

## Данные для разработки проекта

### 1. Тип подвески:

- 1.1 Станция, главные пути - одинарная полукозая полукомпенсированная рессорная с одним контактным проводом М-95 + МФО-100;
- 1.2 Станция, боковые пути - одинарная полукозая полукомпенсированная со смещенными струнами ПБСМ-95 + МФ-85;
- 1.3 Перегон - одинарная полукозая компенсированная рессорная с одним контактным проводом М-95 + МФО-100.

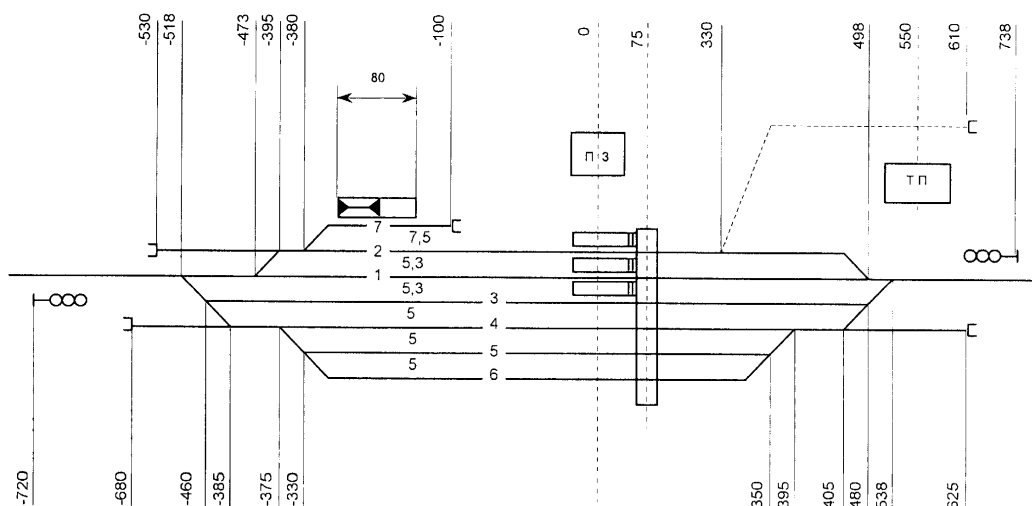
### 2. Климатические условия:

- 2.1 Низшая температура -  $-35^{\circ}\text{C}$ ;
- 2.2 Высшая температура -  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- 2.3 Толщина стенки гололеда - 10 мм;
- 2.4 Ветровой район - 2.

### 3. Данные для трассировки контактной сети на перегоне:

3.1 Входной сигнал заданной станции	24 км	1 + 26
3.2 Начало кривой R = 600 м, центр слева по ходу километров		4 + 20
3.3 Конец кривой		6 + 75
3.4 Ось каменной трубы с отверстием 1,1 м		6 + 96
3.5 Начало кривой R = 850 м, центр слева по ходу километров		8 + 20
3.6 Конец кривой	25 км	2 + 34
3.7 Ось моста через реку с ездой понизу длиной 120 м		6 + 05
3.8 Ось железобетонной трубы с отверстием 3,5 м		7 + 60
3.9 Начало кривой R = 1000 м, центр справа по ходу километров		8 + 34
3.10 Конец кривой	26 км	2 + 34
3.11 Входной сигнал следующей станции		6 + 12
3.12 Ось переезда шириной 6 м		6 + 88
3.13 Первая стрелка следующей станции		7 + 94

### Схема станции



Высота пешеходного моста 8,3 м

## 1. Определение нагрузок на провода.

### 1.1 Определение максимальной скорости ветра.

$$V = V_n * k_b,$$

где  $V_n$  - нормативная скорость ветра. Согласно задания, принимаем  $V_n = 25$  м/с [ 2. стр. 32 ].

$k_b$  - ветровой коэффициент. Для станции уменьшаем ветровую нагрузку на 5 %, то есть примем для станционных путей  $k_b = 0,95$ , для участков на насыпи перегона принимаем  $k_b = 1,25$  [ 2. стр. 34 ]. Кроме этого, на участках с явно выраженным усилением ветра по сравнению с окружающей местностью ( насыпь ), увеличиваем расчетную скорость ветра на 12 %.

$$V = 25 * 0,95 = 23,75 \text{ м/с}$$

Пергон, насыпь.

$$V = 25 * 1,25 * 1,12 = 35 \text{ м/с}$$

### 1.2 Определение скорости ветра при гололеде.

Согласно рекомендациям [ 1. стр. 4 ]

$$V_r = 0,5 * V,$$

Станция, главные и боковые пути; перегон, равнина.

$$V_r = 0,5 * 23,75 = 11,88 \text{ м/с}$$

Пергон, насыпь.

$$V_r = 0,5 * 35 = 17,5 \text{ м/с}$$

### 1.3 Определение максимальной толщины стенки гололеда.

$$b = b_n * k_{dm} * k_{bc},$$

где  $b_n$  - нормативная толщина стенки гололеда. Согласно задания принимаем  $b_n = 10$  мм.

$k_{dm}$  - поправочный коэффициент, зависящий от диаметра провода. Согласно таблицы [2. стр. 28 ], принимаем  $k_{dm} = 0,98$  для боковых путей станции и  $k_{dm} = 0,98$  для остальных рельсезов.

$k_{bc}$  - поправочный коэффициент, зависящий от высоты насыпи. Согласно таблицы [2. стр. 28 ], принимаем для главных и боковых путей станции и равнины на перегоне  $k_{bc} = 0,6$ , а для насыпи на перегоне  $k_{bc} = 0,88$ .

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$b = 10 * 0,98 * 0,6 = 5,88 \text{ мм}$$

Станция, боковые пути.

$$b = 10 * 0,98 * 0,6 = 5,88 \text{ мм}$$

Пергон, насыпь.

$$b = 10 * 0,98 * 0,88 = 8,62 \text{ мм}$$

### 1.4. Определение суммарной вертикальной нагрузки на 1 м троса при отсутствии гололеда.

$$g = g_r + n * ( g_k + g_c ),$$

где  $g_r$  - нагрузка от несущего троса, даН/м [ 2. табл. 1.2. ].

$g_k$  - нагрузка от контактного провода, даН/м [ 2. табл. 1.1. ].

$g_c$  - нагрузка от струн. Согласно рекомендациям [ 1. стр. 7 ],  $g_c = 0,05$  даН/м.

$n$  - количество контактных проводов.

Станция, главные пути; перегон.

$$g = 0,83 + 1 * ( 0,87 + 0,05 ) = 1,75 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$g = 0,76 + 1 * ( 0,75 + 0,05 ) = 1,56 \text{ даН/м}$$

### 1.5. Определение нагрузки от гололеда.

а) на несущий трос.

$$g_{rr} = 2,77 * b * ( d_r + b ) * n_r * 10^{-3}, \text{ даН/м, [ 2. стр. 29 ],}$$

где  $d_r$  - диаметр несущего троса. Для главных путей станции и перегона  $d_r = 12,6$  мм, для боковых путей станции  $d_r = 12,5$  мм [ 2. стр. 1.2. ].

$n_r$  - коэффициент усиления гололеда. Для станции и равнины на перегоне  $n_r = 1$ , для насыпи на перегоне  $n_r = 1,25$  [ 2. стр. 28 ].

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$g_{гт} = 2,77 * 5,88 * ( 12,6 + 5,88 ) * 1 * 10^{-3} = 0,301 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$g_{гт} = 2,77 * 5,88 * ( 12,5 + 5,88 ) * 1 * 10^{-3} = 0,299 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$g_{гт} = 2,77 * 8,62 * ( 12,6 + 8,62 ) * 1,25 * 10^{-3} = 0,634 \text{ даН/м}$$

б) на контактный провод.

$$g_{гк} = 2,77 * \frac{v}{2} * \left( \frac{H + A}{2} + \frac{v}{2} \right) * n_r * 10^{-3}, \text{ даН/м, [ 2. стр. 29 ],}$$

где  $H$  - высота контактного провода. Для главных путей станции и перегона  $H = 10,5$  мм, для боковых путей станции  $H = 10,8$  мм [ 2. стр. 15 ].

$A$  - ширина контактного провода. Для главных путей станции и перегона  $A = 14,92$  мм, для боковых путей станции  $A = 11,76$  мм [ 2. стр. 15 ].

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$g_{гк} = 2,77 * \frac{5,88}{2} * \left( \frac{10,5 + 14,92}{2} + \frac{5,88}{2} \right) * 1 * 10^{-3} = 0,13 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$g_{гк} = 2,77 * \frac{5,88}{2} * \left( \frac{10,8 + 11,76}{2} + \frac{5,88}{2} \right) * 1 * 10^{-3} = 0,12 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$g_{гк} = 2,77 * \frac{8,62}{2} * \left( \frac{10,5 + 14,92}{2} + \frac{8,62}{2} \right) * 1,25 * 10^{-3} = 0,25 \text{ даН/м}$$

1.6. Определение полной дополнительной нагрузки от гололеда.

$$g_r = g_{гт} + n * g_{гк},$$

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$g_r = 0,30 + 1 * 0,13 = 0,43 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$g_r = 0,30 + 1 * 0,12 = 0,42 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$g_r = 0,63 + 1 * 0,25 = 0,89 \text{ даН/м}$$

1.7. Определение суммарной вертикальной нагрузки на 1 м троса с гололедом.

$$q_{общ} = g + g_r$$

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$q_{общ} = 1,75 + 0,43 = 2,18 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$q_{общ} = 1,56 + 0,42 = 1,98 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$q_{общ} = 1,75 + 0,89 = 2,64 \text{ даН/м}$$

1.8. Определение ветровой нагрузки на провода в режиме максимального ветра.

а) на несущий трос.

$$P_{\text{вт}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 \cdot C_{\text{хт}} \cdot d, \text{ даН/м, [ 2. стр. 30 ],}$$

где  $C_{\text{хт}}$  - аэродинамический коэффициент несущего троса.  $C_{\text{хт}} = 1,25$  [ 2. стр. 30 ].

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$P_{\text{вт}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 23,75^2 \cdot 1,25 \cdot 12,6 = 0,55 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$P_{\text{вт}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 23,75^2 \cdot 1,25 \cdot 12,5 = 0,54 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$P_{\text{вт}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 35^2 \cdot 1,25 \cdot 12,6 = 1,19 \text{ даН/м}$$

б) на контактный провод.

$$P_{\text{вк}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 \cdot C_{\text{хк}} \cdot H, \text{ даН/м, [ 1. стр. ]},$$

где  $C_{\text{хк}}$  - аэродинамический коэффициент контактного провода. Для главных путей станции и равнины на перегоне  $C_{\text{хк}} = 1,15$ , для боковых путей станции  $C_{\text{хк}} = 1,25$ ; для насыпи на перегоне  $C_{\text{хк}} = 1,15$  [ 2. стр. 30 ].

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$P_{\text{вк}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 23,75^2 \cdot 1,15 \cdot 10,5 = 0,42 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$P_{\text{вк}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 23,75^2 \cdot 1,25 \cdot 10,8 = 0,47 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$P_{\text{вк}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 35^2 \cdot 1,15 \cdot 10,5 = 0,91 \text{ даН/м}$$

#### 1.9. Определение результирующей нагрузки на трос в режиме максимального ветра.

$$q_{\text{вmax}} = \sqrt{g^2 + P_{\text{вт}}^2}$$

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$q_{\text{вmax}} = \sqrt{1,75^2 + 0,55^2} = 1,83 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$q_{\text{вmax}} = \sqrt{1,56^2 + 0,54^2} = 1,65 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$q_{\text{вmax}} = \sqrt{1,75^2 + 1,19^2} = 2,11 \text{ даН/м}$$

#### 1.10. Определение ветровой нагрузки на провода в режиме гололеда с ветром.

а) на несущий трос.

$$P_{\text{т}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 \cdot C_{\text{хт}} \cdot (d + 2 \cdot в), \text{ даН/м, [ 2. стр. 32 ],}$$

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$P_{\text{т}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 11,88^2 \cdot 1,25 \cdot (12,6 + 2 \cdot 5,88) = 0,26 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$P_{\text{т}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 11,88^2 \cdot 1,25 \cdot (12,5 + 2 \cdot 5,88) = 0,26 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$P_{\text{т}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 17,5^2 \cdot 1,25 \cdot (12,6 + 2 \cdot 8,62) = 0,70 \text{ даН/м}$$

б) на контактный провод.

$$P_{\text{гк}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 \cdot C_{\text{хк}} \cdot (H + в), \text{ даН/м, [ 2. стр. 32 ],}$$

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$P_{\text{гк}} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 11,88^2 \cdot 1,15 \cdot (10,5 + 5,88) = 0,16 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$P_{гк} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 11,88^2 \cdot 1,25 \cdot (10,8 + 5,88) = 0,18 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$P_{гк} = 0,615 \cdot 10^{-4} \cdot 17,5^2 \cdot 1,15 \cdot (10,5 + 8,62) = 0,41 \text{ даН/м}$$

1.11. Определение результирующей нагрузки на 1 м троса в режиме гололеда с ветром.

$$q_r = \sqrt{(g + g_r)^2 + P_{гк}^2}$$

Станция, главные пути; перегон, равнина.

$$q_r = \sqrt{2,18^2 + 0,16^2} = 2,19 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$q_r = \sqrt{1,98^2 + 0,18^2} = 1,98 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$q_r = \sqrt{2,64^2 + 0,41^2} = 2,67 \text{ даН/м}$$

1.12. Расчет натяжений проводов.

Определение допустимого натяжения несущего троса ПБСМ-95 (боковые пути).

$$T_{доп} = \alpha \cdot \sigma_{вр} \cdot S / k_3, \text{ кН, [ 2. стр. 18 ],}$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий разброс механических характеристик и условия скрутки проволок, принимаемый 0,95 при менее 37 проволок в проводе. [ 2, стр. 18 ].

$\sigma_{вр}$  – временное сопротивление разрыву материала проволоки. Для меди  $\sigma_{вр} = 0,39$ , а для биметалла  $\sigma_{вр} = 0,74$  [ 2. табл. 1.5. ].

S – расчетная площадь поперечного сечения провода. S = 93,3 мм. [ 2. табл. 1.2. ].

$k_3$  – номинальный коэффициент запаса прочности. Для биметалла  $k_3 = 2,5$ , а для меди  $k_3 = 2$  [ 2. стр. 18 ].

$$T_{доп} = 0,95 \cdot 0,74 \cdot 93,3 / 2,5 = 26,24 \text{ кН} = 2624 \text{ даН}$$

Принимаем  $T_{доп} = 1960 \text{ даН}$  по [ 1. табл. ].

Определение допустимого натяжения несущего троса М-95 (главные пути).

$$T_{доп} = 0,95 \cdot 0,39 \cdot 94 / 2 = 17,41 \text{ кН}$$

$$\text{Принимаем } T_{доп} = 1570 \text{ даН}$$

Определение номинального натяжения несущего троса М-95 (главные пути).

$$T_{ном} = 0,9 \cdot T_{доп}, [ 2. стр. 18 ].$$

$$T_{ном} = 0,9 \cdot 1570 = 1413 \text{ даН}$$

Принимаем по [ 3. табл. 10 ]  $T_{ном} = 1420 \text{ даН}$

Определение номинального натяжения контактных проводов.

$$K_{ном} = \sigma_{ном} \cdot S_{кп} \cdot n, \text{ даН, [ 2. стр. 18 ]}$$

где  $\sigma_{ном}$  – номинальное напряжение медного контактного провода.  $\sigma_{ном} = 0,098 \text{ ГПа}$ , [ 2. стр. 18 ].

$S_{кп}$  – площадь сечения контактного провода.

n – число контактных проводов.

Для контактного провода МФ - 85 (боковые пути)

$$K_{ном} = 0,098 \cdot 85 \cdot 1 = 8,33 \text{ кН} = 833 \text{ даН}$$

Принимаем для контактного провода МФ - 85  $K_{ном} = 830 \text{ даН}$  [ 2. стр. 18 ].

Для одного контактного провода МФО - 100 (главные пути станции и перегон)

$$K_{ном} = 0,098 \cdot 100 \cdot 1 = 9,8 \text{ кН} = 980 \text{ даН}$$

Принимаем  $K_{\text{ном}} = 980 \text{ даН}$

1.13. Определение температуры беспровесного положения контактного провода.  
 Главные пути станции и перегон ( подвеска с рессорным тросом [ 1. стр. 2 ] ).

$$t_o = \frac{t_{\text{max}} + t_{\text{min}}}{2}, \quad ^\circ\text{C} \text{ [ 1. стр. 8 ],}$$

где  $t_{\text{max}}$  - максимальная температура данного района.  $t_{\text{max}} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$  [ 1. табл. 8 ]

$t_{\text{min}}$  - минимальная температура данного района.  $t_{\text{min}} = -35 \text{ } ^\circ\text{C}$  [ 1. табл. 8 ]

$$t_o = \frac{40 + (-35)}{2} = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Боковые пути станции ( подвеска с простыми опорными струнами [ 1. стр. 2 ] ).

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

$$t_o = \frac{40 + (-35)}{2} - 15 = -12,5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ [ 1. стр. 8 ],}$$

## 2. Определение допустимых длин пролетов.

2.1. Определение максимально допустимых отклонений проводов от начального положения.

а) на прямых участках

$$Z_{\text{од}} = 1/2 * [ b_d - \gamma_k + \sqrt{(b_d - \gamma_k)^2 - a^2} ], \text{ м, [ 1. стр. 10 ],}$$

где  $b_d$  - максимально допустимое ветровое отклонение контактного провода в середине пролета. Согласно условиям [ 3. стр. 44 ], на прямых участках  $b_d = 0,5 \text{ м}$ , на кривых участках  $b_d = 0,45 \text{ м}$ .

$\gamma_k$  - упругое отклонение опоры под действием ветра на уровне контактного провода.

Согласно таблице [ 3. стр. 48 ], имеем  $\gamma_k = 0,01 \text{ м}$  при расчетной скорости ветра до  $25 \text{ м/с}$  и  $\gamma_k = 0,022 \text{ м}$  при расчетной скорости ветра до  $35 \text{ м/с}$ .

$a$  - зигзаг контактного провода. Принимаем на прямых участка зигзаг  $a = 0,3 \text{ м}$  и зигзаг  $a = 0,4 \text{ м}$  на кривых участках пути.

Станция, главные и боковые пути; перегон, прямые участки пути.

$$Z_{\text{од}} = 1/2 * [ 0,5 - 0,01 + \sqrt{(0,5 - 0,01)^2 - 0,3^2} ] = 0,44 \text{ м}$$

Перегон, насыпь.

$$Z_{\text{од}} = 1/2 * [ 0,5 - 0,022 + \sqrt{(0,5 - 0,022)^2 - 0,3^2} ] = 0,425 \text{ м}$$

б) на кривых участках.

$$Z_{\text{од}} = \frac{b_d - \gamma_k + a}{1 + \frac{K}{P_k * R}}, \text{ м, [ 1. стр. 11 ],}$$

где  $P_k$  - ветровая нагрузка на контактный провод в режиме максимального ветра (п.1.8.).

$R$  - радиус кривой, м. [ 1. табл. 3 ].

Кривая радиусом  $R_1 = 600$  м.

$$Z_{од} = \frac{0,45 - 0,01 + 0,4}{1 + \frac{0,42 * 600}{980}} = 0,17 \text{ м}$$

Кривая радиусом  $R_2 = 850$  м.

$$Z_{од} = \frac{0,45 - 0,01 + 0,4}{1 + \frac{0,42 * 850}{980}} = 0,22 \text{ м}$$

Кривая радиусом  $R_3 = 1000$  м.

$$Z_{од} = \frac{0,45 - 0,01 + 0,4}{1 + \frac{0,42 * 1000}{980}} = 0,25 \text{ м}$$

## 2.2. Определение приведенного натяжения несущего троса $T_n$ .

$$T_n = \frac{T}{1 + \frac{P_k * T * h}{q * K * Z_{од}}}, \text{ даН, [ 1, стр. 18 ],}$$

где  $T$  - натяжение несущего троса, даН.

$P_k$  - ветровая нагрузка на контактный провод в режиме максимального ветра, даН/м.

$h$  - высота ( длина ) гирлянды изоляторов. Для гирлянды из четырех изоляторов  $h = 0,9$  м [ 3. стр. 49 ].

$q$  - результирующая нагрузка на трос в режиме максимального ветра, даН/м.

$K$  - натяжение контактного провода, даН.

Станция, главный путь.

$$T_n = \frac{1570}{1 + \frac{0,42 * 1570 * 0,9}{1,83 * 980 * 0,44}} = 895 \text{ дан}$$

Станция, боковой путь.

$$T_n = \frac{1960}{1 + \frac{0,47 * 1960 * 0,9}{1,65 * 830 * 0,44}} = 824 \text{ дан}$$

Перегон, равнина, прямые участки.

$$T_n = \frac{1420}{1 + \frac{0,42 * 1420 * 0,9}{1,83 * 980 * 0,44}} = 844 \text{ дан}$$

Перегон, насыпь.

$$T_n = \frac{1420}{1 + \frac{0,91 * 1420 * 0,9}{2,11 * 980 * 0,425}} = 612 \text{ дан}$$

Перегон, равнина, кривая R<sub>1</sub> = 600 м.

$$T_n = \frac{1420}{1 + \frac{0,42 * 1420 * 0,9}{1,83 * 980 * 0,17}} = 518 \text{ дан}$$

Перегон, равнина, кривая R<sub>2</sub> = 850 м.

$$T_n = \frac{1420}{1 + \frac{0,42 * 1420 * 0,9}{1,83 * 980 * 0,22}} = 608 \text{ дан}$$

Перегон, равнина, кривая R<sub>3</sub> = 1000 м.

$$T_n = \frac{1420}{1 + \frac{0,91 * 1420 * 0,9}{1,83 * 980 * 0,25}} = 649 \text{ дан}$$

2.3. Определение эквивалентной нагрузки P<sub>кз</sub>, даН/м, [ 1. стр. 18 ].

$$P_{кз} = P_k - \frac{5 * g_k * Z_{од} * (T_n - K)}{7 * \lambda_o * P_k * (T_n + K) * [1 + \frac{5 * g_k * Z_{од} * K}{7 * \lambda_o * P_k * T_n} * (P_k - \frac{K}{T_n} * P_T)]}$$

где λ<sub>о</sub> - минимальная длина струны, м. λ<sub>о</sub> = 0,8 м [ 1. стр.12 ].

P<sub>т</sub> - ветровая нагрузка на трос в режиме максимального ветра ( см. п. 1.8. ).

Станция, главные пути.

$$P_{кз} = 0,42 - \frac{5 * 0,87 * 0,44 * (895 - 980)}{7 * 0,8 * 0,42 * (895 + 980) * [1 + \frac{5 * 0,87 * 0,439 * 980}{7 * 0,8 * 0,42 * 895} * (1 - \frac{980}{895})]} * (0,42 - \frac{980}{895} * 0,55) = 0,41 \text{ даН/м}$$

Станция, боковые пути.

$$P_{кз} = 0,47 - \frac{5 * 0,75 * 0,44 * (824 - 830)}{7 * 0,8 * 0,47 * (824 + 830) * [1 + \frac{5 * 0,74 * 0,439 * 830}{7 * 0,8 * 0,47 * 824} * (1 - \frac{830}{824})]} * (0,47 - \frac{830}{824} * 0,54) = 0,47 \text{ даН/м}$$

Перегон, равнина, прямые участки.



$$P_{кз} = 0,42 - \frac{5 * 0,87 * 0,44 * (844 - 980)}{7 * 0,8 * 0,42 * (844 + 980) * [1 + \frac{5 * 0,87 * 0,439}{7 * 0,8 * 0,42} * (1 - \frac{980}{844})]} * (\frac{980}{0,42 - \frac{980}{844}} * 0,55) = 0,41 \text{ даН/м}$$

Перегон, насыпь.

$$P_{кз} = 0,91 - \frac{5 * 0,87 * 0,425 * (612 - 980)}{7 * 0,8 * 0,91 * (612 + 980) * [1 + \frac{5 * 0,87 * 0,425}{7 * 0,8 * 0,91} * (1 - \frac{980}{612})]} * (\frac{980}{0,91 - \frac{980}{612}} * 1,19) = 0,80 \text{ даН/м}$$

Перегон, равнина, кривая радиусом  $R_1 = 600$  м.

$$P_{кз} = 0,42 - \frac{5 * 0,87 * 0,17 * (518 - 980)}{7 * 0,8 * 0,42 * (518 + 980) * [1 + \frac{5 * 0,87 * 0,17}{7 * 0,8 * 0,42} * (1 - \frac{980}{518})]} * (\frac{980}{0,42 - \frac{980}{518}} * 0,55) = 0,336 \text{ даН/м}$$

Перегон, равнина, кривая радиусом  $R_2 = 850$  м.

$$P_{кз} = 0,42 - \frac{5 * 0,87 * 0,22 * (608 - 980)}{7 * 0,8 * 0,42 * (608 + 980) * [1 + \frac{5 * 0,87 * 0,22}{7 * 0,8 * 0,42} * (1 - \frac{980}{608})]} * (\frac{980}{0,42 - \frac{980}{608}} * 0,55) = 0,360 \text{ даН/м}$$

Перегон, равнина, кривая радиусом  $R_3 = 1000$  м.

$$P_{кз} = 0,42 - \frac{5 * 0,87 * 0,25 * (649 - 980)}{7 * 0,8 * 0,42 * (649 + 980) * [1 + \frac{5 * 0,87 * 0,25}{7 * 0,8 * 0,42} * (1 - \frac{980}{649})]} * (\frac{980}{0,42 - \frac{980}{649}} * 0,55) = 0,370 \text{ даН/м}$$

2.4. Определение максимально допустимых длин пролетов.

$$l_{\max} = 2 * \sqrt{\frac{Z_{од} * K}{P_{кз}}}, \text{ м, [ 1. стр. 9 ].}$$

Станция, главные пути.

$$l_{\max} = 2 * \sqrt{2 * \frac{0,439 * 980}{0,41}} = 91,6 \text{ м}$$

Станция, боковые пути.

$$l_{\max} = 2 * \sqrt{2 * \frac{0,439 * 830}{0,47}} = 78,7 \text{ м}$$

Перегон, равнина, прямые участки.

$$l_{\max} = 2 * \sqrt{2 * \frac{0,44 * 980}{0,41}} = 91,6 \text{ м}$$

Перегон, насыпь.

$$l_{\max} = 2 * \sqrt{2 * \frac{0,425 * 980}{0,8}} = 64,5 \text{ м}$$

Перегон, равнина, кривая радиусом R1 = 600 м.

$$l_{\max} = 2 * \sqrt{2 * \frac{0,17 * 980}{0,336}} = 63,3 \text{ м}$$

Перегон, равнина, кривая радиусом R2 = 850 м.

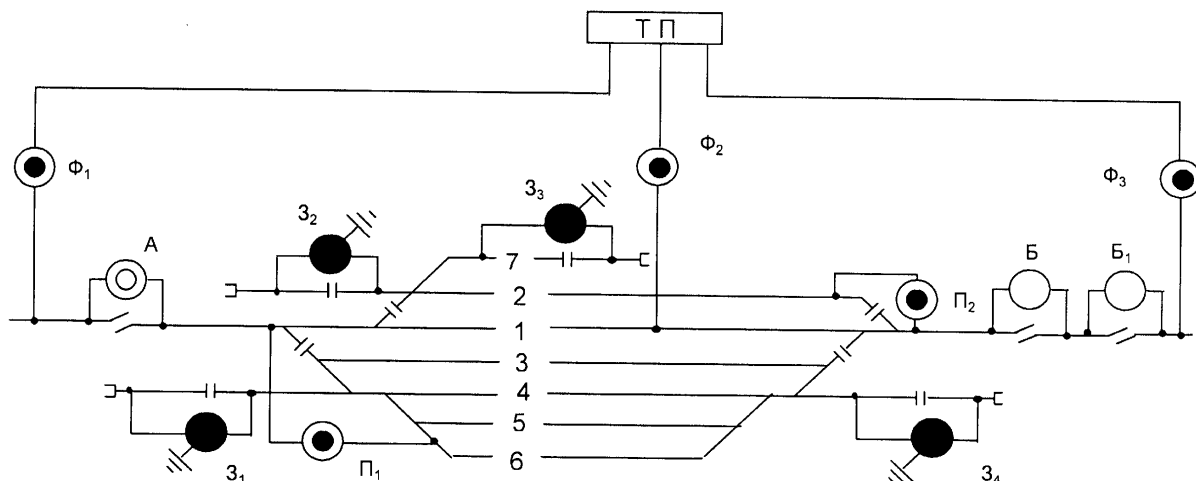
$$l_{\max} = 2 * \sqrt{2 * \frac{0,22 * 980}{0,36}} = 69,9 \text{ м}$$

Перегон, равнина, кривая радиусом R3 = 1000 м.

$$l_{\max} = 2 * \sqrt{2 * \frac{0,25 * 980}{0,37}} = 73,1 \text{ м}$$

Окончательно для вычерчивания монтажных планов контактной сети станции и перегона в соответствии с условием [ 3. стр. 58 ], принимаем следующие длины пролетов: станция, главные пути - 70 м, станция, боковые пути - 70 м, перегон, равнина - 70 м, перегон, насыпь - 64 м, перегон, кривая радиусом R1 = 600 м - 62 м, перегон, кривая радиусом R2 = 850 м - 68 м, перегон, кривая радиусом R3 = 1000 м - 70 м.

Схема питания и секционирования



Описание схемы питания и секционирования.

Контактная сеть станции и прилегающих перегонов переменного тока питается от тяговой подстанции по трем фидерам. Первым фидером питается контактная сеть перегона, примыкающего слева к заданной станции. Вторым фидером питается контактная сеть станции. И третьим фидером питается контактная сеть перегона, примыкающего справа к заданной станции. Питающие линии воздушные, проложены по опорам контактной сети.

Подача и снятие напряжения на контактную сеть перегона, примыкающего слева к заданной станции производится при помощи фидерного разьединителя  $\Phi_1$ ; подача и снятие напряжения на контактную сеть станции производится при помощи фидерного разьединителя  $\Phi_2$ ; подача и снятие напряжения на контактную сеть перегона, примыкающего справа к заданной станции производится при помощи фидерного разьединителя  $\Phi_3$ . Все фидерные разьединители с моторными приводами, нормальное положение - включенное; установлены у места подключения питающих линий к контактной сети.

Продольное секционирование осуществляется при помощи изолирующего сопряжения анкерных участков и нейтральной вставки. Изолирующее сопряжение расположено в левой части станции между первой входной стрелкой и входным сигналом светофора, а нейтральная вставка - на перегоне, примыкающем справа к заданной станции.

На сопряжении установлен продольный разьединитель А с моторным приводом, нормальное положение - отключенное. Назначение продольного разьединителя - подача напряжения со станции на прилегающий перегон или наоборот в случае вывода в ремонт фидерного разьединителя. На нейтральной вставке установлены разьединители Б и Б<sub>1</sub>, предназначенные для подачи напряжения на нее в случае остановки на ней ЭПС.

Поперечное секционирование на станции осуществляется секционными изоляторами, поперечными разьединителями, разьединителями с заземляющими ножами, секционирующими изоляторами в фиксирующих тросах жестких поперечин, врезными изоляторами в ветвях, отходящих на анкеровку.

В отдельную секцию при помощи врезанных в съезды секционных изоляторов выделены 2, 7 пути и тупик, примыкающий к 2 пути. Подача и снятие напряжения с этой секции производится при помощи продольного разьединителя П<sub>2</sub> с моторным приводом, нормальное положение - включенное. Подача и снятие напряжения с тупика, примыкающего к 2 пути про-

изводится разъединителем с заземляющими ножами  $З_2$  с ручным приводом, нормальное положение - включенное. Выделение тупика, примыкающего к 2 пути необходимо потому, что он предназначен для отстоя ЭПС и осмотра его крышевого оборудования. В отдельную секцию выделен 7 погрузо - разгрузочный путь. Подача и снятие напряжения с 7 пути осуществляется при помощи разъединителя с заземляющими ножами  $З_3$  с ручным приводом, нормальное положение - включенное.

Также в отдельную секцию выделяются 3, 4, 5, и 6 боковые пути, а также тупиковые пути, примыкающие к 4 боковому пути. Подача и снятие напряжения с этой секции производится при помощи разъединителя  $П_1$  с моторным приводом, нормальное положение - включенное. Кроме этого в отдельную секцию для отстоя ЭПС и осмотра его крышевого оборудования, а также для погрузки и выгрузки выделены тупиковые пути, примыкающие к 4 боковому пути. Подача и снятие напряжения с этих секций производится при помощи разъединителей с заземляющими ножами  $З_1$  и  $З_4$  с ручными приводами, нормальное положение - включенное.

### 3. Расчет анкерного участка полукомпенсированной цепной подвески на главном пути станции и построение монтажных кривых.

Для расчета взят анкерный участок состоящий из пролетов:

Длины пролетов:	50	58	53	54	65	51	57	64	48	55	0	0	0	0	0	0
Кол-во пролетов:	5	3	2	5	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Длина анкерного участка составляет 1140 м.

#### 3.1. Определение эквивалентного пролета.

$$l_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n l_i^3}{l_{ay}}},$$

где  $l_i$  - длина  $i$ -ого пролета в анкерном участке, м.

$l_{ay}$  - длина анкерного участка.

$$l_3 = \sqrt{\frac{50^3 \cdot 5 + 58^3 \cdot 3 + 53^3 \cdot 2 + 54^3 \cdot 5 + 65^3 \cdot 1 + 51^3 \cdot 1 + 57^3 \cdot 1 + 64^3 \cdot 1 + 48^3 \cdot 1 + 55^3 \cdot 1 + 0^3 \cdot 0 + 0^3 \cdot 0 + 0^3 \cdot 0 + 0^3 \cdot 0}{1140}} = 55 \text{ м}$$

#### 3.2. Определение исходного режима (режим, при котором возможно наибольшее натяжение несущего троса).

Определение критического пролета [ 1. стр. 32 ].

$$l_{кр} = (T_{max} + K) \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (t_r - t_{min})}{q_r^2 - g^2 + \frac{2 \cdot g \cdot K \cdot (q_r - g)}{T_o}}}, \text{ м,}$$

где  $t_r$  - температура при гололеде.  $t_r = -5^\circ\text{C}$  [ 2. стр. 29 ].

$t_{min}$  - минимальная температура.

$T_o$  - натяжение несущего троса при беспровесном положении контактного провода, даН.

$\alpha$  - температурный коэффициент линейного расширения материала провода,  $1/^\circ\text{C}$ . Значение выражения  $24 \cdot \alpha = 408 \cdot 10^{-6}$  возьмем из [ 3. табл. 11 ].

При  $T_o = T_{max}$

$$l_{кр1} = (1570 + 980) \cdot \sqrt{\frac{408 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 + 35)}{2,19^2 - 1,75^2 + \frac{2 \cdot 1,75 \cdot 980 \cdot (2,19 - 1,75)}{1570}}} = 171,9 \text{ м}$$

При  $T_o > T_{max} - \alpha \cdot E \cdot S \cdot (t_o - t_{min})$ , даН, [ 1. стр. 32 ],

где  $E$  - модуль упругости провода, ГПа.

$S$  - площадь поперечного сечения провода,  $\text{мм}^2$ .

Значение  $\alpha \cdot E \cdot S = 17,32$ , даН/ $^\circ\text{C}$ , возьмем из [ 3. табл. 11 ].

$$T_o = 1570 - 17,32 \cdot (2,5 + 35) = 921 \text{ даН}$$

$$l_{кр2} = (921 + 980) * \sqrt{\frac{408 * 10^{-6} * (-5 + 35)}{2,19^2 - 1,75^2 + \frac{2 * 1,75 * 980 * (2,19 - 1,75)}{921}}} = 115 \text{ м}$$

Так как  $l_3 < l_{кр2}$  ( $55 \text{ м} < 115 \text{ м}$ ), то исходным будет режим минимальной температуры.

3.3. Определение точного значения натяжения несущего троса при беспровесном положении контактного провода.

Определяем  $T_0$ , решая уравнение состояния [ 1. стр. 33 ].

$$t_0 = t_1 + \frac{T_{\max} - T_0}{\alpha * E * S} - \frac{l_3^2}{24 * \alpha} * \left[ \frac{(q_1 + g * K_1 / T_0)^2}{(T_{\max} + K_1)^2} - \frac{g^2}{T_0^2} \right],$$

где величины с индексом " 1 " относятся к исходному режиму - режиму минимальной температуры. Для полукompенсированной подвески  $K_1 = K$  [ 2. стр. 121 ].

$$2,5 = -35 + \frac{1570 - T_0}{17,32} - \frac{55^2}{408 * 10^{-6}} * \left[ \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / T_0)^2}{(1570 + 980)^2} - \frac{1,75^2}{T_0^2} \right]$$

В этом уравнении неизвестным является  $T_0$ , которое определяется методом подбора.

$$T_0 = 1051 \text{ даН}$$

3.4. Определение натяжения нагруженного контактным проводом несущего троса в зависимости от температуры для расчетного пролета по уравнению состояния [ 2. стр. 120 ].

$$t_x = \left[ t_1 - \frac{(q_1 + g * K_1 / T_0)^2 * l_3^2}{24 * \alpha * (T_1 + K_1)} + \frac{T_1}{\alpha * E * S} \right] + \frac{(q_x + g * K_x / T_0)^2 * l_3^2}{24 * \alpha * (T_x + K_x)} - \frac{T_x}{\alpha * E * S}$$

Величины с индексом " 1 " - величины исходного режима минимальной температуры.

Величины с индексом " x " - величины неизвестного режима, при котором производится расчет проводов. Если не учитывать дополнительные нагрузки, то  $q_x = g$ ,  $K_x = K_1 = K$  [ 2. стр. 120 ].

Задаваясь значениями натяжения несущего троса  $T_x$ , будем вычислять соответствующую этому натяжению температуру  $t_x$ .

При  $T_x = 1570 \text{ даН}$

$$t_x = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} - \frac{1570}{17,32} = -35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_x = 1400 \text{ даН}$

$$t_x = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1400 + 980)^2} - \frac{1400}{17,32} = -23,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_x = 1200 \text{ даН}$

$$t_x = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] + \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1200 + 980)^2} - \frac{1200}{17,32} = -8,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_x = 1000$  даН

$$t_x = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] + \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1000 + 980)^2} - \frac{1000}{17,32} = 6,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_x = 800$  даН

$$t_x = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] + \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (800 + 980)^2} - \frac{800}{17,32} = 23,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_x = 600$  даН

$$t_x = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] + \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (600 + 980)^2} - \frac{600}{17,32} = 41,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_x = 400$  даН

$$t_x = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] + \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (400 + 980)^2} - \frac{400}{17,32} = 64,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

По результатам расчетов строим монтажный график зависимости  $T_x(t_x)$ .

3.5. Определение натяжения несущего троса при наибольших дополнительных нагрузках.

Наибольшими дополнительными нагрузками для контактной сети в режиме минимальной температуры являются режим гололеда с ветром и режим ветра максимальной интенсивности. Расчет производится по уравнению состояния.

Режим гололеда с ветром.

$$t_r = \left[ t_1 - \frac{(q_1 + g * K_1 / T_o)^2 * l_g^2}{24 * \alpha * (T_1 + K_1)} + \frac{T_1}{\alpha * E * S} \right] + \frac{(q_r + g * K_x / T_o)^2 * l_g^2}{24 * \alpha * (T_r + K_x)} - \frac{T_r}{\alpha * E * S},$$

где  $t_r$  - температура, при которой наблюдается отложение гололеда на проводах контактной сети.  $t_r = -5 \text{ } ^\circ\text{C}$  [ 1. стр. ].

$$-5 = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] + \frac{(2,19 + 1,75 * 980 / 1051)^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * (T_r + 980)^2} - \frac{T_r}{17,32}$$

В этом уравнении неизвестным является натяжение несущего троса при появлении гололеда. Натяжение несущего троса  $T_r$  определяется методом подбора.

$$T_r = 1214 \text{ даН}$$

Режим ветра максимальной интенсивности.

$$t_b = \left[ t_1 - \frac{(q_1 + g \cdot K_1 / T_o)^2 \cdot I_3^2}{24 \cdot \alpha \cdot (T_1 + K_1)} + \frac{T_1}{\alpha \cdot E \cdot S} \right] + \frac{(q_r + g \cdot K_x / T_o)^2 \cdot I_3^2}{24 \cdot \alpha \cdot (T_b + K_x)} - \frac{T_b}{\alpha \cdot E \cdot S},$$

где  $t_b$  - температура, при которой наблюдается ветер максимальной интенсивности.  $t_b = 5^\circ\text{C}$  [ 1. стр. ].

$$5 = \left[ -35 - \frac{(1,75 + 1,75 \cdot 980 / 1051)^2 \cdot 55^2}{408 \cdot 10^{-6} \cdot (1570 + 980)^2} + \frac{1570}{17,32} \right] + \frac{(1,83 + 1,75 \cdot 980 / 1051)^2 \cdot 55^2}{408 \cdot 10^{-6} \cdot (T_b + 980)^2} - \frac{T_b}{17,32}$$

В этом уравнении неизвестным является натяжение несущего троса при появлении ветра максимальной интенсивности. Натяжение несущего троса  $T_b$  определяется методом подбора.

$$T_b = 1032 \text{ даН}$$

Полученные значения  $T_r$  и  $T_b$  наносим на монтажный график в виде точек.

3.6. Определение стрел провеса несущего троса и контактного провода для действительных пролетов. Согласно задания [ 1. стр. 34 ], расчет ведем для одного пролета. Длина пролета 50 м.

Стрелы провеса несущего троса определяем по выражению [ 2. стр. 109, ф. 6.59 ].

$$F_x = \frac{1}{T_x} \cdot \left[ \frac{q_x \cdot l^2}{8} + H_x \cdot b_x \cdot \frac{q_x}{g_x} - K_x \cdot \left( 1 - \frac{g \cdot T_x}{g_x \cdot T_o} \right) \cdot \frac{q_x \cdot (l - 2 \cdot c)^2}{8 \cdot (T_x + K_x)} \right],$$

где  $H_x$  - натяжение рессорного троса. Согласно рекомендациям [ 3. стр. 99 ]  $H_x = 150$  даН.

$b_x$  - расстояние от точки перегиба рессорного троса до точки крепления несущего троса к консоли.

$$b_x = h - S_{\min},$$

где  $h$  - конструктивная высота цепной подвески.  $h = 1,8$  м [ 3. стр. 49 ]

$S_{\min}$  - минимальная длина струны.  $S_{\min} = 0,8$  м [ 1. стр. 12 ].

$$b_x = 1 - 0,8 = 1 \text{ м}$$

$c$  - расстояние от точки подвеса несущего троса до первой околоопорной струны.  $c = 10$  м [ 2. стр. 83 ].

При  $T_x = 1570$  даН

$$F_x = \frac{1}{1570} \cdot \left[ \frac{1,75 \cdot 50^2}{8} + 150 \cdot 1 - 980 \cdot \left( 1 - \frac{1570}{1051} \right) \cdot \frac{1,75 \cdot (50 - 2 \cdot 10)^2}{8 \cdot (1570 + 980)} \right] = 0,47 \text{ м}$$

При  $T_x = 1354$  даН

$$F_x = \frac{1}{1354} \cdot \left[ \frac{1,75 \cdot 50^2}{8} + 150 \cdot 1 - 980 \cdot \left( 1 - \frac{1354}{1051} \right) \cdot \frac{1,75 \cdot (50 - 2 \cdot 10)^2}{8 \cdot (1354 + 980)} \right] = 0,53 \text{ м}$$

При  $T_x = 1149$  даН

$$F_x = \frac{1}{1149} \cdot \left[ \frac{1,75 \cdot 50^2}{8} + 150 \cdot 1 - 980 \cdot \left( 1 - \frac{1149}{1051} \right) \cdot \frac{1,75 \cdot (50 - 2 \cdot 10)^2}{8 \cdot (1149 + 980)} \right] = 0,61 \text{ м}$$

При  $T_x = 1019$  даН



$$F_x = \frac{1}{1019} * \left[ \frac{1,75 * 50^2}{8} + 150 * 1 - 980 * \left( 1 - \frac{1019}{1051} \right) * \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (1019 + 980)} \right] = 0,68 \text{ м}$$

При  $T_x = 837$  даН

$$F_x = \frac{1}{837} * \left[ \frac{1,75 * 50^2}{8} + 150 * 1 - 980 * \left( 1 - \frac{837}{1051} \right) * \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (837 + 980)} \right] = 0,81 \text{ м}$$

При  $T_x = 619$  даН

$$F_x = \frac{1}{619} * \left[ \frac{1,75 * 50^2}{8} + 150 * 1 - 980 * \left( 1 - \frac{619}{1051} \right) * \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (619 + 980)} \right] = 1,05 \text{ м}$$

Результаты расчетов сводим в монтажную таблицу и строим монтажный график зависимости  $F_x(t_x)$ .

Стрелы провеса контактного провода для действительного пролета определяем по выражению [ 2. стр. 109 ].

$$f_k = \frac{g_x * (l - 2 * c)^2}{8 * (T_x + K_x)} * \left( 1 - \frac{g * T_x}{g_x * T_o} \right)$$

При  $T_x = 1570$  даН

$$f_k = \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (1570 + 980)} * \left( 1 - \frac{1570}{1051} \right) = -0,038 \text{ м}$$

При  $T_x = 1354$  даН

$$f_k = \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (1354 + 980)} * \left( 1 - \frac{1354}{1051} \right) = -0,024 \text{ м}$$

При  $T_x = 1149$  даН

$$f_k = \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (1149 + 980)} * \left( 1 - \frac{1149}{1051} \right) = -0,009 \text{ м}$$

При  $T_x = 1019$  даН

$$f_k = \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (1019 + 980)} * \left( 1 - \frac{1019}{1051} \right) = 0,003 \text{ м}$$

При  $T_x = 837$  даН

$$f_k = \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (837 + 980)} * \left( 1 - \frac{837}{1051} \right) = 0,022 \text{ м}$$

При  $T_x = 619$  даН

$$f_k = \frac{1,75 * (50 - 2 * 10)^2}{8 * (619 + 980)} * \left( 1 - \frac{619}{1051} \right) = 0,051 \text{ м}$$

Результаты расчетов сводим в монтажную таблицу и строим монтажный график зависимости  $f_k(t_x)$ .

### 3.7. Определение натяжения и стрел провеса ненагруженного несущего троса.

Натяжение ненагруженного несущего троса определяем по выражению [ 2. стр. 147 ].

$$t_x = \left( t_0 - \frac{g^2 * l_3^2}{24 * \alpha * T_0^2} + \frac{T_0}{\alpha * E * S} \right) + \frac{g_r^2 * l_3^2}{24 * \alpha * T_p^2} - \frac{T_p}{\alpha * E * S}$$

Задаваясь значениями натяжений ненагруженного ( контактным проводом при монтаже ) несущего троса  $T_p$ , будем получать температуру  $t_x$ .

При  $T_p = 1200$  даН

$$t_x = \left( 2,5 - \frac{1,75^2 + 55^2}{408 * 10^{-6} * 1051^2} + \frac{1051}{17,32} \right) + \frac{0,83^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * 1200^2} - \frac{1200}{17,32} = -23,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_p = 1000$  даН

$$t_x = \left( 2,5 - \frac{1,75^2 + 55^2}{408 * 10^{-6} * 1051^2} + \frac{1051}{17,32} \right) + \frac{0,83^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * 1000^2} - \frac{1000}{17,32} = -10,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_p = 800$  даН

$$t_x = \left( 2,5 - \frac{1,75^2 + 55^2}{408 * 10^{-6} * 1051^2} + \frac{1051}{17,32} \right) + \frac{0,83^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * 800^2} - \frac{800}{17,32} = 4,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_p = 600$  даН

$$t_x = \left( 2,5 - \frac{1,75^2 + 55^2}{408 * 10^{-6} * 1051^2} + \frac{1051}{17,32} \right) + \frac{0,83^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * 600^2} - \frac{600}{17,32} = 22,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_p = 400$  даН

$$t_x = \left( 2,5 - \frac{1,75^2 + 55^2}{408 * 10^{-6} * 1051^2} + \frac{1051}{17,32} \right) + \frac{0,83^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * 400^2} - \frac{400}{17,32} = 51,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

При  $T_p = 200$  даН

$$t_x = \left( 2,5 - \frac{1,75^2 + 55^2}{408 * 10^{-6} * 1570^2} + \frac{1570}{17,32} \right) + \frac{0,83^2 * 55^2}{408 * 10^{-6} * 200^2} - \frac{200}{17,32} = 158,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Результаты расчетов сводим в монтажную таблицу и строим монтажный график зависимости  $T_p$  (  $t_x$  ).

Стрелы провеса ненагруженного несущего троса для действительного пролета длиной 50 м определим по выражению [ 2. стр. 147 ].

$$F_p = \frac{g_r * l^2}{8 * T_p}$$

При  $T_p = 1390$  даН

$$F_p = \frac{0,83 * 50^2}{8 * 1390} = 0,19 \text{ м}$$

При  $T_p = 1151$  даН

$$F_p = \frac{0,83 * 50^2}{8 * 1151} = 0,23 \text{ м}$$

При  $T_p = 928$  даН

$$F_p = \frac{0,83 * 50^2}{8 * 928} = 0,28 \text{ м}$$

При  $T_p = 793$  даН

$$F_p = \frac{0,83 * 50^2}{8 * 793} = 0,33 \text{ м}$$

При  $T_p = 621$  даН

$$F_p = \frac{0,83 * 50^2}{8 * 621} = 0,42 \text{ м}$$

При  $T_p = 461$  даН

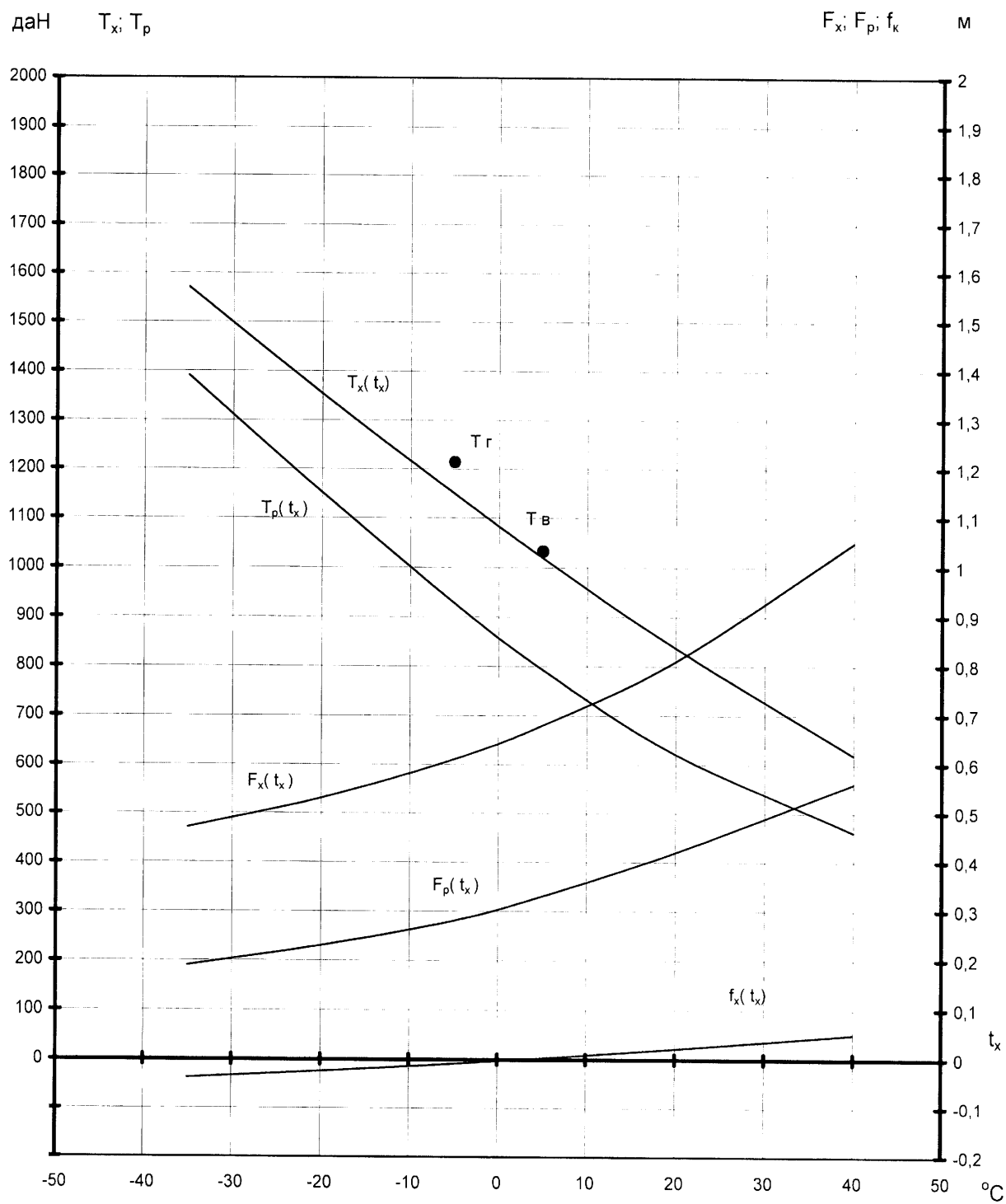
$$F_p = \frac{0,83 * 50^2}{8 * 461} = 0,56 \text{ м}$$

Результаты расчетов сводим в монтажную таблицу и строим монтажный график зависимости  $F_p(t_x)$ .

Итоговая монтажная таблица расчета несущего троса.

$t_x, ^\circ\text{C}$	$T_x, \text{даН}$	$T_p, \text{даН}$	$l = 50 \text{ м}$		
			$F_x, \text{м}$	$F_p, \text{м}$	$f_k, \text{м}$
-35	1570	1390	0,47	0,19	-0,038
-20	1354	1151	0,53	0,23	-0,024
-5	1149	928	0,61	0,28	-0,009
5	1019	793	0,68	0,33	0,003
20	837	621	0,81	0,42	0,022
40	619	461	1,05	0,56	0,051

# Монтажный график



#### 4. Выбор способа прохода контактной подвески в искусственных сооружениях на станции и перегоне.

Пешеходный мост на станции.

Высота пешеходного моста 8,3 м, ширина пешеходного моста [ 1. стр.48 ].

Проверим возможность использовать пешеходный мост в качестве опоры по выражению [ 3. форм. 457 ].

$$h \geq h_{kmin} + f_{kmax} + e_{min} + F_{max} + h_{и},$$

где  $h_{kmin}$  - минимально допустимая высота контактного провода над уровнем головки рельса ( УГР ).  $h_{kmin} = 5750$  мм [ 3. стр. 61 ].

$f_{kmax}$  - наибольшая местная стрела провеса контактного провода.  $f_{kmax} = 51$  мм ( смотри пункт 3.6. расчета анкерного участка ).

$e_{min}$  - минимальное расстояние между несущим тросом и контактным проводом в середине пролета.  $e_{min} = 0,8$  м [ 1. стр. 12 ].

$F_{max}$  - максимальная стрела провеса несущего троса.  $F_{max} = 1050$  мм ( смотри пункт 3.6. расчета анкерного участка ).

$h_{и}$  - длина ( высота ) гирлянды изоляторов.  $h_{и} = 0,9$  м = 900 мм ( смотри пункт 2.2. расчета длин пролетов ).

$h$  - высота пешеходного моста.

$$8300 \geq 5750 + 51 + 800 + 1050 + 900 = 8551 \text{ мм}$$

Условие не выполняется. Следовательно, мост надо расположить в середине пролета. Проверим, можно ли пропустить подвеску под ним свободно, закрепив отбойники несущего троса выше нижнего края моста [ 3. стр. 255 форм. 461 ].

$$h \geq h_{kmin} + f_{kmax} + e_{min} + F_{max} - F_{min} + y_{tmin} + h_{tmin} + h_{min},$$

где  $F_{min}$  - минимальная стрела провеса несущего троса.  $F_{min} = 470$  мм ( смотри пункт 3.6. расчета анкерного участка ).

$y_{tmin}$  - подъем несущего троса при минимальной температуре на расстоянии  $x$  от середины пролета. Так как мост располагается в середине пролета, принимаем

$h_{tmin}$  - подъем несущего троса под воздействием токоприемника при минимальной температуре. Принимаем  $h_{tmin} = 150$  мм.

$h_{min}$  - минимально допустимое расстояние от частей, находящихся под напряжением, до заземленных частей.  $h_{min} = 350$  мм [ 3. стр. 246, табл. 66 ].

$$8300 \geq 5750 + 51 + 800 + 1050 - 470 + 150 + 350 = 7681 \text{ мм}$$

Условие выполняется. Следовательно указанный способ прохода подвески под пешеходным мостом осуществим [ 3. рис. 119 а ].

Мост через реку. Высота моста 6,5 м.

Так как мост располагается не в середине анкерного участка, то применить П - образные надставки нельзя. Следовательно следует установить поворотные изолированные консоли. Для определения высоты стоек воспользуемся выражением [ 3. форм. 465 ].

$$h'_{min} = [ h_{kmin} + f_{kmax} + e_{min} + F_{max} + 0,3 ] - h,$$

где  $f_{kmax}$  - максимальная стрела провеса контактного провода компенсированной под-

вески. Принимаем  $f_{kmax} = 30$  мм.

$h_{kmin}$  - наименьшая высота контактного провода в местах, где не предусмотрена стоянка подвижного состава [ 3. стр. 61 ].

$F_{max}$  - стрела провеса несущего троса компенсированной подвески. Определим ее по выражению [ 3. форм. 229 ].

$$F_{max} = \frac{g_x + l^2}{8 * T_x} - f_k * \frac{K}{T_x} + b_x * \frac{H_x}{T_x},$$

где  $g_x$  - суммарная нагрузка от веса подвески ( смотри пункт 1.4. расчета длин пролетов ).

$l$  - длина пролета на мосту.  $l = 40$  м.

$T_x$  - натяжение компенсированного несущего троса ( смотри пункт 1.12. расчета длин пролетов ).

$b_x$  - расстояние от точки перегиба рессорного троса до точки крепления несущего троса к консоли. Принимаем  $b_x = 0,3$  м.

$f_k$  - стрела провеса контактного провода компенсированной подвески ( смотри пункт 4 ).

$H_x$  - натяжение рессорного троса.  $H_x = 150$  даН [ 3. стр. 124 ].

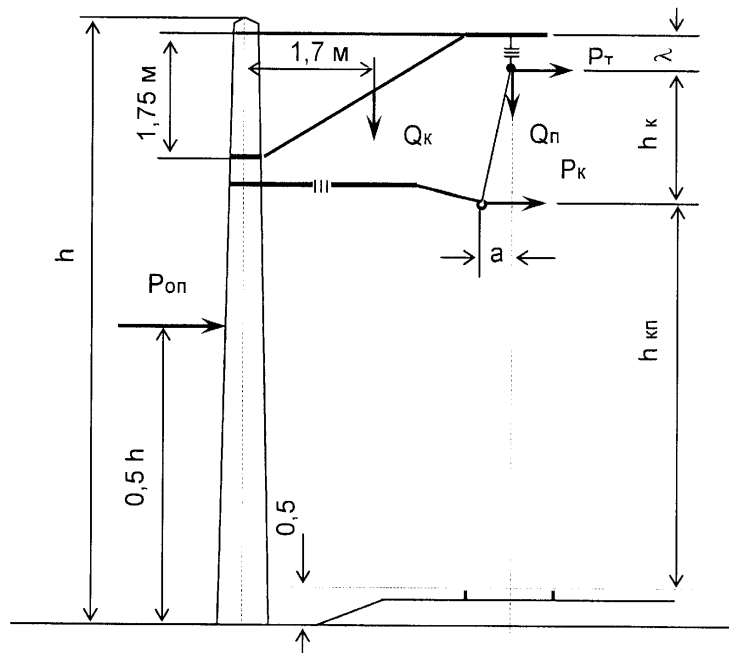
$$F_{max} = \frac{1,75 * 40^2}{8 * 1420} - 0,03 * \frac{980}{1420} + 0,3 * \frac{150}{1420} = 0,26 \text{ м} = 260 \text{ мм}$$

Определяем высоту стоек поворотных изолированных консолей.

$$h'_{min} = [ 5675 + 30 + 800 + 260 + 300 ] - 6500 = 565 \text{ мм}$$

## 5. Расчеты к подбору опор на перегоне.

Составим расчетную схему промежуточной опоры.



Расчет опор производим по методике предложенной [ 3. стр. 210 ]. Принимаем для установки железобетонные опоры типа С 136.6 с фундаментной частью и составляем расчетную схему [ 1. стр. 37 ].

Нагрузки на несущий трос и контактный провод возьмем из расчета длин пролетов. Сила тяжести консоли с тягой приведена в [ 1. стр. 36 ]. Все нагрузки сведем в таблицу, в которой не указываются нагрузки при минимальной температуре, так как при компенсированной контактной подвеске этот режим не будет определять максимальные изгибающие моменты, необходимые для подбора опор.

Длина пролета на прямом участке пути 70 м, на кривой радиусом  $R_1$  - 62 м.

Виды нагрузок от	Значения нагрузок при режимах	
	гололеда с ветром	максимального ветра
веса контактной подвески, даН/м	2,18	1,75
давления ветра на несущий трос, даН/м	0,26	0,55
давления ветра на контактный провод, даН/м	0,16	0,42
веса одной консоли, даН	87	60

Используя данные вышеприведенной таблицы, определим нормативные нагрузки на опоры в необходимых расчетных режимах для заданных участков трассы и длин пролетов.

Нагрузки от веса контактной подвески определим по формуле [ 3. форм. 24 ], принимая, что нагрузка от веса гирлянды изоляторов с арматурой и части веса фиксатора передается на несущий трос в размере 30 даН, то есть

$$G_n = g \cdot l + 30, \text{ даН}$$

Нагрузку от изменения направления проводов на кривой рассчитаем по формуле [ 3.

форм. 41 ].

$$P_{из} = \frac{H * l}{R}, \text{ даН,}$$

где H - натяжение контактного провода ( несущего троса ), даН.

Нагрузку от изменения направления проводов контактной подвески при отводе их на анкерную опору рассчитаем по формуле [ 3. форм. 41 ].

$$P_{иза} = \frac{H * z}{l}, \text{ даН,}$$

где z - расстояние от оси пути до оси опоры, м.

$$z = \Gamma + 0,5 * d,$$

где  $\Gamma$  - габарит установки опоры, м. Согласно [ 4. стр. 104 ] принимаем нормальный габарит промежуточной и переходной опоры на прямом участке пути - 3,1 м, на кривой радиусом 600 м при расположении опоры на внутренней стороне кривой - 3,5 м, на внешней стороне кривой - 3,2 м. Габарит анкерной опоры увеличиваем на 0,2 м по сравнению с нормальным габаритом опор для обеспечения возможности размещения грузов компенсаторов в две гирлянды.

d - диаметр опоры на уровне головок рельсов, м. d = 0,44 м [ 1. стр. 38 ].

Нагрузку от давления ветра на опору определим по формуле [ 3. форм. 31].

$$P_{оп} = 0,0615 * C_x * V_p^2 * S_{оп}, \text{ даН}$$

где  $C_x$  - аэродинамический коэффициент опоры. Для цилиндрических опор  $C_x = 0,7$  [ 1. стр. 37 ].

$V_p$  - расчетная скорость ветра.  $V_p = 23,8$  м/с в режиме максимального ветра.

$V_p = 11,9$  м/с в режиме гололеда с ветром.

$S_{оп}$  - расчетная площадь опоры, м<sup>2</sup>.

$$S_{оп} = (a + b) * h / 2 \text{ [ 1. стр. 38 ],}$$

где a - размер сечения опоры в верхней части. a = 0,29 м.

b - размер сечения опоры на уровне земли. b = 0,44 м.

h - высота опоры, м.

Результаты расчетов нормативных нагрузок, даН, сведен в нижеприведенные таблицы.

Для промежуточной опоры на кривом участке пути.

Режим	$G_{п}$	$P_{т}$	$P_{тиз}$	$P_{к}$	$P_{киз}$	$P_{оп}$	$P_{тиза}$	$P_{киза}$
Максимальный ветер	139	34	147	26	101	85	--	--
Гололед с ветром	165	16	147	10	101	21	--	--

Для переходной опоры на прямом участке пути.

Режим	$G_{п}$	$P_{т}$	$P_{тиз}$	$P_{к}$	$P_{киз}$	$P_{оп}$	$P_{тиза}$	$P_{киза}$
Максимальный ветер	153	38	--	29	--	85	71	49
Гололед с ветром	183	18	--	11	--	21	71	49

Согласно задания, необходимо подобрать промежуточные опоры на прямых и кривых участках пути, переходные и анкерные опоры, а также опоры средней анкеровки. Однако вопрос о необходимости расчета изгибающего момента промежуточных опор можно решить после того, как будут подобраны опоры на кривых участках пути. По рекомендации [ 1. стр. 36 ], в качестве анкерных опор и опор средней анкеровки могут быть использованы опоры СС 136.6-3 с нормативным изгибающим моментом 79 кН\*м и с установкой оттяжек, ввиду того, что значительная



часть нагрузки от натяжения проводов воспринимается оттяжками с анкерами ( у опор средней анкеровки это происходит в аварийных режимах ). Таким образом расчетная часть сводится к определению изгибающего момента у промежуточных опор на кривой и переходной опоры на прямом участке пути. На кривой рассчитаем изгибающий момент у опоры, расположенной как на внутренней, так и на внешней стороне кривой, ввиду того, что планируется прокладка второго пути на перегоне справа по ходу километров. Расчетное направление ветра для опор, расположенных на внешней стороне кривой, примем от опоры на путь, а для опоры, расположенной на внутренней стороне кривой - от пути на опору ( как наиболее тяжелый режим ). Для переходной опоры выполним расчеты для обоих направлений ветра. Изгибающие моменты относительно уровня условного обреза фундамента ( УОФ ) определим по выражению [ 3. форм. 435 ].

$$M_{из} = n_n * G_n * z_n + n_{кн} * G_{кн} * z_{кн} + ( \pm P_T \pm P_{тиз} ) * h_T + ( \pm P_K \pm P_{киз} ) * h_K \pm P_{оп} * h_{оп},$$

$n_n$  и  $n_{кн}$  - соответственно число подвесок и консолей.

$z_n$  и  $z_{кн}$  - соответственно плечи приложения нормативных нагрузок  $G_n$  и  $G_{кн}$ .

$$z_n = \Gamma + 0,5 * d = 3,32 \text{ м.} \quad z_{кн} = 1,7 \text{ м} \quad [ 1. \text{ стр. } 37 ].$$

Подбор промежуточной опоры на внешней стороне кривой:

режим гололеда с ветром

$$M_{из} = 165 * 3,42 + 87 * 1,7 + ( 16 + 147 ) * 8,8 + ( 10 + 101 ) * 7 + 21 * 4,8 = 3024 \text{ даН * м} = 30,2 \text{ кН * м}$$

режим максимального ветра

$$M_{из} = 139 * 3,42 + 60 * 1,7 + ( 34 + 147 ) * 8,8 + ( 26 + 101 ) * 7 + 85 * 4,8 = 3467 \text{ даН * м} = 34,7 \text{ кН * м}$$

Выбираем типовую опору С 136.6-1 [ 3. табл. 51 ].

Подбор промежуточной опоры на внутренней стороне кривой:

режим гололеда с ветром

$$M_{из} = 165 * 3,72 + 87 * 1,7 - ( 16 + 147 ) * 8,8 - ( 10 + 101 ) * 7 - 21 * 4,8 = -1551 \text{ даН * м} = -16 \text{ кН * м}$$

режим максимального ветра

$$M_{из} = 139 * 3,72 + 60 * 1,7 - ( 34 + 147 ) * 8,8 - ( 26 + 101 ) * 7 - 21 * 4,8 = -2312 \text{ даН * м} = -23 \text{ кН * м}$$

Выбираем типовую опору С 136.6-1 [ 3. табл. 51 ].

Подбор переходной опоры на прямом участке пути:

ветер от опор на путь

режим гололеда с ветром

$$M_{из} = 2 * 183 * 3,32 + 2 * 87 * 1,7 + ( 2 * 18 - 71 ) * 8,8 + ( 2 * 11 - 49 ) * 7 + 21 * 4,8 = 1115 \text{ даН * м} = 11,2 \text{ кН * м}$$

режим максимального ветра

$$M_{из} = 2 * 153 * 3,32 + 2 * 60 * 1,7 + ( 2 * 38 - 71 ) * 8,8 + ( 2 * 29 - 49 ) * 7 + 85 * 4,8 = 1827 \text{ даН * м} = 18,3 \text{ кН * м}$$

ветер от пути на опору

режим гололеда с ветром

$$M_{из} = 2 * 183 * 3,32 + 2 * 87 * 1,7 + ( -2 * 18 - 71 ) * 8,8 + ( -2 * 11 - 49 ) * 7 - 21 * 4,8 = -28 \text{ даН * м} = -0,3 \text{ кН * м}$$

режим максимального ветра

$$M_{из} = 2 * 153 * 3,32 + 2 * 60 * 1,7 + ( -2 * 38 - 71 ) * 8,8 + ( -2 * 29 - 49 ) * 7 - 85 * 4,8 = -1139 \text{ даН * м} = -11 \text{ кН * м}$$

Выбираем типовую опору С 136.6-1 [ 3. табл. 51 ].

Ввиду того, что промежуточная опора на внутренней стороне кривой наименьшего радиуса была выбрана типа С 136.6-1 с расчетным изгибающим моментом 34,7 кН\*м, то можно сделать заключение, что и на кривых большего радиуса и на прямых при габарите от 3,1 до 5,7 м в качестве промежуточных консольных опор могут быть применены опоры С 136.6-1.

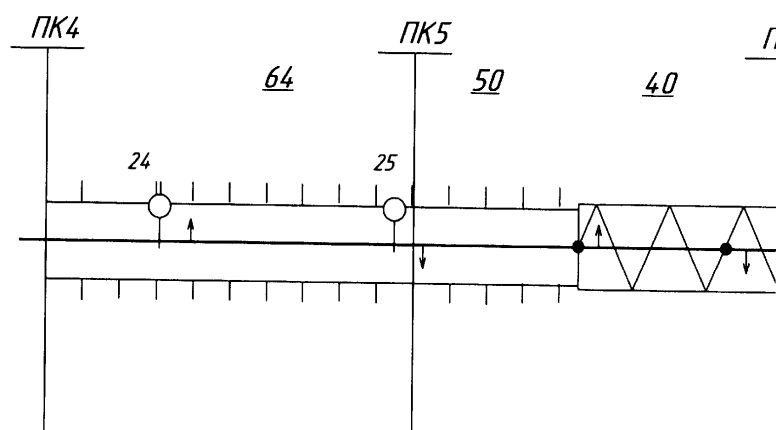
#### Использованная литература.

1. Контактная сеть . Задание на курсовой проект с методическими указаниями. М.: 1991 г.
2. Марквардт К.Г. Контактная сеть . М. Транспорт, 1994. 335 с.
3. Фрайфельд А.В. Проектирование контактной сети. М.: Транспорт, 1984. 327 с.
4. Дворовчикова Т.В., Зимакова А.Н. Электроснабжение и контактная сеть электрифицированных железных дорог. ( Пособие по дипломному проектированию ). М.: Транспорт, 1989. 168 с.

Несущая способность опор типа С136.6 (СС136.6)	
Габариты опор, м.	

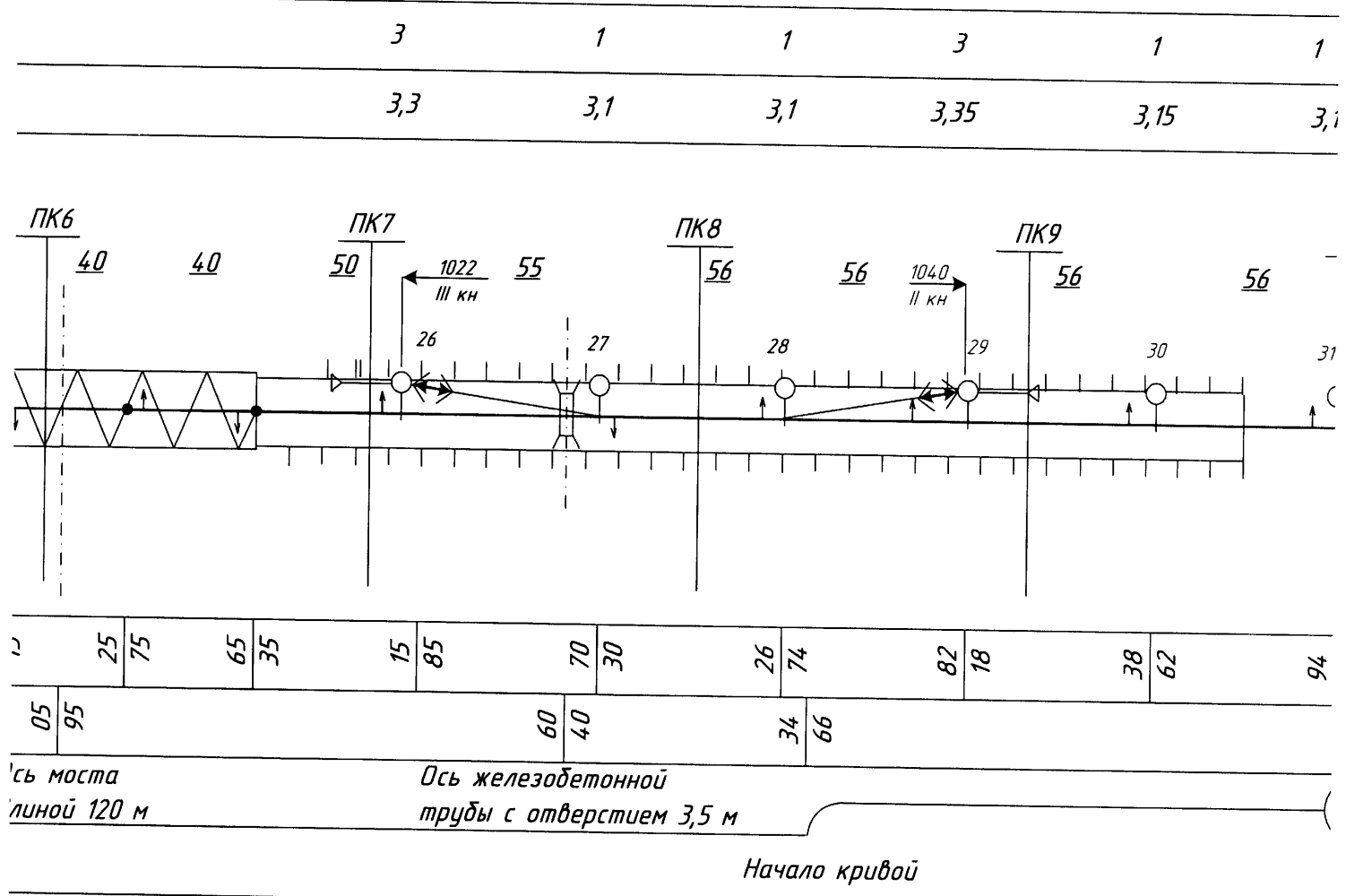
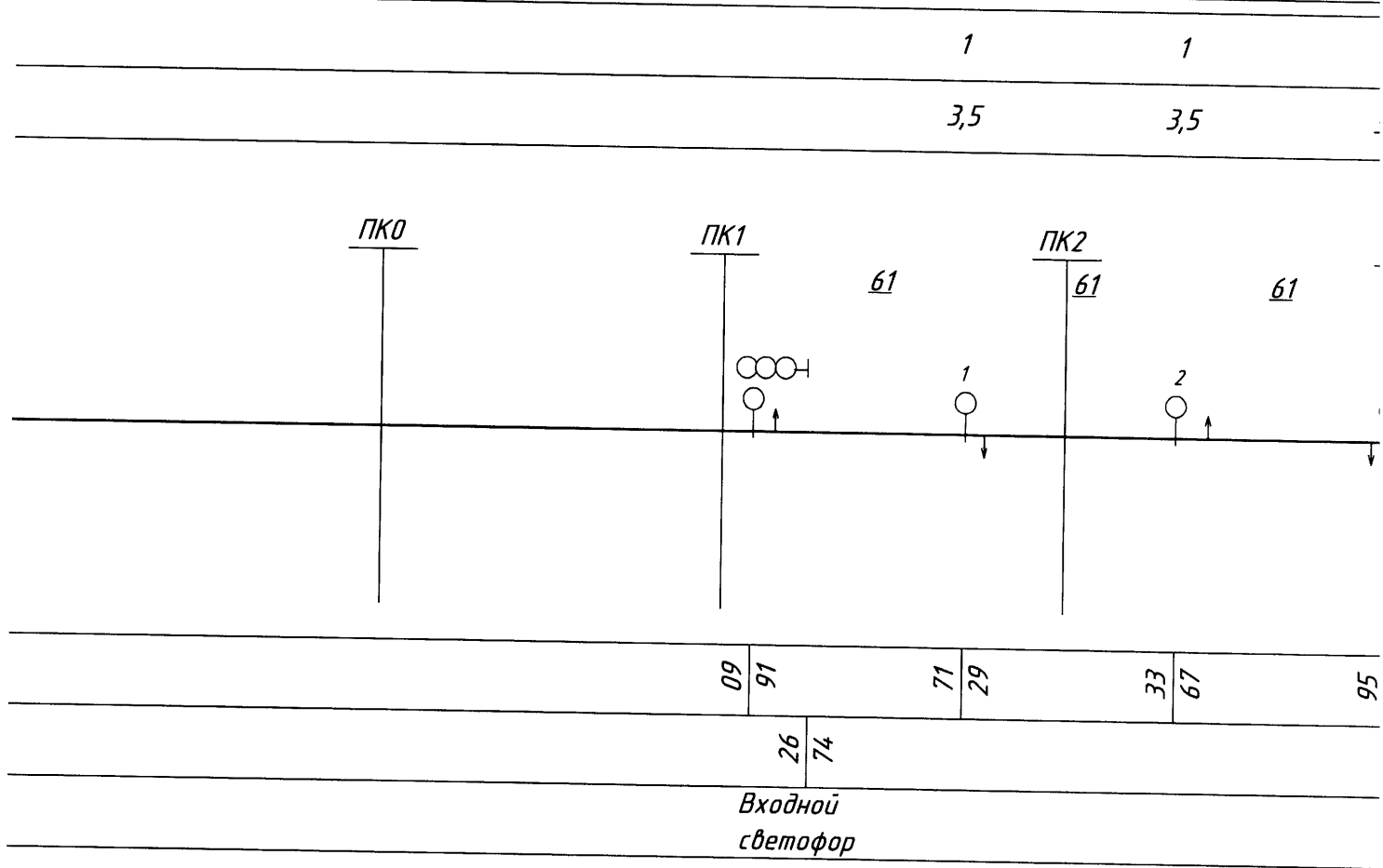
Пикет опор	
Пикет искусственных сооружений	
План линии	

Несущая способность опор типа С136.6 (СС136.6)	1	1
Габариты опор, м.	3,1	3,1



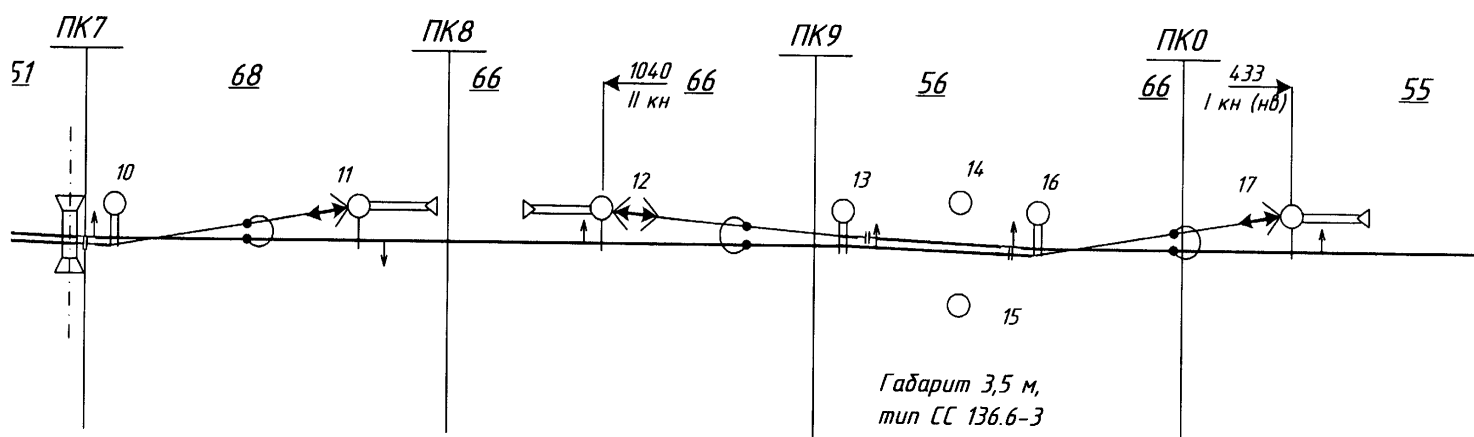
Пикет опор	31	69	95	05	45	55	85	15
Пикет искусственных сооружений								
План линии								

Ось  
дли.



$$R=1000 \text{ м}, L=400 \text{ м}$$

1	3	3	1	3	1	3
3,1	3,3	3,35	3,3	3,35	3,15	3,35

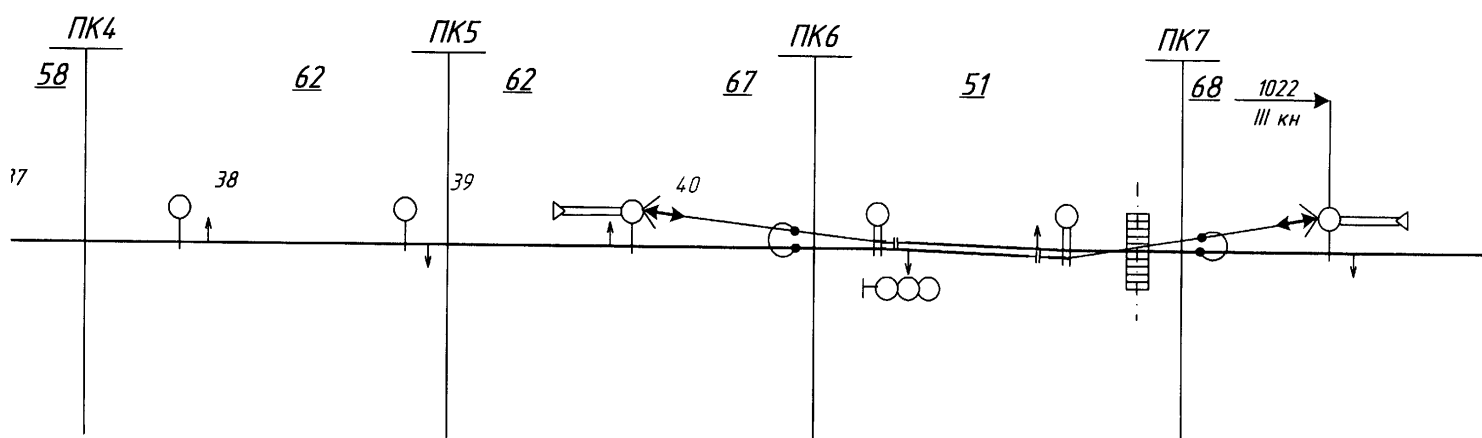


08	92	76	24	42	58	08	92	64	36	30	70	85
96	04			20	80							

вой Начало кривой 25  $R=850 \text{ м}, L=414 \text{ м}$

Ось каменной трубы с отверстием 1,1 м

1	1	3
3,1	3,1	3,3



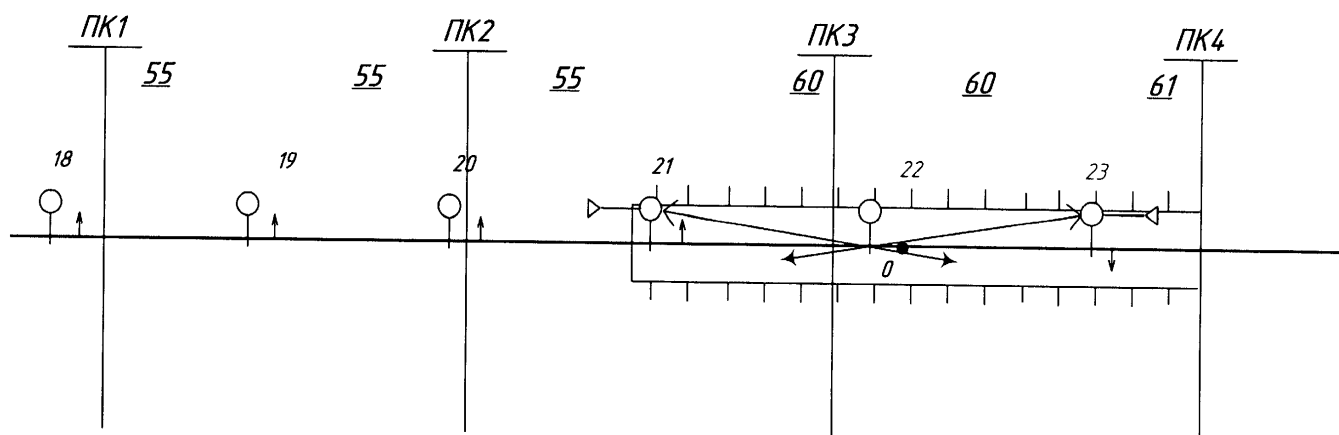
26	74	88	12	50	50	17	83	68	31	37	63
						12	88		88	12	

Входной светофор  
следующей станции

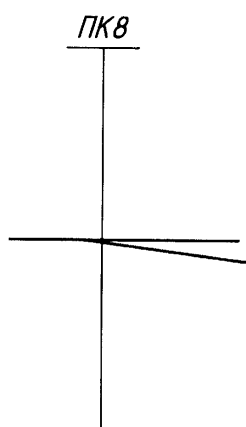
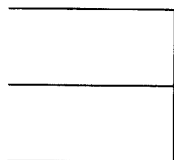
Ось переезда  
шириной 3м

Первая  
следующей

1	1	1	3	1	3
3,15	3,15	3,15	3,1	3,1	3,1



85	15	40	60	95	05	50	50	10	90	70	30
						34	66				
М											
Конец кривой											



94	06
ая стрелка	
ющей станции	

*Спецификация анкерных участков*

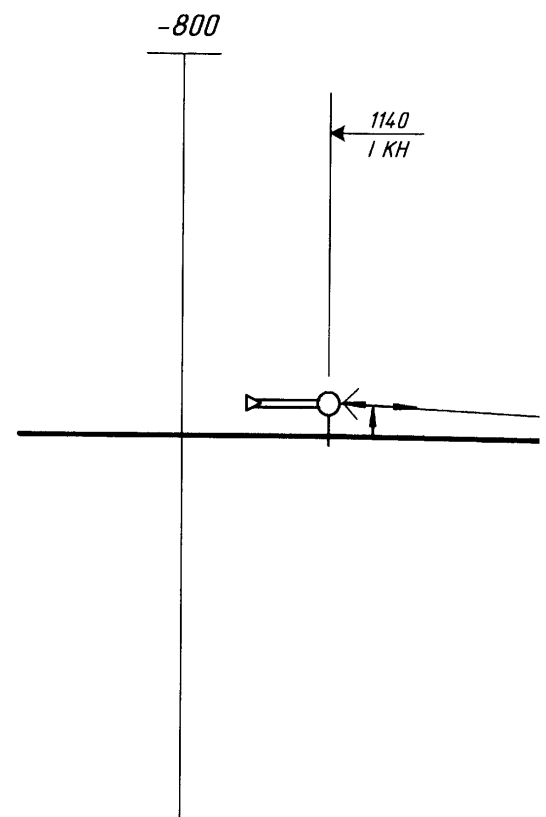
<i>Провод</i>	<i>I кн (нв)</i>	<i>II кн</i>	<i>III кн</i>	<i>Всего</i>
<i>М-120</i>	<i>438</i>	<i>1151</i>	<i>1335</i>	<i>2924</i>
<i>МФ-100</i>	<i>438</i>	<i>1151</i>	<i>1335</i>	<i>2924</i>

<i>Тип опор</i>	<i>С 136.6-1</i>	<i>СС 136.6-3</i>	<i>Итого</i>
<i>Количество опор</i>	<i>27</i>	<i>13</i>	<i>40</i>



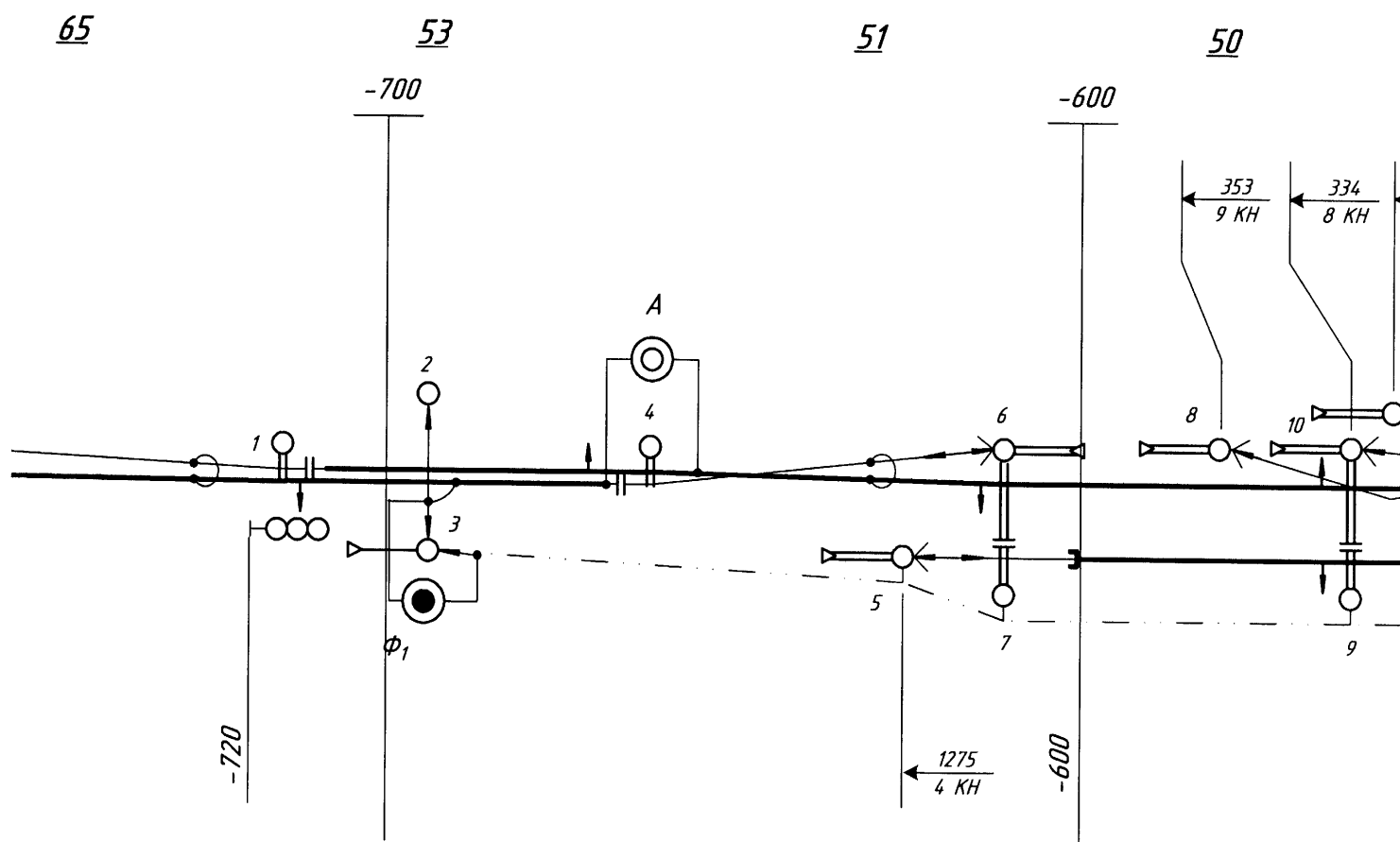


<i>Пикет опоры</i>	<i>-780</i>
<i>Габарит опоры, м</i>	
<i>Номер опоры</i>	



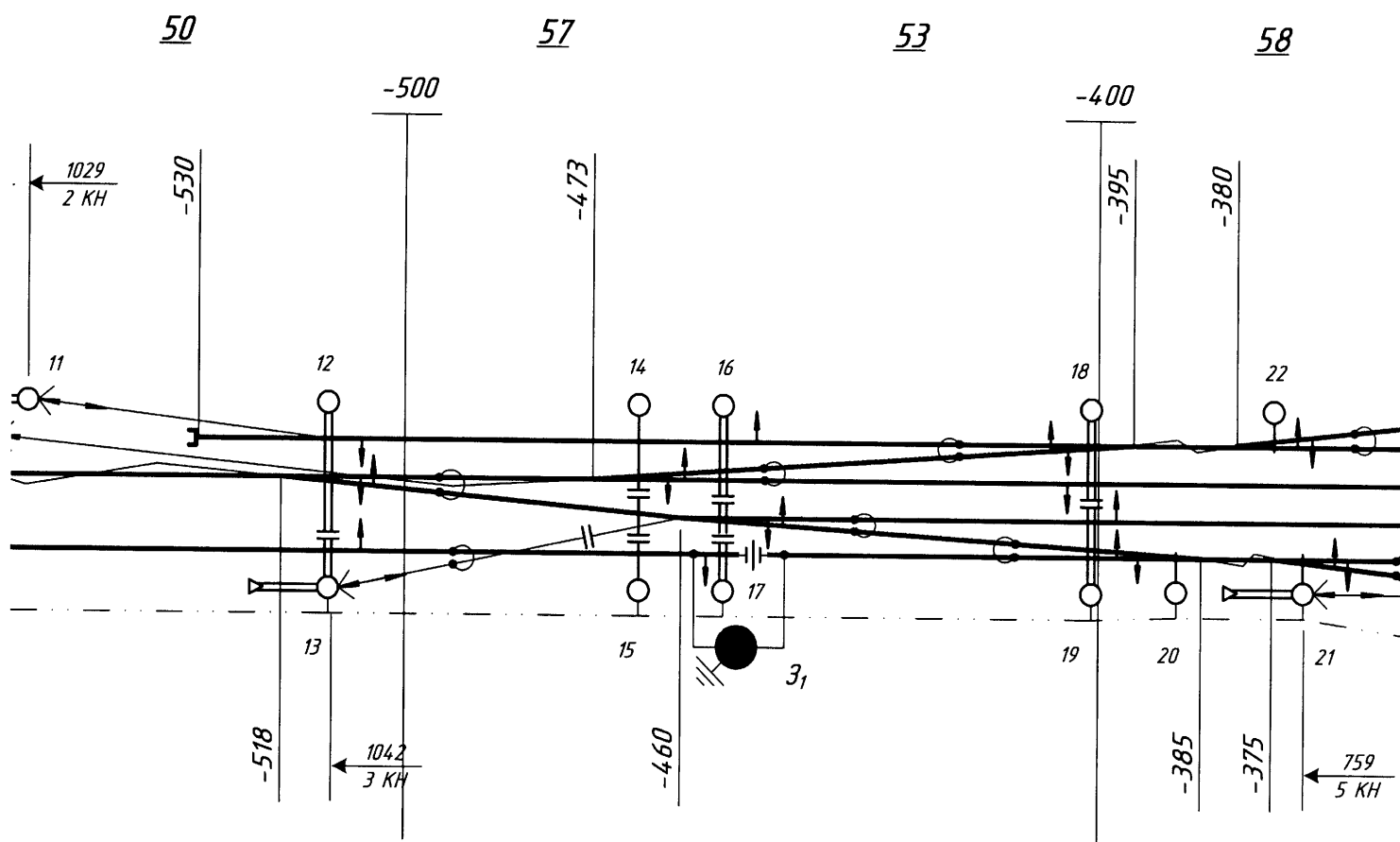
<i>Номер опоры</i>	
<i>Габарит опоры, м</i>	
<i>Пикет опоры</i>	

-715	-695	-662	-611	-580	-560
3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,3
1	2	4	6	8	10



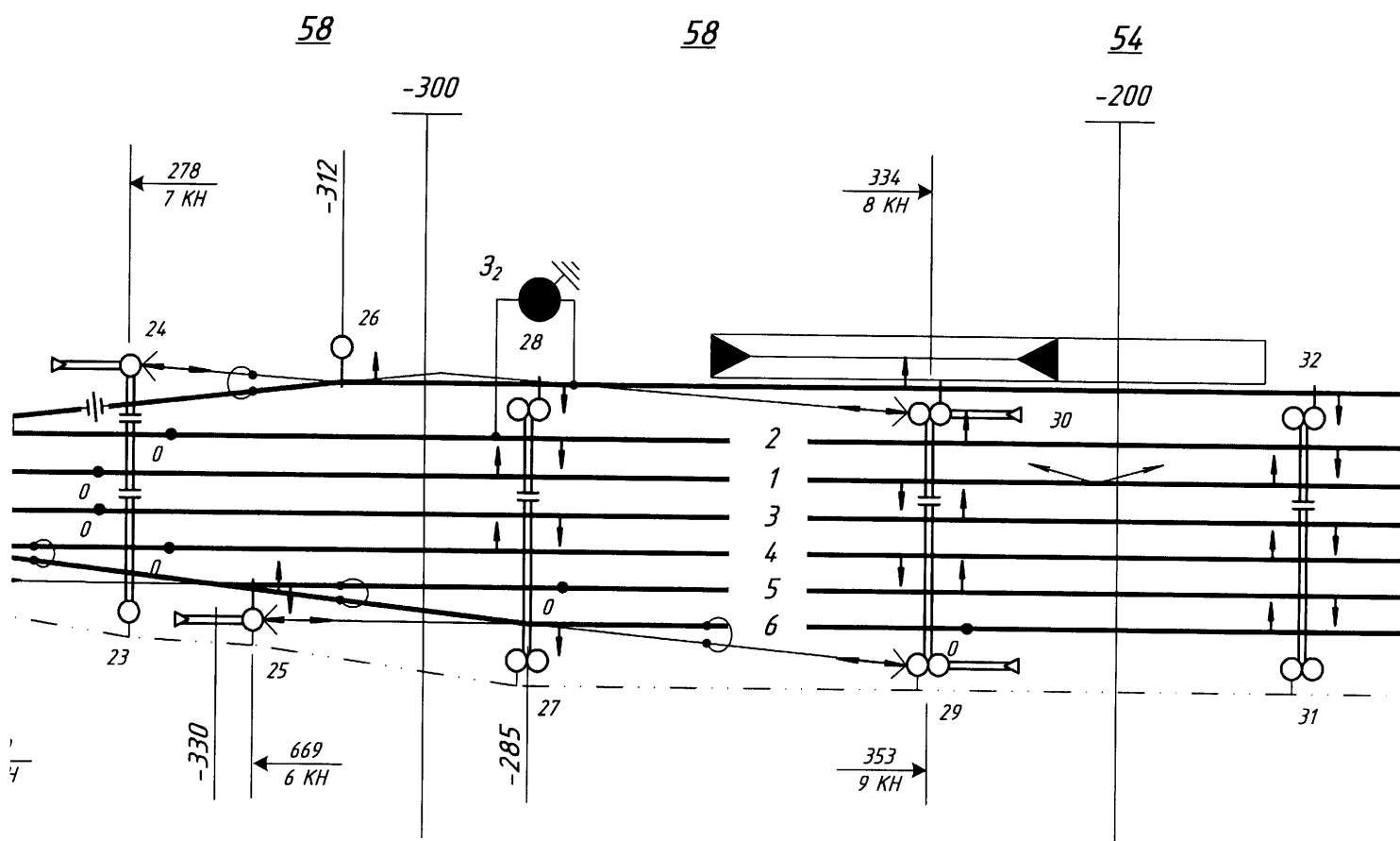
3	5	7	9
3,2 к оси 3 нуму	по оси 4 нуму	4,0 к оси 4 нуму	4
-695	-625	-611	-561

561	-555	-511	-466	-454	-401	-374
1,3	5,6	4	4	4	3,1	3,25
10	11	12	14	16	18	22



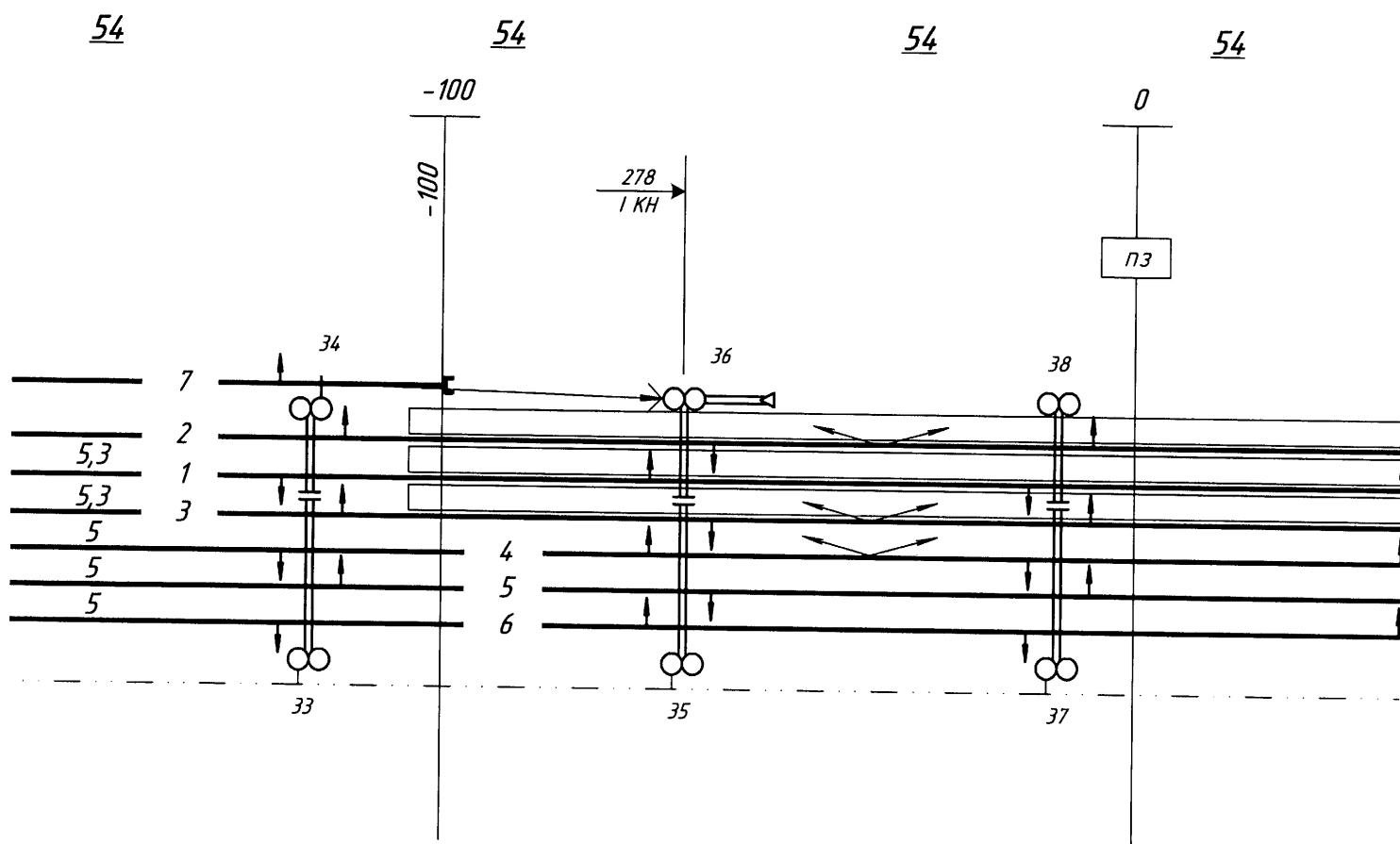
13	15	17	19	20	21
4	3,1 к оси 4 нуму	3.2	3,1	3,1	3,45
-511	-466	-454	-401	-388	-370

-343	-312	-285	-227	-173
3,3	3,2	по оси междупутья	по оси междупутья	по оси междупутья
24	26	28	30	32



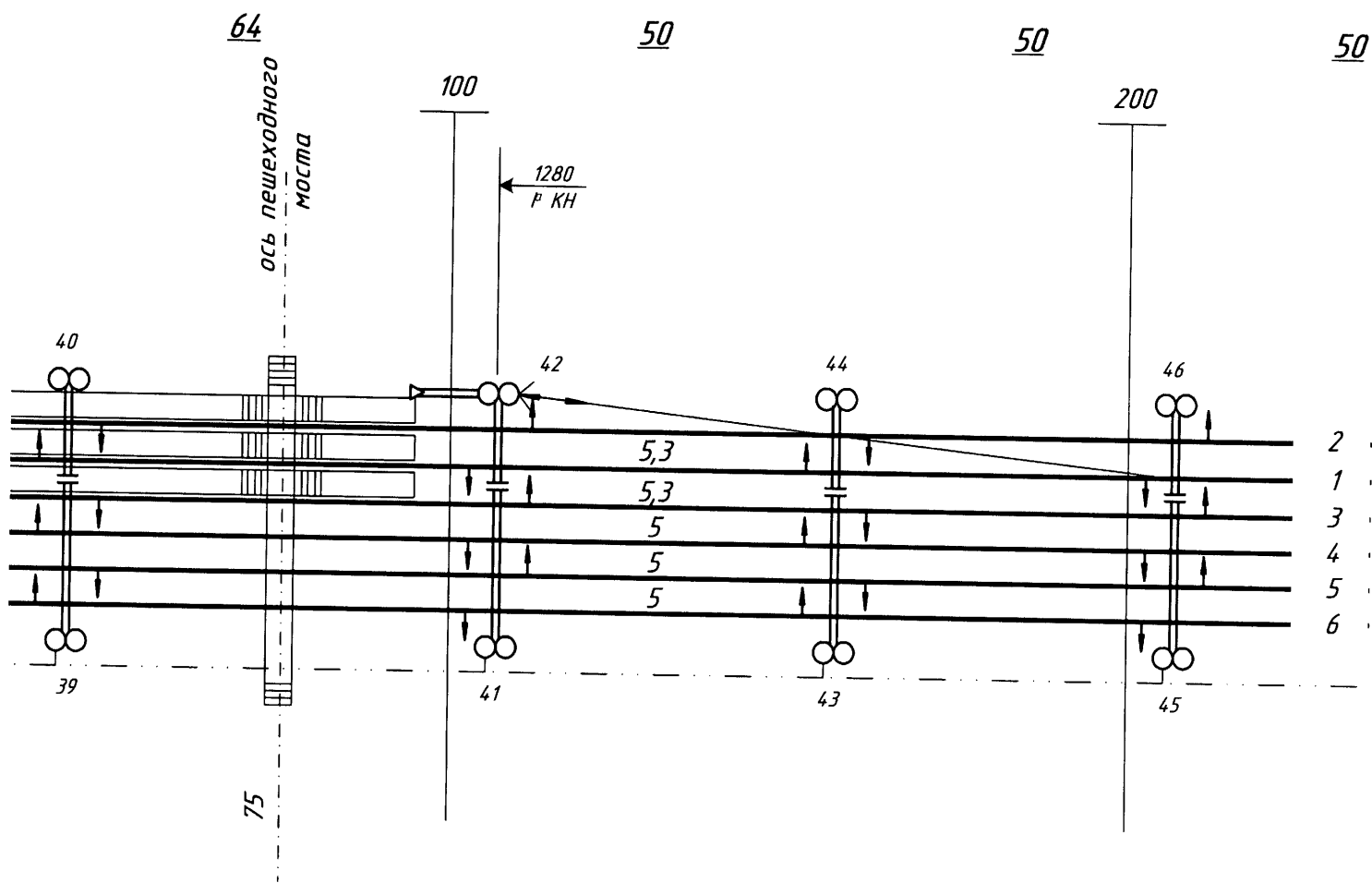
23	25	27	29	31
3,1	3,45	3,2	3,3	3,1
-343	-325	-285	-227	-173

-119	-65	-11
по оси междупутья	4	4
34	36	38



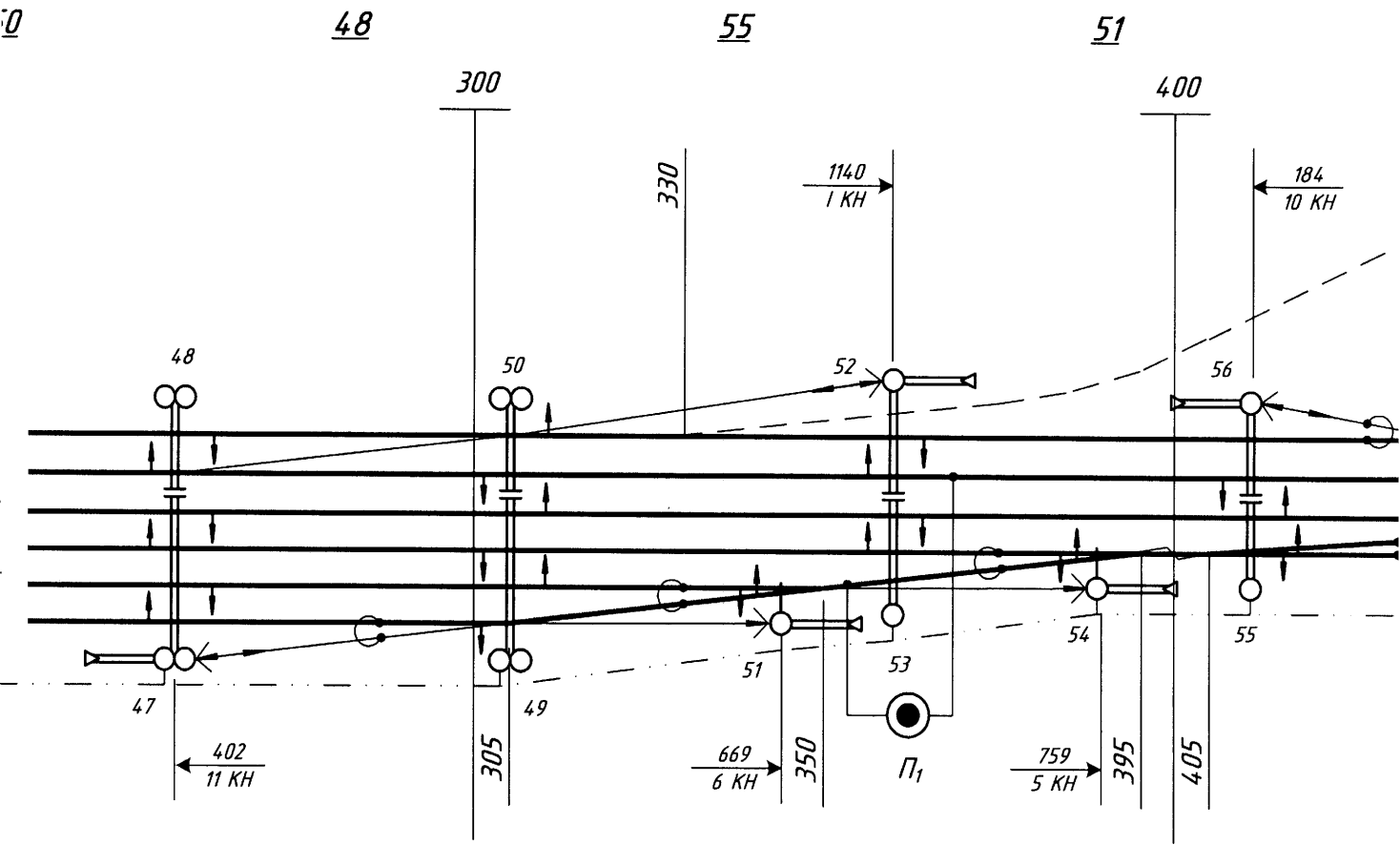
33	35	37
3,1	3,1	3,1
-119	-65	-11

43	107	157	207
4	4	3,1	3,1
40	42	44	46



39	41	43	45
3,1	3,1	3,1	3,1
43	107	157	207

257	305	360	411
3,1	3,1	3,1	3,3
48	50	52	56

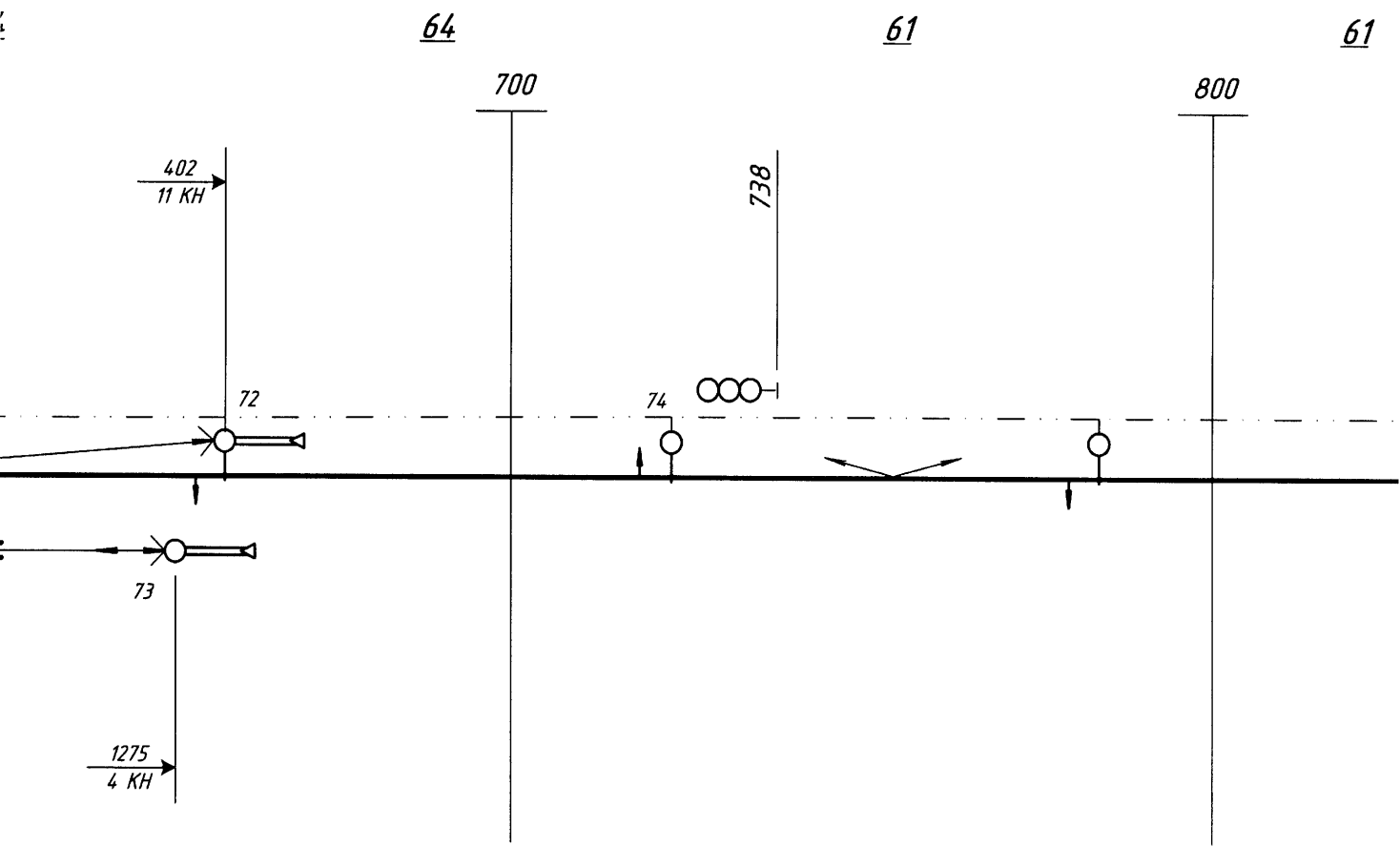


47	49	51	53	54	55
3,3	3,2	3,45	3,1	3,45	3,1
257	305	344	360	389	411





555	595	659	723	784
5,6	3,1	3,1	3,1	
69	70	72	74	



73
по оси туника
655

845

906

967

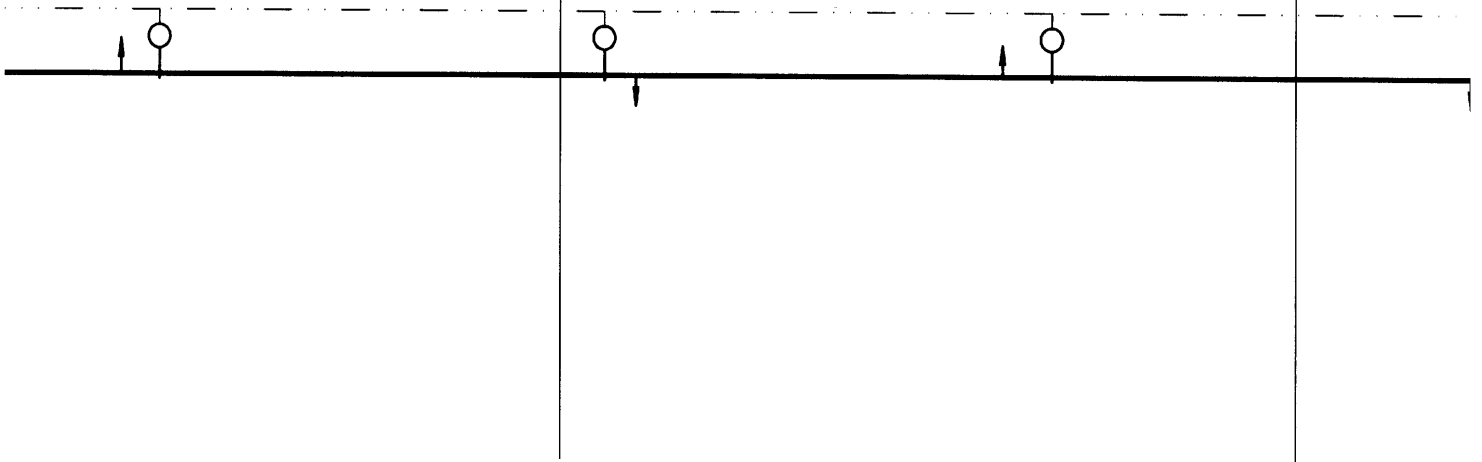
61

900

61

61

1000



1028

1088

1148

1208

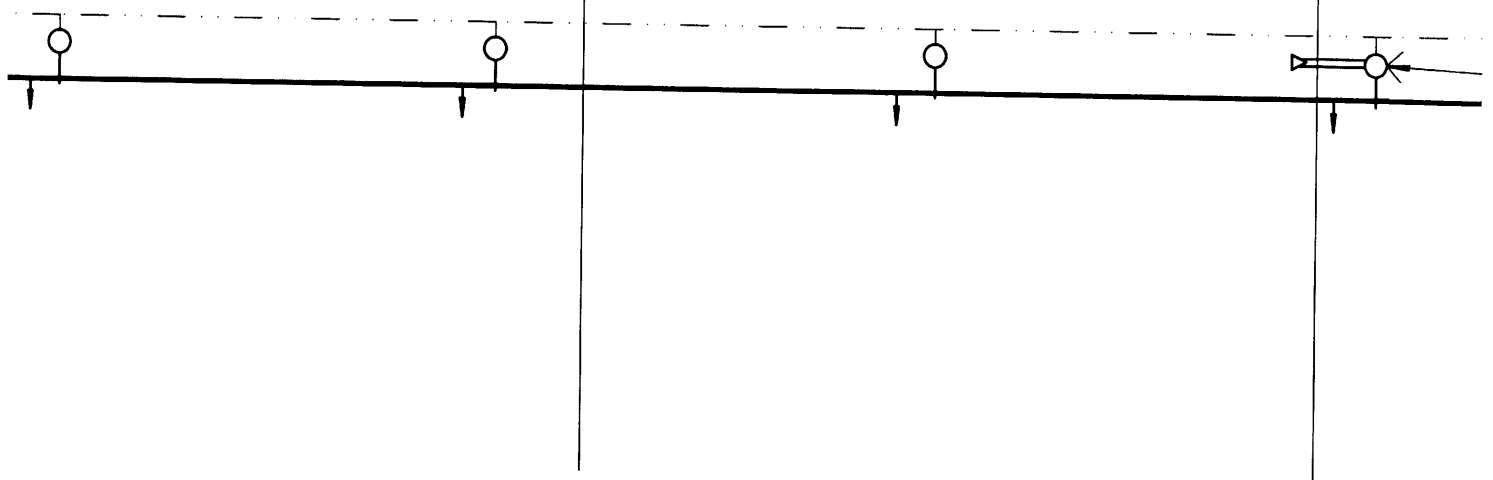
60

60

60

1100

1200



1268

1319

1387

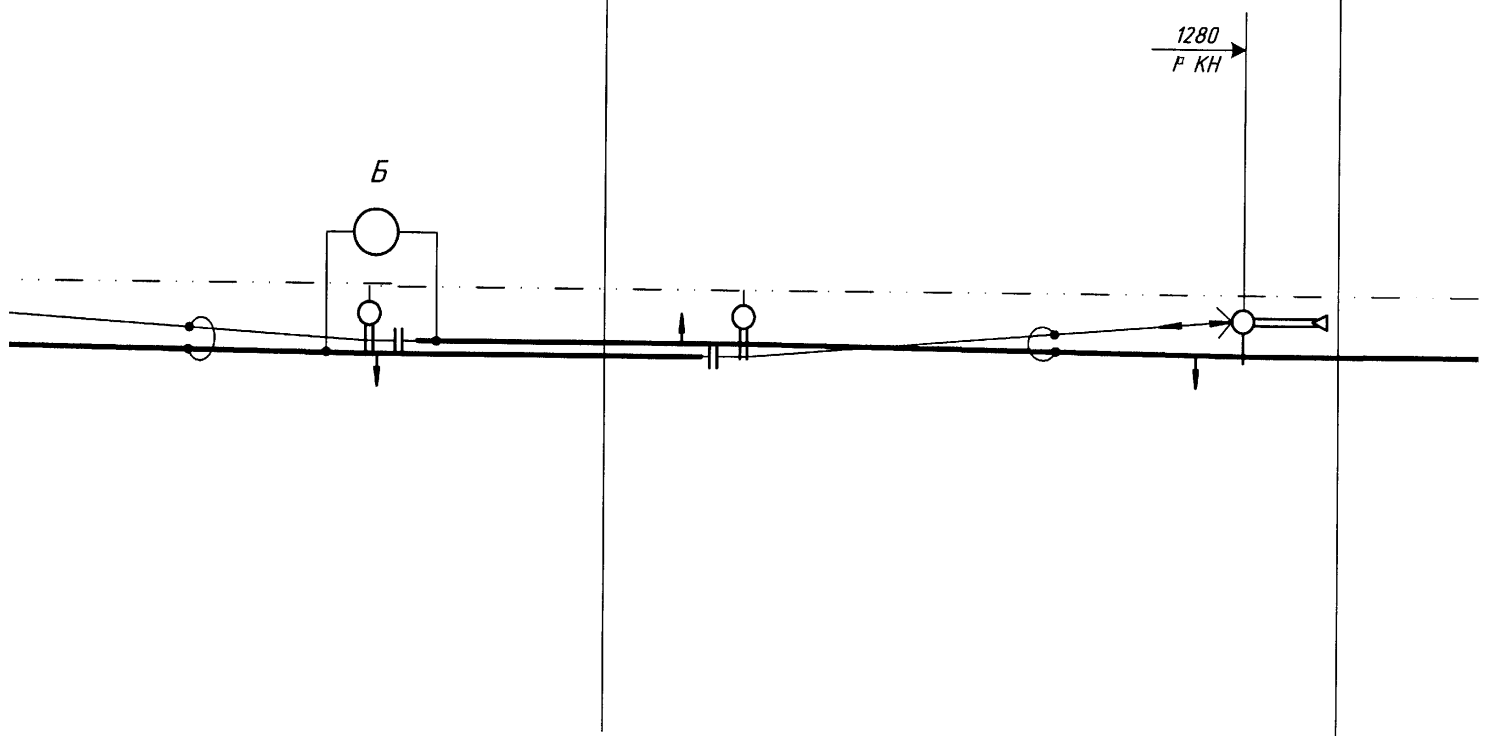
60

51

68

1300

1400



1453

1519

1575

66

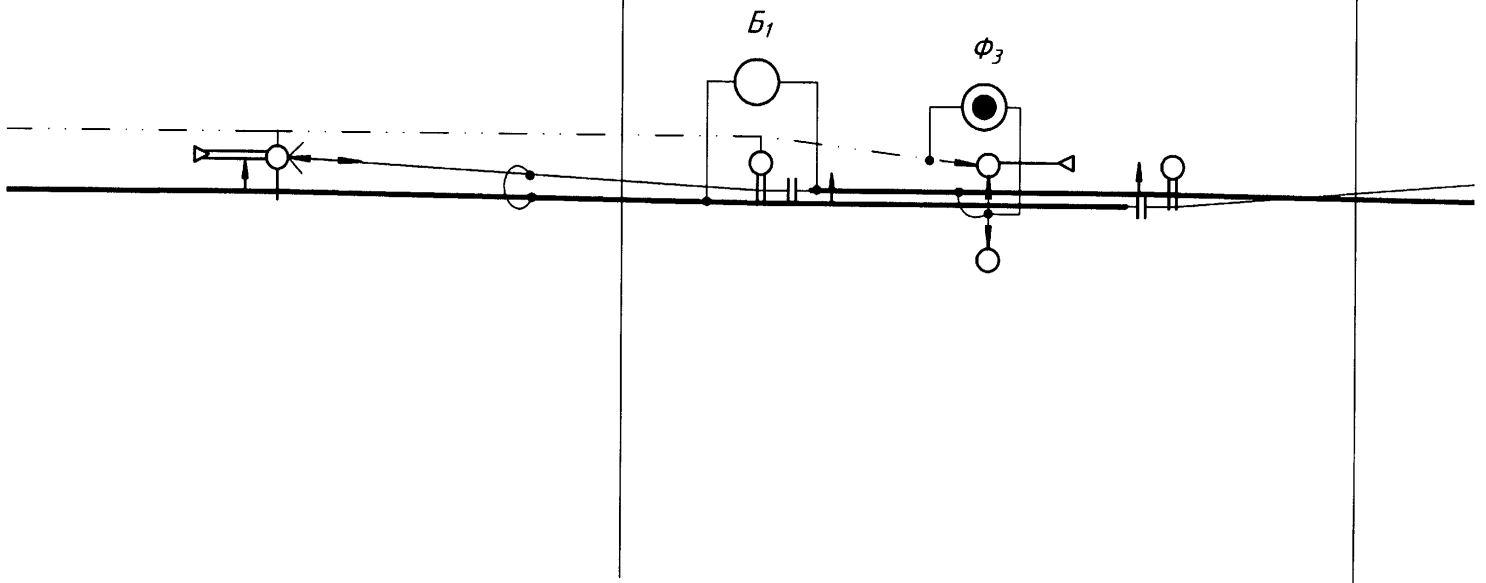
66

56

66

1500

1600



1540

1641

6

