L_э^2}{24a}$$

Введите:

$q_x =$	1,54	даН/м	0,0154
---------	------	-------	--------

Результат расчетов:

$$B = 2949$$

10.3.3. Определим коэффициент "С"

$$C = a E S$$

Результат расчетов:

$$C = 0,163$$

10.4 Подставляя в уравнение состояния различные значения  $T_x$  определим соответствующие им температуры. Начиная с  $T_x = T_{max}$ , далее через один - два кН

Результат расчетов сведены в таблицу.

Таблица 22

Введите:

$T_x, \text{кН}$	16	14	12	11	10	9	8,5	8	7,5
$t_x, \text{°C}$	-50	-34,2	-16,5	-6,4	4,8	17,9	25,4	33,7	43,2

По полученным данным строим монтажную кривую  $T_x (t_x)$



11. Определяем натяжение несущего троса при дополнительных нагрузках:

11.1. В режиме гололёда с ветром.

Определим коэффициент  $B_{г}$ , полагая  $q_x = q_{г}$

$$B_{г} = \frac{q_x^2 * L_э^2}{24a}$$

Результат расчетов:

$$B_{г} = 7282$$

Расчёт производим методом подбора, задавая значениями  $T_x$  до получения температуры  $t_r = -5^\circ\text{C}$ .

Введите:

$$T_x = 13,41 \text{ кН}$$

Результат расчетов:

$$t_r = -5,11 \text{ }^\circ\text{C}$$

11.2. В режиме максимального ветра.

Определим коэффициент  $B_v$ , полагая  $q_x = q_v$ .

$$B_v = \frac{q'_x * L'_z}{24a},$$

Результат расчетов:

$$B_v = 3593$$

Расчёт производим методом подбора, задавая значениями  $T_x$  до получения температуры  $t_v = +5^\circ\text{C}$ .

Введите

$$T_x = 10,49 \text{ кН}$$

Результат расчетов:

$$t_v = 5,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

Полученные натяжения  $T_x$  в режимах гололёда с ветром и максимального ветра рекомендуется нанести на график  $T_x(t_x)$ .

11.3. Определение стрел провеса нагруженного несущего троса

$$F_x = \frac{(g_x + g_0 * K / T_0) * (l - 2e)^2}{8 (T_x + K)} + \frac{(g_x * l - g_{TX} * e) e}{2 T_x}$$

Введите:

$$\begin{aligned} K &= 10 && \text{кН} \\ T_0 &= 10,9 && \text{кН} \\ e &= 10 && \text{м} \\ g_{TX} &= 0,6 && \text{даН/м} \end{aligned}$$

	Результат расчетов при l = 58 м.								
$F_x =$	0,465	0,520	0,589	0,633	0,683	0,743	0,778	0,817	0,860
	Результат расчетов при l = 62 м.								
$F_x =$	0,530	0,591	0,669	0,717	0,773	0,840	0,878	0,921	0,969
	Результат расчетов при l = 70 м.								
$F_x =$	0,673	0,748	0,844	0,902	0,970	1,051	1,098	1,149	1,206
	Результат расчетов при l = 0 м.								
$F_x =$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Результат расчетов при l = 0 м.								
$F_x =$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

11.4. Определение стрел провеса контактных проводов.

$$f_{KX} = \frac{g_0 * (l - 2e)^2 * (T_0 - T_x)}{8 * T_0 * (T_x + K)}$$

	Результат расчетов при l = 58 м.								
$f_{KX} =$	-0,050	-0,033	-0,013	-0,001	0,011	0,026	0,033	0,041	0,050
	Результат расчетов при l = 62 м.								
$f_{KX} =$	-0,061	-0,040	-0,016	-0,001	0,014	0,031	0,040	0,050	0,061

Результат расчетов при  $l = 70$  м.

$$f_{\text{КХ}} = -0,087 \quad -0,057 \quad -0,022 \quad -0,002 \quad 0,020 \quad 0,044 \quad 0,057 \quad 0,071 \quad 0,086$$

Результат расчетов при  $l = 0$  м.

$$f_{\text{КХ}} = 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000$$

Результат расчетов при  $l = 0$  м.

$$f_{\text{КХ}} = 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000 \quad 0,000$$

Результаты расчетов сводим в таблицу :

Таблица 23

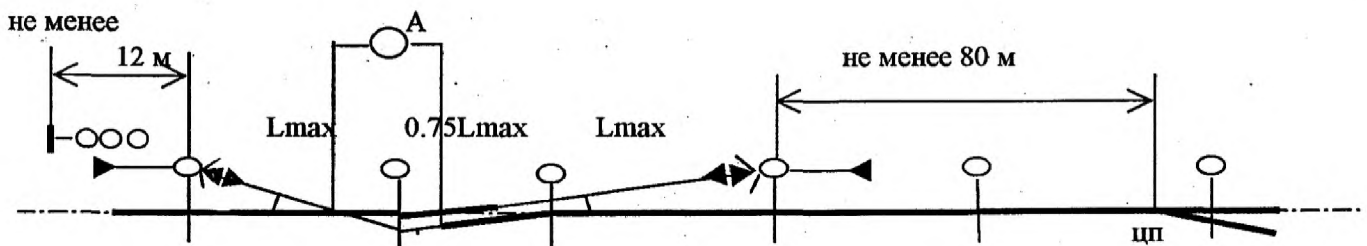
$t_x$	$T_x$	$l_1 = 58$		$l_2 = 62$		$l_3 = 70$		$l_4 = 0$		$l_5 = 0$	
		$F_x$	$f_{\text{КХ}}$	$F_x$	$f_{\text{КХ}}$	$F_x$	$f_{\text{КХ}}$	$F_x$	$f_{\text{КХ}}$	$F_x$	$f_{\text{КХ}}$
°С	даН	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м
-50	16	0,47	-0,050	0,53	-0,061	0,67	-0,087	0,000	0	0,000	0,000
-30	14	0,52	-0,033	0,59	-0,040	0,75	-0,057	0,000	0	0,000	0,000
-15	12	0,6	-0,013	0,67	-0,016	0,84	-0,022	0,000	0	0,000	0,000
-5	11	0,63	-0,001	0,72	-0,001	0,90	-0,002	0,000	0	0,000	0,000
5	10	0,68	0,011	0,77	0,014	0,97	0,020	0,000	0	0,000	0,000
10	9	0,74	0,026	0,84	0,031	1,05	0,044	0,000	0	0,000	0,000
20	8,5	0,78	0,033	0,88	0,040	1,10	0,057	0,000	0	0,000	0,000
30	8	0,82	0,041	0,92	0,050	1,15	0,071	0,000	0	0,000	0,000
40	7,5	0,86	0,050	0,97	0,061	1,21	0,086	0,000	0	0,000	0,000

## 6. Составление схемы питания и секционирования контактной сети.

Контактная сеть электрифицируемого участка для обеспечения надёжной работы и удобства её обслуживания делится на отдельные секции, электрически независимые друг от друга. Секционирование осуществляется изолирующими сопряжениями анкерных участков, секционными изоляторами, секционными разъединителями и врезными секционирующими изоляторами.

Продольное секционирование предусматривает отделение контактной сети станций от контактной сети перегонов по каждому главному пути, разделение контактной сети у постов секционирования и выделение крупных искусственных сооружений (мосты, тоннели) в отдельные секции.

Продольное секционирование осуществляется трёхпролётными изолирующими сопряжениями, которые располагаются между входным сигналом или знаком "Граница станции" и крайним стрелочным переводом.



На изолирующих сопряжениях устанавливаются шунтирующие их продольные секционные разъединители, обозначаемые заглавными буквами русского алфавита: А, Б, В ...

Секции контактной сети переменного тока, питающиеся от разных фаз, разделяют изолирующими сопряжениями с нейтральной вставкой, исключающей одновременное перекрытие токоприемником этих сопряжений. Нейтральные вставки представляют собой два последовательно расположенных изолирующих сопряжения и располагают за входным сигналом на расстоянии позволяющем электроподвижному составу проследовать её по инерции, не препятствуя поезду остановке перед закрытым входным сигналом.

Поперечное секционирование между путями осуществляется секционными изоляторами, поперечными разъединителями и врезными изоляторами в фиксирующих тросах поперечин и в нерабочих ветвях контактных подвесок. При поперечном секционировании учитывается следующее:

1. Контактная сеть главных путей перегона и станции выделяется в отдельные секции.
2. К контактной подвеске главных путей допускается присоединять две-три подвески боковых путей. Остальные, как правило, выделяют в отдельную секцию.
3. Вне зависимости от числа электрифицированных путей в отдельные секции выделяют пути для производства погрузочно-разгрузочных работ, осмотра крышевого оборудования, отстоя и экипировки э.п.с., снабжения водой пассажирских вагонов и наливки цистерн, путей электродепо.

Чтобы выполнить это условие, нужно предусмотреть установку секционных изоляторов в контактные подвески стационарных путей. Тип секционного изолятора выбирают в зависимости от максимальной скорости движения поездов и номинального напряжения в контактной сети.

Таблица 24

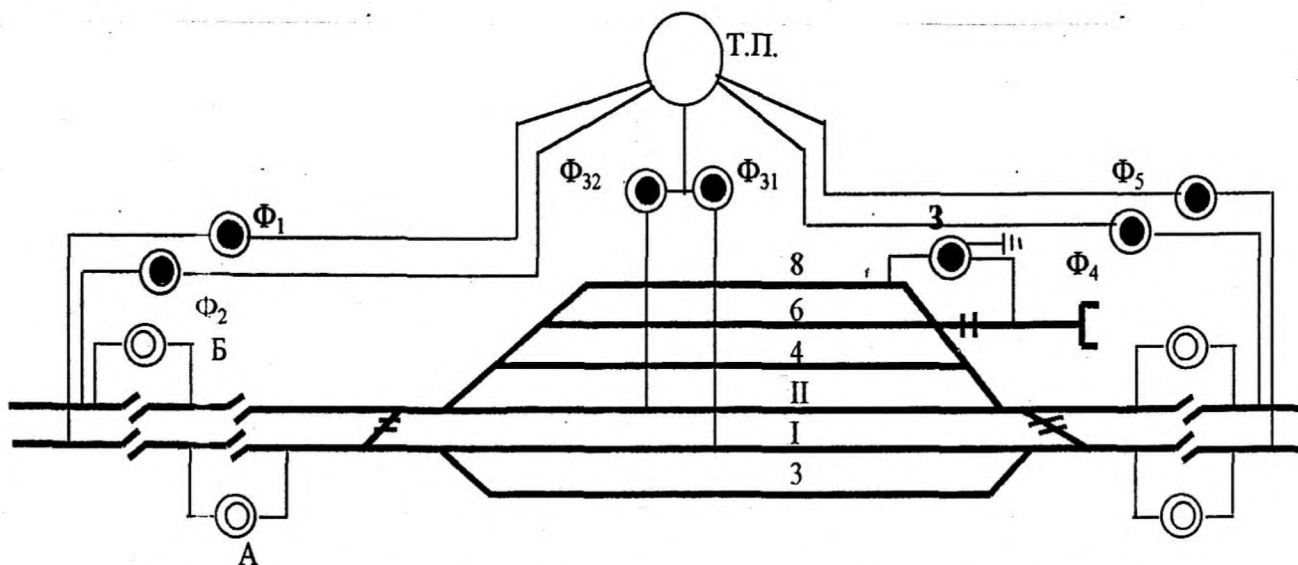
Напряжение контактной сети кВ.	Тип секционного изолятора	Допускаемая скорость движения э.п.с., км/ч.	При числе контактных проводов	
			Один	Два
3,3	СИ - 2У	120	Один	Два
	СИ - 6	120	Один	
	ЦНИИ - 7МА	160	Один	
	ЦНИИ - 4МА	160	Один	
27,5	ЦНИИ - 7МА	160	Один	
	ЦНИИ - 4МА	160	Один	

Поперечные разъединители соединяющие контактные подвески разных секций станций обозначаются буквой "П", Они могут иметь как ручные, так и двигательные приводы.

Присоединение контактных подвесок путей, где производится работы вблизи контактной сети, выполняют секционными разъединителями с заземляющими ножами, обозначают их буквой "З".

При выборе типа приводов разъединителей контактной сети учитывают назначение путей частоту переключений разъединителей, особенности секционирования данного участка контактной сети и т.п.

Современные требования предусматривают применение дистанционного и телеуправления секционными разъединителями по-этому линейные, продольные и поперечные следует проектировать с двигательными приводами.



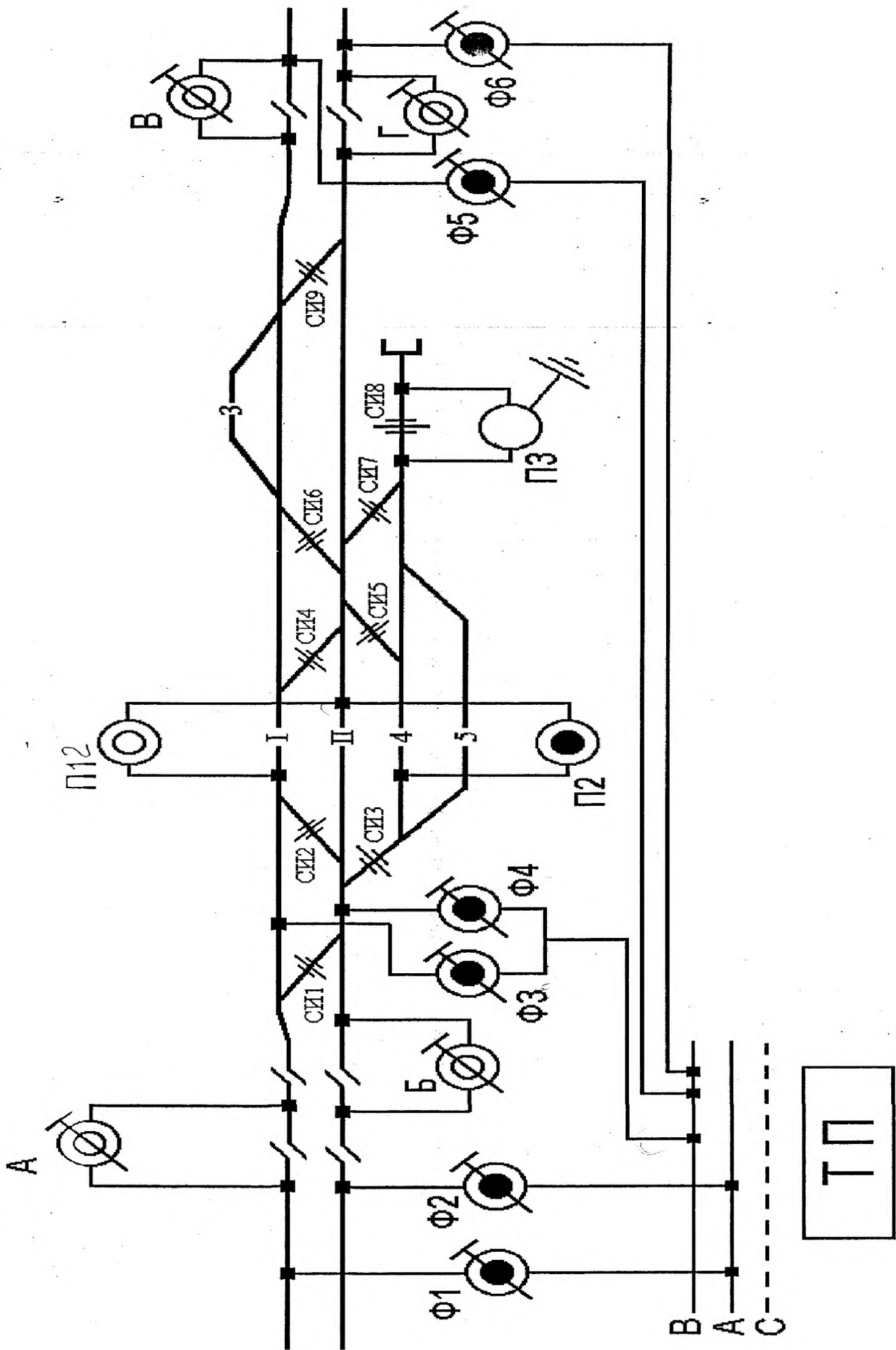
Питание контактной сети от тяговых подстанций осуществляется питающими линиями ( фидерами ), обычно воздушными.

На двухпутных участках переменного тока питающие линии, отходящие от тяговой подстанции к контактной сети перегонов, проектируют отдельно на каждый путь. Фидерная линия питающая станционные пути выделяется отдельно. В питающих линиях контактной сети переменного тока линейные разъединители устанавливают в местах присоединения их к контактной сети. В контактной сети постоянного тока линейные разъединители устанавливают в начале и конце питающих линий. Если длина фидера меньше 150 метров линейные разъединители можно не проектировать.

Разъединители питающих линий обозначаются "Ф" с цифровыми индексами соответствующие номерам путей.

На схеме питания и секционные участки наносятся тяговые подстанции : питающие и отсасывающие линии, секционные разъединители в нормальном положении с присвоенными им литерами или номерами, секционные изоляторы с присвоенными им номерами, изолирующие сопряжения анкерных участков и их название, номера воздушных стрелок, которые должны соответствовать номерам стрелочных переводов, пересечение контактной сети воздушными линиями электропередач, искусственные сооружения, перерывающие контактную сеть ( мосты, путепроводы и др. ). станции с указанием километража и остановочные пункты, границы дистанции контактной сети и участка электроснабжения

Схема секционирования вычерчивается на листе белой бумаги форматом А4 и подшивается в пояснительную записку.



## 7. Трассировка контактной сети на станции.

Планы контактной сети станции составляют в увязке с существующими планами путевого развития станции, учитывая её развитие на перспективу, и расположение всех сооружений: пассажирское здание, переходные мостики, путепроводы и т.д.

Планы контактной сети станции вычерчивают в масштабе 1:1000, как правило, на миллиметровой бумаге. Ширина листа равна 297мм., длина листа должна быть кратной 210мм. И определяется согласно заданной длине станции. На пример: на схеме указаны расстояния от оси пассажирского здания до крайних точек схемы (светофоров или тупика), не учитывая знак, нужно сложить эти отметки и прибавить 600 - 800 мм. для размещения на чертеже спецификаций и нейтральных вставок на переменном токе.

Положение опор контактной сети на плане определяется расстоянием от оси ближайшего пути (габаритом) и расстоянием от оси пассажирского здания, измеренным по оси главного пути.

Планы контактной сети станции составляют в следующем порядке: намечают места фиксации контактных проводов в горловинах станций; выбирают наилучший вариант расстановки несущих и фиксирующих опор, опор изолирующих сопряжений, опор средней части станции, у пассажирского здания и искусственных сооружений; выполняют трассировку (разводку) анкерных участков; намечают места для анкерных опор; производят трассировку питающих и отсасывающих линий, ВЛ и других проводов, увязывая их между собой; подбирают типы опор, фундаментов, консолей и пр.

На плане контактной сети станции приводят спецификации (таблицы) анкерных участков по образцу таблицы:

Таблица 25

Пример.

Наименование	Длина проводов по анкерным участкам, м.				
	I кн	II кн	3 кн	4кн	и так далее.
Несущий трос ПБСМ - 70	---	---	1256	1490	
Контактный провод МФ -85	---	---			
Далее по заданию.					

Элементов сборных конструкций:

Таблица 26

Пример.

Наименование	количество	Наименование	количество
Опора:		Анкер ТА - 4	
С - 136,6 - 1		Оттяжка А - 1	
С - 136,6 - 2		Оттяжка А - 3	
С - 136,6 - 3		Плита опорная ОП	
и т.д.		Комплект закладных деталей	
Всего		и т.д.	

Спецификация оборудования, материалов, консолей и т.д.

Таблица 27

Пример.

Наименование	Число	Масса, т	Наименование	Число	Масса, т
<b>Оборудование:</b>			<b>Провода:</b>		
Разрядники:			МФ - 85		4,5
трубчатый	12		ПБСМ - 70		
роговой			МГ - 70		
Искровой промежуток ИПМ - 62			БСМ1 - 4		0,3
			БСМ1 - 6		
<b>Изоляторы:</b>			АС - 120		
ПФ - 70В			<b>Консоли:</b>		
ПТФ - 70			НР - I - 5	25	
VKL - 60/7	25		<b>Кронштейны:</b>		

## 8.Трассировка контактной сети перегона.

Планы контактной сети перегона вычерчивают в масштабе 1:2000 на миллиметровой бумаге (ширина листа 297 мм.) Необходимую длину листа определяют исходя из заданной длины перегона с учетом масштаба и необходимого запаса (800 мм.) в правой части чертежа на размещение общих данных и основной надписи и принимают кратной стандартному размеру 210 мм.

План контактной сети перегона вычерчивают в следующей последовательности:

- предварительная разбивка перегона на анкерные участки. Расстановку опор на перегоне начинают с переноса на план перегона опор изолирующего сопряжения или нейтральной вставки станции. Расположение этих опор на плане перегона должно быть увязано с их расположение на плане станции. Увязку осуществляют по входному сигналу, который обозначен и на плане станции.

- следующий этап наметка анкерных участков контактной сети, примерное расположение мест их сопряжений. В середине анкерных участков намечают места средних анкерровок, где в последствии необходимо сокращать длины пролётов.

Намечая анкерные участки подвески, необходимо исходить из следующих соображений:

количество анкерных участков на перегоне должно быть минимальным;

максимальная длина анкерного участка контактного провода на прямой принимается не более 1600 м;

на участках с кривыми длину анкерного участка уменьшают в зависимости от радиуса и расположения кривых;

сопряжения анкерных участков рекомендуется выполнять на прямых.

В конце перегона должно находиться трёхпролётное изолирующее сопряжение, разделяющее перегон и следующую станцию.

- далее расстановка опор на перегоне.

Расстановка опор производится пролётами,

по возможности равными допустимым для соответствующего участка местности, полученным в результате расчётов длин пролётов. При разбивке опор разница в длине двух смежных пролётов полукомпенсированной подвески не должна превышать 25% длины большего пролёта.

Пролёты со средними анкеровками должны быть сокращены: при полукомпенсированной - один пролёт на 10%, а при компенсированной - два пролёта на 5% максимальной расчётной длины для соответствующего участка местности. Длину пролётов на мосту принимают не более 40 - 45 м., считая, что мост конструкция симметричная.

- обработка плана перегона. Выполнив расстановку опор и зигзагов контактного провода, производят окончательную разбивку контактной сети перегона на анкерные участки и вычерчивают их сопряжения.

- составляют спецификации анкерных участков, опор и т.д., по аналогии с планом станции.

Таблица 28

Радиус кривой, м	Наибольшая длина анкерного участка, м, подвески с одним или с двумя контактными проводами.			
	МФ - 100	2МФ - 100	МФ - 100	2МФ - 100
	Полукомпенсированная подвеска		Компенсированная подвеска	
300	800	800	1100	1000
400	900	900	1280	1180
500	950	950	1400	1300
600	1000	1000	1560	1480
700	1040	1040	1600	1560
800	1050	1050	1600	1600
1000	1150	1150	1600	1600
1200	1200	1160	1600	1600
1500	1240	1180	1600	1600
2000	1300	1220	1600	1600



### 4.3. Данные для трассировки контактной сети на перегоне.

Таблица 3

Сигналы, сооружения, кривые, рельеф местности.	В а р и а н т ы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. Входной сигнал заданной станции.	9км 2+05	43км 0+00	7км 1+15	17км 0+15	6км 1+68	23км 2+15	15км 1+48	10км 1+60	14км 1+15	8км 1+78	
2. Ось переезда шириной 6 м.	3+05	1+18	2+25	6+65	2+70	3+10	2+52	3+05	2+15	2+73	
3. Начало кривой R1, центр слева по ходу километров.	6+10	3+81	5+35	18км 0+30	5+25	6+45	5+52	6+10	5+35	5+38	
4. Конец кривой.	8+90	6+10	8км 1+70	4+90	7км 1+80	24км 0+05	16км 1+95	11км 1+80	8+85	9км 2+45	
5. Начало выемки, глубиной до 7 м.	10км 1+40	44км 2+71	9км 2+30	7+90	8км 0+95	1+95	17км 0+15	12км 1+30	15км 1+10	10км 0+58	
6. Конец выемки.	4+05	45км 2+40	10км 2+10	19км 0+90	9км 0+45	25км 0+28	18км 0+60	9+85	4+30	11км 2+15	
7. Ось оврага небольшой ширины	11км 1+20	5+80	5+45	5+05	6+35	9+70	4+90	13км 6+35	16км 2+80	5+58	
8. Начало насыпи, высотой более 5 метров	7+30	8+85	8+45	20км 4+10	9+35	26км 7+05	7+90	9+35	8+80	8+85	
9. Мост через реку с ездой "понизу"	пикет оси моста	12км 1+40	46км 5+39	11км 6+15	6+50	10км 5+45	27км 6+22	19км 5+05	14км 5+38	17км 2+10	12км 6+25
	длина моста	110	135	122	120	125	130	110	140	135	128
10. Конец насыпи	8+10	47км 5+87	12км 4+88	21км 4+12	9+80	8+32	20км 4+12	9+35	5+45	14км 3+15	
11. Начало участка где возможны автоколебания	13км 1+10	48км 5+85	8+88	8+18	11км 4+05	28км 8+75	8+05	15км 5+38	8+45	9+15	
12. Начало кривой R2, центр справа по ходу километров	14км 4+48	9+99	13км 9+15	22км 1+85	7+15	9+90	21км 8+05	8+18	18км 1+45	15км 0+80	
13. Ось воздушной ЛЭП-110кв пересекающей пути угол 90	6+25	49км 8+45	14км 0+20	8+05	12км 4+15	30км 0+85	22км 0+15	16км 4+05	6+15	1+15	
14. Конец кривой	15км 3+98	9+10	6+10	23км 0+15	5+88	3+10	3+10	8+88	19км 0+95	6+10	
15. Последняя анкерная опора трехпролетного неизоллирующего сопряжения	4+18	50км 0+50	6+75	3+10	13км 0+15	9+60	7+80	17км 1+90	20км 0+98	9+70	

**Примечание:**

1. В обозначениях пикетных отметок цифры показывают: первая - номер пикета, две другие - расстояние в метрах от этого пикета.
2. Высота металлического моста с ездой "понизу" - 7метров.

### 4.4. Радиусы кривых на перегоне.

Таблица 4

Радиусы кривых	В а р и а н т ы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R1,м	900	800	600	500	1300	700	950	750	1000	850
R2,м	1250	1100	1500	1300	2000	1400	1600	1800	1200	950