

Кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта»

ОТЧЕТ
по производственной практике

Срок проведения практики с 5.02.2024 по 19.03.2024

Место проведения практики: «Сенновская дистанция электроснабжения»

Руководитель практики от кафедры:

Выполнил: Подгорнов Георгий
Станиславович

Старший преподаватель кафедры «ЭСЖТ»,
Сафронова Ирина Анатольевна

Группа: СОДП-94

Самара 2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	4
1 РАСЧЕТ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	5
1.1 Определение мощности тяговой подстанции	5
1.2 Определение количества понизительных трансформаторов.....	12
1.3 Расчет площади сечения проводов контактной сети для двух схем питания	17
1.4 Проверка выбранной площади сечения проводов контактной сети на нагревание	21
2 ПРОЕКТ КОНТАКТНОЙ СЕТИ	23
2.1 Расчет нормативных нагрузок на провода контактной подвески	23
2.2 Определение допустимых длин пролётов	27
2.3 Расчёт и подбор опор контактной сети.....	29
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	40
ПРИЛОЖЕНИЕ А	41
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	43

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Тип участка дороги – магистральная;

Число путей – 2;

Тип рельсов – Р75;

Тип локомотива – ЭС5К «Ермак»;

Номинальное напряжение на шинах тяговой подстанции – 27,5 кВ;

Расчётная ТП – Буровка – 118 км;

Участок Возрождение – Буровка (69 км – 118 км);

Масса поезда, нечётного направления – 7100 т.

Масса поезда, чётного направления – 7100 т.

Интервал - 10 минут

Грузопоток нечётного направления - 50 млн. т·км/год

Грузопоток чётного направления - 50 млн. т·км/год

Трансформаторная мощность районных потребителей - 4 МВ·А

Число суток в вес/лет период - 235 суток

Температура в период повыш. инт. движ. - 25 °С

Продолжительность периода повыш. инт. движ. – 2,9 ч.

Результаты тяговых расчетов в программном комплексе КОРТЭС
приведены в Приложении А.

1 РАСЧЕТ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

1.1 Определение мощности тяговой подстанции

Выполнение дипломного проекта начинается с расчёта мощности подстанции, мощности её понизительных трансформаторов. Трансформаторы выбираются по ГОСТ 14209-85, согласно которому при сроке службы 25 лет средняя относительная интенсивность износа его изоляции не должна превышать единицы, а температура наиболее нагретой точки обмотки и верхних слоёв масла не должна быть больше нормативных.

При расчёте относительной интенсивности износа изоляции трансформатора принимается, что размеры движения и расход электроэнергии на тягу поездов в осенне-зимний период не выше, чем в весенне-летний. Расчёт ведётся в предположении, что износ изоляции обмоток происходит только в период восстановления нормального движения после «окна». При этом учитываются три режима движения поездов, определяющих температуру обмоток и масла. Режим нормального движения поездов, режим движения поездов после «окна» и наибольшего размера движения поездов на участке.

Для каждого из этих режимов определены токовые нагрузки подстанций; средний и эффективный ток.

Указав расположение тяговых подстанций на участке, выбрав из них расчетную фидерную зону, необходимо найти средние и эффективные токи поездов, отнесенных к фидерам расчетной подстанции.

Для этого по разложенному графику поездного тока при двустороннем питании или непосредственно по графику поездного тока при одностороннем питании находятся средние значения и квадрат эффективного значения тока каждого фидера [1].

Для этого график поездного тока (разложенного или неразложенного) необходимо разбить на отрезки, в пределах которых изменяется ток. После чего

среднее значение поездного тока и среднее значение его квадрата (квадрат эффективного тока) могут быть определены по формулам:

$$I = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^{n_0} \bar{I}_{i\text{cp}} \cdot t_i ; \quad (1.1)$$

$$I^2 = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^{n_0} \bar{I}_{i\text{cp}}^2 \cdot t_i , \quad (1.2)$$

где n_0 – количество отрезков на кривой поездного тока;

$\bar{I}_{i\text{cp}}$ – среднее значение тока поезда за рассматриваемый промежуток времени t_i ;

t – время хода поезда по фидерной зоне.

Среднее значение тока для неразложенной кривой (1.1).

$$\begin{aligned} I_1 = & \frac{1}{35,75} \cdot \left(\frac{284 + 286}{2} \cdot 0,74 + \frac{286 + 217}{2} \cdot 0,72 + \frac{217 + 100}{2} \cdot 0,71 + \frac{100 + 0}{2} \cdot 0,72 + \frac{0 + 0}{2} \cdot 0,75 + \frac{0 + 106}{2} \cdot 0,78 + \frac{106 + 130}{2} \cdot 0,78 + \frac{130 + 165}{2} \cdot 0,78 + \frac{165 + 159}{2} \cdot 0,77 + \frac{159 + 128}{2} \cdot 0,75 + \frac{128 + 0}{2} \cdot 0,75 + \frac{0 + 60}{2} \cdot 0,76 + \frac{60 + 130}{2} \cdot 0,77 + \frac{130 + 252}{2} \cdot 0,77 + \frac{252 + 245}{2} \cdot 0,75 + \frac{245 + 245}{2} \cdot 0,73 + \frac{245 + 245}{2} \cdot 0,73 + \frac{245 + 239}{2} \cdot 0,72 + \frac{239 + 200}{2} \cdot 0,71 + \frac{200 + 172}{2} \cdot 0,71 + \frac{172 + 0}{2} \cdot 0,69 + \frac{0 + 0}{2} \cdot 0,69 + \frac{0 + 15}{2} \cdot 0,72 + \frac{15 + 29}{2} \cdot 0,73 + \frac{29 + 566}{2} \cdot 0,73 + \frac{566 + 80}{2} \cdot 0,71 + \frac{80 + 27}{2} \cdot 0,69 + \frac{27 + 0}{2} \cdot 0,71 + \frac{0 + 234}{2} \cdot 0,76 + \frac{295 + 300}{2} \cdot 0,72 + \frac{300 + 428}{2} \cdot 0,71 + \dots + \frac{0 + 0}{2} \cdot 0,75 + \frac{0 + 0}{2} \cdot 0,75 \right) \\ = & 167,13 \text{ A} \end{aligned}$$

Эффективное значение тока для не разложенного графика (1.2).

$$\begin{aligned}
I_{\Sigma 1}^2 = & \frac{1}{35,75} \cdot \left(\left(\frac{284 + 286}{2} \right)^2 \cdot 0,74 + \left(\frac{286 + 217}{2} \right)^2 \cdot 0,72 + \left(\frac{217 + 100}{2} \right)^2 \cdot 0,71 \right. \\
& + \left(\frac{100 + 0}{2} \right)^2 \cdot 0,72 + \left(\frac{0 + 0}{2} \right)^2 \cdot 0,75 + \left(\frac{0 + 106}{2} \right)^2 \cdot 0,78 + \left(\frac{106 + 130}{2} \right)^2 \\
& \cdot 0,78 + \left(\frac{130 + 165}{2} \right)^2 \cdot 0,78 + \left(\frac{165 + 159}{2} \right)^2 \cdot 0,77 + \left(\frac{159 + 128}{2} \right)^2 \cdot 0,75 \\
& + \left(\frac{128 + 0}{2} \right)^2 \cdot 0,75 + \left(\frac{0 + 60}{2} \right)^2 \cdot 0,76 + \left(\frac{60 + 130}{2} \right)^2 \cdot 0,77 + \left(\frac{130 + 252}{2} \right)^2 \\
& \cdot 0,77 + \left(\frac{252 + 245}{2} \right)^2 \cdot 0,75 + \left(\frac{245 + 245}{2} \right)^2 \cdot 0,73 + \left(\frac{245 + 245}{2} \right)^2 \cdot 0,73 \\
& + \left(\frac{245 + 239}{2} \right)^2 \cdot 0,72 + \left(\frac{239 + 200}{2} \right)^2 \cdot 0,71 + \left(\frac{200 + 172}{2} \right)^2 \cdot 0,71 \\
& + \left(\frac{172 + 0}{2} \right)^2 \cdot 0,69 + \left(\frac{0 + 15}{2} \right)^2 \cdot 0,72 + \left(\frac{15 + 29}{2} \right)^2 \cdot 0,73 + \left(\frac{29 + 566}{2} \right)^2 \\
& \cdot 0,73 + \left(\frac{566 + 80}{2} \right)^2 \cdot 0,71 + \left(\frac{80 + 27}{2} \right)^2 \cdot 0,69 + \left(\frac{27 + 0}{2} \right)^2 \cdot 0,7 + \left(\frac{0 + 234}{2} \right)^2 \\
& \cdot 0,76 + \left(\frac{295 + 300}{2} \right)^2 \cdot 0,72 + \left(\frac{300 + 428}{2} \right)^2 \cdot 0,71 \dots + \left(\frac{0 + 0}{2} \right)^2 \cdot 0,75 \\
& + \left(\frac{0 + 0}{2} \right)^2 \cdot 0,75 = 42646,35 \text{ A}^2
\end{aligned}$$

Аналогично выполним расчеты для определения значения квадрата эффективного тока, и повторим все расчёт для оставшихся фидеров неразложенного графика поездного тока и разложенного графика. Результаты расчетов сведем в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Результаты расчета фидерных зон

Фидерная зона	Средний ток, А		Квадрат эфф. тока, А ²		Время хода
	Неразложенный график	Разложенный график	Неразложенный график	Разложенный график	Под током
Ф1	167	87	42646	17072	35,75
Ф2	213	96	62147	22219	35,78

Зная среднее и эффективное значения поездного тока, отнесенного к фидеру, можно найти среднее и эффективные токи фидера от всех поездов. Для этого воспользуемся формулами, которые при однотипных поездах имеют вид:

$$\bar{I}_\phi = n_\phi \cdot \frac{N}{N_0} \cdot \bar{I}. \quad (1.3)$$

Для эффективных токов при двустороннем питании:

$$I_{\phi\text{э}}^2 = \frac{4}{3} \cdot n_\phi \cdot \gamma \cdot I_s^2 + (n_\phi - \frac{4}{3}) \cdot n_\phi \cdot \gamma \cdot (\bar{I})^2, \quad (1.4)$$

где n_ϕ – наибольшее число поездов в фидерной зоне, равное:

$$n_\phi = \frac{t}{\Theta_0}, \quad (1.5)$$

где $\Theta_0=10$ мин. – заданный минимальный интервал между поездами в обоих направлениях;

t – время хода по фидерной зоне;

N – число пар поездов в сутки при нормальном режиме;

N_0 – пропускная способность участка дороги в сутки.

$$n_{\phi 1} = \frac{35,75}{10} = 3,57;$$

$$n_{\phi 2} = \frac{35,78}{10} = 3,58.$$

$$N_0 = 1440 / \Theta_0, \quad (1.6)$$

где 1440 – число минут в сутках.

$N_0 = 1440/10 = 144$ пар поездов.

$$N = \frac{M \cdot (1 + K_T) \cdot K_H}{365 \cdot Q}, \quad (1.7)$$

где M – грузопоток, т км/км;

$K_T = 0,45$ - коэффициент тары;

Q – масса поезда, т;

$K_H = 1,1$ - коэффициент годовой не равномерности движения [2].

$$N_{\text{нечет}} = \frac{50 \cdot (1 + 0,45) \cdot 1,3 \cdot 10^6}{365 \cdot 7100} = 36;$$

$$N_{\text{чет}} = \frac{50 \cdot (1 + 0,45) \cdot 1,3 \cdot 10^6}{365 \cdot 7100} = 36.$$

Коэффициент использования пропускной способности $\gamma = \frac{N}{N_0}$. Его следует брать каждый раз соответствующим расчетному режиму [3]. Для режима наибольшей пропускной способности $\gamma_{\text{max}} = \frac{N}{N_0} = 1$, для режима после окна $\gamma_{\text{сг}} = \frac{N}{N_0} = 0,9$.

Для нормального пропускного режима.

Для нечетного пути:

$$\gamma_{\text{нечет}} = \frac{N_{\text{нечет}}}{N_0} = \frac{36}{144} = 0,25.$$

Для четного пути:

$$\gamma_{\text{чет}} = \frac{N_{\text{чет}}}{N_0} = \frac{36}{144} = 0,25.$$

Найдем средние значение поездного тока по формуле (1.3) для всех трех режимов и расчет сведем в таблицу 1.2.

Таблица 1.2- Значения токов фидеров в различных режимах

Ток фидера	Режим наибольшей интенсивности	Режим после «окна»	Нормальный режим
Ф1	312	281	79
Ф2	367	330	93

Найдем эффективные токи по формуле (1.4) и полученные результаты также сведем в таблицу 1.3.

Таблица 1.3- Значения эффективных токов

Ток фидера	Режим наибольшей интенсивности	Режим после «окна»	Нормальный режим
Ф1	142486,42	122737,15	24449,10
Ф2	191360,10	164613,36	32366,80

Далее для участков переменного тока находятся линейные нагрузки.

Для двухпутного участка средние токи плеч:

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_a &= \bar{I}_{\phi 1} + \bar{I}_{\phi 2} \\ \bar{I}_b &= \bar{I}_{\phi 3} + \bar{I}_{\phi 4} \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

В данном случае, когда рассматривается одна межподстанционная зона, будем рассчитывать токи плеча *a*.

Для нормального режима:

$$\bar{I}_a = 312 + 367 = 679 \text{ A};$$

Для режима после окна:

$$\bar{I}_a = 281 + 330 = 611 \text{ A};$$

Для режима наибольшей пропускной способности:

$$\bar{I}_a = 79 + 93 = 172 \text{ A};$$

Затем определим квадрат эффективного тока плеч:

$$\left. \begin{aligned} I_{a\varepsilon}^2 &= \bar{I}_a^2 + (I_{\phi\varepsilon 1}^2 - \bar{I}_{\phi 1}^2) + (I_{\phi\varepsilon 2}^2 - \bar{I}_{\phi 2}^2) \\ I_{b\varepsilon}^2 &= \bar{I}_\varepsilon^2 + (I_{\phi\varepsilon 3}^2 - \bar{I}_{\phi 3}^2) + (I_{\phi\varepsilon 4}^2 - \bar{I}_{\phi 4}^2) \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

Для нормального режима:

$$I_{a\varepsilon}^2 = 679^2 + (142486,42 - 97477,28) + (191360,10 - 134783,63) = 563091,73;$$

Для режима после окна:

$$I_{a\varepsilon}^2 = 611^2 + (122737,15 - 78956,59) + (164613,36 - 109174,74) = 473039,13;$$

Для режима наибольшей пропускной способности:

$$I_{a\varepsilon}^2 = 172^2 + (24449,10 - 6217,83) + (32366,80 - 8597,51) = 71438,86;$$

Формулы для расчета квадрата эффективного тока обмоток «а» и «b», в предположении, что углы сдвига фаз средних нагрузок на обеих плечах равны, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} I_{a\varepsilon}^2 &= \frac{1}{9} (4I_{a\varepsilon}^2 + I_{\varepsilon\varepsilon}^2 + 2\bar{I}_a \cdot \bar{I}_\varepsilon) \\ I_{b\varepsilon}^2 &= \frac{1}{9} (4I_{\varepsilon\varepsilon}^2 + I_{a\varepsilon}^2 + 2\bar{I}_a \cdot \bar{I}_\varepsilon) \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

Выражение 1.10 рассчитывается для режима наибольшей пропускной способности, при $\gamma_{\max} = \frac{N_0}{N_0} = 1$. За ток $I_{\text{э наиб}}$ принимается больший из $I_{\text{аэ}}$ и $I_{\text{бэ}}$.

$$I_{\text{аэ}}^2 = \frac{1}{9} \cdot (4 \cdot 563091,73 + 2 \cdot 32366,80 - 8597,51) = 250262,99.$$

Эквивалентные по нагреву масла токи обмотки находятся по формуле:

$$I_{\text{эк}}^2 = \frac{1}{9} [2(I_{\text{аэ}}^2 + I_{\text{бэ}}^2) + \bar{I}_a \cdot \bar{I}_b]. \quad (1.11)$$

Для нормального режима:

$$I_{\text{эк}}^2 = \frac{1}{9} \cdot (2 \cdot 473039,13) = 105119,81;$$

Для режима после окна:

$$I_{\text{эк}}^2 = \frac{1}{9} \cdot (2 \cdot 71438,86) = 15875,30;$$

1.2 Определение количества понизительных трансформаторов

Выберем для проверки установленный на подстанции Буровка силовой трансформатор типа ТДТНЖ-110-71У1 мощностью $S_n=40$ МВА.

$$S_{\text{нт}} = \frac{S_n}{K_y} - S_p, \quad (1.12)$$

где K_y – коэффициент участия районной нагрузки в максимуме.

S_p – мощность районной нагрузки, МВ·А.

$$S_{HT} = \frac{40}{0,97} - 4 = 37,2 \text{ МВА}$$

Найдем часть номинального тока, приходящаяся на тягу поездов по формуле:

$$I_{HT} = \frac{S_{HT}}{3U_{ш}}, \quad (1.13)$$

где $U_{ш}$ – напряжение на вторичной обмотке силового понижительного трансформатора, равное 27,5 кВ.

$$I_{HT} = \frac{37,2 \cdot 10^6}{3 \cdot 27,5 \cdot 10^3} = 451,4 \text{ А.}$$

Для расчета средней интенсивности износа изоляции обмотки трансформатора определим отношения:

$$\left. \begin{aligned} k_0 &= \frac{I_{\text{эо}}}{I_{1HT}} \\ k_{\text{сз}} &= \frac{I_{\text{эсз}}}{I_{1HT}} \\ k_{\text{наиб}} &= \frac{I_{\text{энаиб}}}{I_{1HT}} \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

$$k_0 = \frac{I_{\text{эо}}}{I_{1HT}} = \frac{126}{451,4} = 0,28;$$

$$k_{\text{сз}} = \frac{I_{\text{эсз}}}{I_{1HT}} = \frac{324}{451,4} = 0,72;$$

$$k_{\text{наиб}} = \frac{I_{\text{энаиб}}}{I_{\text{нт}}} = \frac{500}{451,4} = 1,11.$$

Т.к. $k_{\text{макс}} < 1,5$ ($1,11 < 1,5$) то продолжаем расчет.

Найдем среднюю интенсивность износа изоляции обмотки трансформатора в сутки предоставления окна:

$$\bar{\chi} = A_{\text{сз}} L_{\text{обнаиб}} L_{\text{мсз}} T_{\text{вос}} / 24; \quad (1.15)$$

$$A_{\text{сз}} = e^{-\alpha(\Theta_{\text{оном}} - \Theta_{\text{сз}})},$$

где $\Theta_{\text{оном}}$ – номинальная температура наиболее нагретой части обмотки, равная 98°C ;

$\Theta_{\text{сз}}$ – температура окружающей среды в период восстановления нормального движения поездов, задается в зависимости от района;

α – коэффициент равный $0,115 \text{ 1}^{\circ}\text{C}$.

$$L_{\text{обнаиб}} = \gamma_{\text{сз}} \cdot e^{\alpha(\alpha \cdot k_{\text{наиб}}^2 + b)}; \quad (1.16)$$

$$L_{\text{мсз}} = e^{\alpha(g((1-\eta)k_{\text{сз}}^2 + k_0^2) + h)}.$$

В последнем выражении:

$$\eta = e^{-\frac{T_{\text{вос}} + t_0}{\tau_m}}. \quad (1.17)$$

В формулах (1.16) величины b , a , g и h постоянные, аппроксимирующие зависимости разности температур «обмотки – масло» и «масло - окружающая среда» ($b = 2,5$, $a = 20,5$, $g = 39,7$ и $h = 15,3^{\circ}\text{C}$);

t_0 – среднее время хода по фидерной зоне поездов основного типа в четном и нечетном направлениях:

τ_m – постоянная времени масла её можно принять 3,5ч для трансформаторов мощностью выше 32МВА.

$$A_{сг} = e^{-0,115 \cdot (98-25)} = 0,00023;$$

$$\eta = e^{\frac{2,9-0,5961}{3,5}} = 0,518;$$

$$L_{обнаиб} = 0,9 \cdot e^{0,115 \cdot (20,5 \cdot 1,11^2 + 2,5)} = 21,72;$$

$$L_{мсг} = e^{0,115 \cdot (39,7 \cdot ((1-0,518) \cdot 0,72^2 + 0,28^2) + 15,3)} = 25,82;$$

$$\bar{X} = 0,00023 \cdot 21,72 \cdot 25,82 \cdot \frac{2,9}{24} = 0,01532.$$

По полученной средней интенсивности износа $\bar{\chi}$ произведем пересчет номинального тока. Найдем такой расчетный номинальный ток, при котором относительная интенсивность износа изоляции будет нормальной, по формуле:

$$I_{оном} = I_{ИТ} \cdot \sqrt{\frac{\ln \bar{X} + \ln \frac{365}{n_{сг} \cdot \gamma} + 9,22 - 0,115 \Theta_{сг}}{\ln \frac{365}{n_{сг} \cdot \gamma} + 9,22 - 0,115 \Theta_{сг}}}, \quad (1.18)$$

где $n_{сг}$ – число суток с предоставлением окон за год, в курсовом проекте можно принять равным 2/3 числа суток в весенне-летний период.

$$I_{оном} = 451,36 \cdot \sqrt{\frac{\ln 0,01532 + \ln \frac{365}{156,67 \cdot 0,9} + 9,22 - 0,115 \cdot 25}{\ln \frac{365}{156,67 \cdot 0,9} + 9,22 - 0,115 \cdot 25}} = 295,03 \text{ А.}$$

Т.к. выполняется условие $I_{оном} \leq I_{ИТ}$ ($308,5 < 951,2$), то продолжаем расчет.

Выбранные по износу изоляции трансформаторы должны быть проверены по наибольшему допустимому току и наибольшим допустимым температурам обмотки и масла.

Наибольшую температуру масла определим по формуле:

$$\Theta_{\text{мнaиб}} = \Theta_{\text{сcз}} + g(k_0^2 \cdot \eta + (1 - \eta) \cdot k_{\text{сз}}^2) + h ; \quad (1.19)$$

$$\Theta_{\text{мнaиб}} = 25 + 39,7 \cdot (0,28^2 \cdot 0,518 + (1 - 0,518) \cdot 0,72^2) + 15,3 = 51,78^\circ \text{C}.$$

Наибольшая температура обмотки определим по формуле:

$$\Theta_{\text{обнaиб}} = \Theta_{\text{мнaиб}} + a \cdot k_{\text{max}}^2 + b ; \quad (1.20)$$

$$\Theta_{\text{обнaиб}} = < 51,78 + 20,5 \cdot 1,11^2 + 2,5 = 79,46^\circ \text{C}$$

Т.к. $\Theta_{\text{мнaиб}} < 95^\circ \text{C}$ и $\Theta_{\text{обнaиб}} < 140^\circ \text{C}$, то принятые к установке трансформаторы выбраны верно.

На тяговых подстанциях обычно устанавливают два силовых понизительных трансформатора одинаковой мощности. Учитывая это и зная трансформаторную мощность, выбираем трансформатор типа ТДТНЖ-110-71У1.

Таблица 1.4 - Характеристики трансформатора ТДТНЖ-110-71У1

S _н , МВ·А	Номинальное напряжение обмоток, кВ			U _{к в-н} , %	U _{к в-с} , %	U _{к с-н} , %	Потери, кВт		I _х , %	Схема и группа соединения обмоток
	ВН	СН	НН				P _{к.з.}	P _{хх}		
40	115	38,5	27,5	17,5	10,5	7	290	56	0,55	Y _н /Д/Д-11- 11

1.3 Расчет площади сечения проводов контактной сети для двух схем питания

Площадь сечения проводов контактной сети определяется экономическим расчетом с последующей проверкой на нагревание.

Расход электрической энергии на движение одного поезда для участков переменного тока определяется по неразложенного графика по формулам:

$$A = \frac{U_{cp}}{60} K_m \sum_{i=1}^{n_0} I_{icp} \cdot t_i, \quad (1.21)$$

где U_{cp} – среднее расчетное напряжение в контактной сети, 25 кВ;

K_m – коэффициент мощности нагрузки, равный 0,85.

По результатам расчетов видно, что наиболее нагружены фидерные зоны 1 и 2.

$$A_{\text{нечет}} = \frac{25}{60} \cdot 0,85 \cdot 167,13 \cdot 35,75 = 2115,82 \text{ кВтч};$$

$$A_{\text{чет}} = \frac{25}{60} \cdot 0,85 \cdot 203,82 \cdot 35,78 = 2583,14 \text{ кВтч};$$

Расход энергии от всех поездов за сутки:

$$A_{\text{Тнечет}} = A_{\text{нечет}} \cdot N_{\text{нечет}} = 2115,82 \cdot 36 = 76950,15 \text{ кВтч};$$

$$A_{\text{Тчет}} = A_{\text{чет}} \cdot N_{\text{чет}} = 2583,14 \cdot 36 = 93946,08 \text{ кВтч};$$

$$A_{\text{Т}} = A_{\text{Тнечет}} + A_{\text{Тчет}} = 76950,15 + 93946,08 = 170896,23 \text{ кВтч}.$$

Для определения величины $\Delta A_{\text{сут}}$ на одном пути при отсутствии рекуперации, двустороннем питании, односторонних поездах можно воспользоваться следующими формулами.

Раздельная схема питания путей при отсутствии рекуперации, *кВт·ч*

$$\Delta A_{\text{сум}} = \frac{r_{\text{экв}} \cdot l \cdot 10^{-3}}{12 \cdot U^2 \cdot T} \left[2,16 \cdot T \frac{N \cdot A^2}{t_m} + \frac{A_T^2 (n-1)(n^2 - n + 1)}{n^3} \right]. \quad (1.22)$$

Узловая схема питания путей, кВт·ч

$$\Delta A_{\text{сум}} = \frac{r_{\text{экв}} \cdot l \cdot 10^{-3}}{12 U^2 \cdot T} \left\{ 3,24 T \left[\frac{N_{\text{чет}} \cdot A_{\text{чет}}^2}{t_{\text{мчет}}} + \frac{N_{\text{неч}} \cdot A_{\text{неч}}^2}{t_{\text{мнеч}}} \right] + \frac{3}{4} A_T^2 + \frac{(n-2)^3 - 2(2n-1)}{2n^3} (A_{T_{\text{чет}}}^2 + A_{T_{\text{неч}}}^2) \right\}. \quad (1.23)$$

$r_{\text{экв}}$ - сопротивление всех проводов обеих путей, Ом/км;

A_T - расход энергии на движение всех поездов за период $T=24$ часа по обоим путям фидерной зоны, кВтч;

$t_{\text{мчет}}, t_{\text{мнеч}}$ - время потребления тока поездом на четном и нечетном пути соответственно, час.

$$n = \frac{n_{\phi 1} + n_{\phi 2}}{2}; \quad (1.24)$$

$$n = \frac{3,57 + 3,58}{2} = 3,58.$$

Определим потери для раздельной схемы :

Нечетный путь:

$$\Delta A_{\text{сут узл}} = \frac{r_{\text{экв}} \cdot l \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 25^2 \cdot 24} \cdot \left(2,16 \cdot 24 \cdot \left(\frac{36 \cdot 2115,82^2}{0,60} + \frac{76950,15^2 \cdot (3,58 - 1) \cdot (3,58^2 - 3,58 + 1)}{3,58^3} \right) \right) = 113,41 \cdot r_{\text{экв}} \cdot l \text{ кВтч}$$

Четный путь:

$$\Delta A_{\text{сут узл}} = \frac{r_{\text{ЭКВ}} \cdot l \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 25^2 \cdot 24} \cdot (2,16 \cdot 24 \cdot \left(\frac{36 \cdot 2583,14^2}{0,60} + \frac{93946,08^2 \cdot (3,58 - 1) \cdot (3,58^2 - 3,58 + 1)}{3,58^3} \right)) = 168,89 \cdot r_{\text{ЭКВ}} \cdot l \text{ кВтч}$$

Определим потери для узловой схемы:

$$\Delta A_{\text{сут узл}} = \frac{r_{\text{ЭКВ}} \cdot l \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 25^2 \cdot 24} \cdot (3,24 \cdot 24 \cdot \left(\frac{36 \cdot 2115,82^2}{0,60} + \frac{36 \cdot 2583,14^2}{0,60} \right) + \frac{3}{4} \cdot 170896,23^2 + \frac{(3,58 - 2)^3 - 2 \cdot (2 \cdot 3,58 - 1)}{2 \cdot 3,58^3} \cdot (76950,15^2 + 93946,08^2)) = 473,95 \cdot r_{\text{ЭКВ}} \cdot l \text{ кВтч}$$

Величина удельных потерь энергии находится по формуле:

$$\Delta A_{\text{год}} = 365 \cdot \Delta A_{\text{сут}}. \quad (1.25)$$

Для раздельной схемы питания на нечетном пути:

$$\Delta A_{\text{год неч}} = 365 \cdot 113,41 \cdot r_{\text{ЭКВ}} \cdot l = 41393,9 \cdot r_{\text{ЭКВ}} \cdot l \text{ кВтч.}$$

Для раздельной схемы питания на четном пути:

$$\Delta A_{\text{год чет}} = 365 \cdot 168,89 \cdot r_{\text{ЭКВ}} \cdot l = 61644,6 \cdot r_{\text{ЭКВ}} \cdot l \text{ кВтч.}$$

Для узловой схемы питания:

$$\Delta A_{\text{год}} = 365 \cdot 473,95 \cdot r_{\text{ЭКВ}} \cdot l = 172992,4 \cdot r_{\text{ЭКВ}} \cdot l \text{ кВтч.}$$

Величина удельных потерь энергии:

$$B_0 = \frac{\Delta A_{год}}{r_{экр} \cdot l}, \quad (1.26)$$

где B_0 - годовые удельные потери в проводах контактной сети рассматриваемой фидерной зоны, кВтч/Ом·год;

$r_{экр}$ - сопротивление омическое или активное параллельно соединенных проводов контактной сети одного пути (при узловой схеме сопротивление всех проводов всех путей, как параллельно соединенных), Ом/км;

l - длина фидерной зоны, км;

$\Delta A_{год}$ - годовые потери энергии в проводах фидерной зоны, кВтч.

Для отдельной схемы питания на нечетном пути:

$$B_{0 \text{ неч}} = \frac{41393,9 \cdot r_{экр} \cdot l}{r_{экр} \cdot l} = 41393,9 \frac{\text{кВтч}}{\text{Ом} \cdot \text{год}}.$$

Для отдельной схемы питания на четном пути:

$$B_{0 \text{ чет}} = \frac{61644,6 \cdot r_{экр} \cdot l}{r_{экр} \cdot l} = 61644,6 \frac{\text{кВтч}}{\text{Ом} \cdot \text{год}}.$$

Для узловой схемы питания:

$$B_0 = \frac{172992,4 \cdot r_{экр} \cdot l}{r_{экр} \cdot l} = 172992,4 \frac{\text{кВтч}}{\text{Ом} \cdot \text{год}}.$$

Расчет экономической площади сечения проводов контактной сети в медном эквиваленте для одной фидерной зоны двухстороннего питания, при сроке окупаемости 8 лет, можно провести по формуле:

$$S_{мэ} = 0,35 \div 0,55 \sqrt{B_0} \text{ мм}^2. \quad (1.27)$$

Для отдельной схемы питания:

$$S_{\text{мэ неч}} = 0,55 \cdot \sqrt{41393,9} = 109,9 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{мэ чет}} = 0,55 \cdot \sqrt{61644,6} = 136,6 \text{ мм}^2$$

Для узловых схем питания:

$$S_{\text{мэ}} = \frac{0,55 \cdot \sqrt{172992,4}}{2} = 114,38 \text{ мм}^2$$

Выберем тип контактной подвески с указанием допустимой нагрузки по току, а также найдем электрическое сопротивление.

Таблица 1.5 – Выбранные типы контактной подвески

Схема питания	Тип конт.подвески	S, мм ²	Идоп, А	Rтс, Ом/км	Xтс, Ом/км
Отдельная схема	М 95 + МФ 100 (Р 75)	195	1171	0,132	0,422
Узловая схема	М 95 + МФ 100 (Р 75)	195	1171	0,132	0,422

1.4 Проверка выбранной площади сечения проводов контактной сети на нагревание

Проверка на нагревание проводов как при постоянном, так и при переменном токе производится сравнением наибольших эффективных рабочих нагрузок фидеров с допустимыми для данного типа подвески.

Определение величины эффективного тока фидера выполняется для одного пути наиболее нагруженной фидерной зоны при отдельном питании путей по формуле:

$$I_{\text{эф}}^2 = \frac{A_T^2}{T^2 \cdot U^2} \left(1,1 \frac{T}{N \cdot \sum_{i=1}^n t_m} + \left(1 - \frac{N \cdot \Theta_0}{N \cdot \sum_{i=1}^n t} \right) \right), \quad (1.28)$$

где A_T - расход электроэнергии на движение всех поездов за период $T=24$ часа на наиболее нагруженном пути расчетной фидерной зоны от расчетной подстанции в кВтч или кВАч для участков переменного тока, в период наибольшей перегрузки;

U - среднее расчетное напряжение в контактной сети 25000В;

$\sum_{i=1}^n t$ - суммарное полное время хода всех поездов по фидерной зоне, ч;

$\sum_{i=1}^n t_m$ - тоже под током, ч;

Θ_0 - наименьший межпоездной интервал, ч;

n - количество поездов, проходящее за сутки по наиболее нагруженному пути фидерной зоны в нормальном режиме.

$$I_{\text{эф}}^2 = \frac{93946,08}{24^2 \cdot 25^2} \cdot \left(1,1 \cdot \frac{24}{21,69} + \left(1 - \frac{36 \cdot 0,17}{21,69} \right) \right) = 47503,99 \text{ A}^2.$$

Т.к $\sqrt{I_{\text{эф}}^2} = 217,95 \text{ A}$, а это меньше максимально допустимого тока 1171 А,

то отсюда следует, что подвеска выбрана правильно и защита выбранной контактной подвески по условиям короткого замыкания будет обеспечена.

Основные параметры устройств системы тягового электроснабжения зависят от величины и характера изменения тяговой нагрузки, применяемых схем питания тяговой сети, а также от наличия средств, повышающих качество электроэнергии и снижающих потери мощности и электроэнергии. При этом основная сложность расчета обусловлена учетом специфики тяговой нагрузки.

В результате расчетов установлено, что наиболее выгодной по всем параметрам является узловая схема питания.

Выбрана и успешно проверена по условиям нагрева контактная подвеска М 95 + МФ 100 (Р 75). Тяговые трансформаторы мощностью 40МВА прошли проверку. Графики поездного тока и времени хода поезда в чётном и нечётном направлениях представлены в Приложении Б.

2 ПРОЕКТ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

2.1 Расчет нормативных нагрузок на провода контактной подвески

Нагрузки определяются с учётом защищённости от ветра и насыпи для следующих режимов: без дополнительных влияний; при ветре наибольшей интенсивности; при гололёде с ветром.

Нагрузка от силы тяжести одного метра контактной подвески без дополнительных влияний:

$$g = g_H + n_K \cdot (g_K + g_C), \quad (2.1)$$

где $g_H=0,834$ даН/м; $g_K=0,873$ даН/м; $g_C=0,1$ даН/м соответственно нагрузка от силы тяжести НТ, КП, зажимов и струн;

n – число контактных проводов.

$$g = 0,834 + (0,873 + 0,1) = 1,807 \text{ даН/м.}$$

Нагрузка от силы тяжести гололёда на один метр длины провода:

$$g_{ГЛ} = 2,77 \cdot \epsilon \cdot (d + \epsilon) \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

где $\epsilon = \epsilon_n \cdot k_1 \cdot k_2$ – расчётное значение толщины стенки гололёда;

ϵ_n - нормативная величина стенки гололёда;

d – диаметр провода, мм.

Для контактного провода $d = 0,5 \cdot (A + H)$; $\epsilon_K = 0,5\epsilon$.

$$k_1 = k_1'' - (k_1'' - k_1') \cdot \frac{d'' - d_p}{d'' - d'}, \quad (2.3)$$

где $k_1' = 1,1$; $k_1'' = 0,9$; $d_1' = 5 \text{ мм}$; $d_1'' = 20 \text{ мм}$; d_p - диаметр провода.

$$k_2 = k_2'' - (k_2'' - k_2') \cdot \frac{h'' - h_p}{h'' - h'}, \quad (2.4)$$

где $k_2' = 0,8$; $k_2'' = 1,2$; $h' = 5 \text{ м}$; $h'' = 20 \text{ м}$; h_p - высота подвески.

Для несущего троса М95:

$$k_1 = 0,9 - (0,9 - 1,1) \cdot \frac{20 - 12,6}{20 - 5} = 0,999;$$

$$k_2 = 1,2 - (1,2 - 0,8) \cdot \frac{20 - 9}{20 - 5} = 0,907;$$

$$B = 15 \cdot 0,999 \cdot 0,907 = 13,591 \text{ мм};$$

$$g_{\text{ГЛ}} = 2,77 \cdot 13,591 \cdot (12,6 + 13,591) \cdot 10^{-3} = 0,986 \text{ даН/м}.$$

Для контактного провода МФ100:

$$d_p = \frac{11,8 + 12,81}{2} = 12,31 \text{ мм};$$

$$k_1 = 0,9 - (0,9 - 1,1) \cdot \frac{20 - 12,31}{20 - 5} = 1,003;$$

$$k_2 = 1,2 - (1,2 - 0,8) \cdot \frac{20 - 7}{20 - 5} = 0,853;$$

$$B = 0,5 \cdot 15 \cdot 1,003 \cdot 0,853 = 6,417 \text{ мм};$$

$$g_{\text{ГЛ}} = 2,77 \cdot 6,417 \cdot (12,31 + 6,417) \cdot 10^{-3} = 0,333 \text{ даН/м}.$$

Суммарная сила тяжести гололёдных образований одного метра контактной подвески:

$$g_{\text{ГЛ}} = g_{\text{ГЛН}} + n \cdot g_{\text{ГЛК}}, \quad (2.5)$$

где $g_{\text{ГЛН}}$ и $g_{\text{ГЛК}}$ - нагрузка от силы тяжести гололёда на несущем тросе и на контактном проводе.

$$g_{\text{ГЛ}} = 0,986 + 1 \cdot 0,333 = 1,319 \text{ даН/м.}$$

Ветровая нагрузка на провод без гололёда

$$P_V = 0,615 \cdot V_p^2 \cdot C_x \cdot d \cdot 10^{-4} \text{ даН/м,} \quad (2.6)$$

где $V_p = V_H \cdot k_V$ - расчётная скорость ветра, м/с;

C_x - аэродинамический коэффициент лобового сопротивления;

d - диаметр провода (для контактного провода $d = H$).

$$P_{\text{ВНТ}} = 0,615 \cdot 29^2 \cdot 1,25 \cdot 12,6 \cdot 10^{-4} = 0,815 \text{ даН/м;}$$

$$P_{\text{ВКП}} = 0,615 \cdot 29^2 \cdot 1,55 \cdot 11,8 \cdot 10^{-4} = 0,946 \text{ даН/м.}$$

Ветровая нагрузка на провод в режиме гололёда

$$P_{\text{ВГ}} = 0,615 \cdot V_{\text{ГЛ}}^2 \cdot C_x \cdot (d + 2\epsilon) \cdot 10^{-4} \text{ даН/м,} \quad (2.7)$$

где $V_{\text{ГЛ}} = 0,6 \cdot V_p$ - скорость ветра при гололёде, м/с.

$$V_r = 29 \cdot 0,6 = 17,4 \text{ м/с};$$

$$P_{\text{вгнт}} = 0,615 \cdot 17,4^2 \cdot 1,25 \cdot (12,6 + 2 \cdot 13,591) \cdot 10^{-4} = 0,926 \text{ даН/м};$$

$$P_{\text{вгкп}} = 0,615 \cdot 17,4^2 \cdot 1,55 \cdot (11,8 + 2 \cdot 6,417) \cdot 10^{-4} = 0,711 \text{ даН/м}.$$

Результирующая нагрузка на отдельный провод без дополнительных усилий $q = g$ при ветре:

$$q = \sqrt{q^2 + P_v^2} \text{ даН/м}. \quad (2.8)$$

$$q_{\text{нт}} = \sqrt{0,834^2 + 0,0815^2} = 1,166 \text{ даН/м}.$$

$$q_{\text{кп}} = \sqrt{0,873^2 + 0,946^2} = 1,287 \text{ даН/м}.$$

При гололёде:

$$q = \sqrt{(g + g_{\text{гл}})^2 + P_{\text{гл}}^2} \text{ даН/м}. \quad (2.9)$$

$$q_{\text{нт}} = \sqrt{(0,834 + 0,986)^2 + 0,926^2} = 2,042 \text{ даН/м}.$$

$$q_{\text{кп}} = \sqrt{(0,873 + 0,333)^2 + 0,711^2} = 1,4 \text{ даН/м}.$$

Результирующая нагрузка на несущий трос цепной подвески определяется без учёта ветровой нагрузки на контактные провода, так как ее основная часть воспринимается фиксаторами.

Режим ветра наибольшей интенсивности:

$$q = \sqrt{g_n^2 + P_{\text{вн}}^2} \partial aH/м. \quad (2.10)$$

$$q = \sqrt{1,807^2 + 0,815^2} = 1,982 \partial aH/м.$$

Режим гололёда с ветром [6]:

$$q = \sqrt{(g_n + g_{\text{гл}})^2 + P_{\text{глн}}^2} \partial aH/м. \quad (2.11)$$

$$q = \sqrt{(1,807 + 0,986)^2 + 0,926^2} = 2,945 \partial aH/м.$$

В рамках выполнения дипломного проекта предлагается использование только компенсированной контактной подвески, поэтому натяжение несущего троса принимается равным 1600 даН.

2.2 Определение допустимых длин пролётов

Наибольшие длины пролётов устанавливаются в режиме ветра наибольшей интенсивности. При этом ветровые отклонения контактного провода на прямых участках пути не должны превышать 0,5 м, а на кривых - 0,45 м. Наибольшее расстояние между опорами, для обеспечения надежного токосъёма принимается равным не более 65 м.

Для прямых участков пути [7]:

$$l_{\text{max}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot K}{P_K - P_{\text{э}}} \left[e_{K\text{дон}} - j_K + \sqrt{(e_{K\text{дон}} - j_K)^2 - a^2} \right]} \text{ м.} \quad (2.12)$$

где K - номинальное натяжение контактного провода, даН; n - количество контактных проводов;

P_K - ветровая нагрузка на контактный провод, даН/м;

$P_{\text{э}}$ - эквивалентная нагрузка, передающаяся с несущего троса на контактный провод, даН/м;

$e_{\text{кдоп}}$ - наибольшее допустимое ветровое отклонение контактного провода, м;

$j_{\text{к}}$ - прогиб опоры под действием ветра на уровне крепления контактного провода, м;

Формула для определения удельной эквивалентной нагрузки имеет вид:

$$P_{\text{э}} = \frac{P_{\text{к}}T - P_{\text{н}}K - \frac{8KT}{l^2} \left(\frac{h_{\text{н}}P_{\text{н}}}{q_{\text{в}}} + j_{\text{н}} - j_{\text{к}} \right)}{T + K + \frac{10.6 \cdot l_{\text{ср}}KT}{g_{\text{к}}l^2}}, \quad (2.13)$$

где $P_{\text{н}}$ - ветровая нагрузка на несущий трос, даН/м;

T - натяжение несущего троса в режиме ветра наибольшей интенсивности, даН;

l - длина пролёта, м;

$h_{\text{н}}$ - длина гирлянды подвесных изоляторов и крепительных деталей для несущего троса, м;

$q_{\text{в}}$ - результирующая нагрузка на несущий трос, даН/м;

$g_{\text{к}}$ - нагрузка от силы тяжести контактного провода, даН/м;

$j_{\text{н}}$ - прогиб опоры под действием ветра на уровне крепления несущего троса, м;

$l_{\text{ср}}$ - средняя длина струн в средней части пролёта, м.

$$l_{\text{ср}} = h_0 - \frac{0,115 \cdot g \cdot l^2}{T_0}, \quad (2.14)$$

где h_0 - конструктивная высота цепной подвески, м.

Прямой участок:

$$l_{\max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 1000 \cdot \left(0,5 - 0,015 + \sqrt{(0,5 - 0,015)^2 - 0,3^2}\right)}{0,762}} = 75,69 \text{ м};$$

$$l_{CP} = 1,8 - \frac{0,115 \cdot 2,01 \cdot 75,69^2}{1400} = 0,854 \text{ м};$$

$$P_{\text{э}} = \frac{0,762 \cdot 1600 - 0,905 \cdot 1000 - \frac{8 \cdot 1600 \cdot 1000}{75,69^2} \cdot \left(\frac{0,48 \cdot 0,905}{1,376} + 0,022 - 0,015\right)}{1600 + 1000 + \frac{10,6 \cdot 0,854 \cdot 1000 \cdot 1600}{0,873 \cdot 75,69^2}} = -0,07 \text{ даН};$$

$$l_{\max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 1000 \cdot \left(0,5 - 0,015 + \sqrt{(0,5 - 0,015)^2 - 0,3^2}\right)}{0,762 + 0,07}} = 72,26 \text{ м}.$$

$$\Delta l = l_1 - l_2 = 75,69 - 72,26 = 3,43 < 5 \text{ м}.$$

Аналогично рассчитаем длины пролетов для насыпи 3м и кривых. Результат расчетов сводим в таблицу (таблицу 2.1).

Таблица 2.1 – Максимальные длины пролетов

Участок пути	$P_{\text{э}}=0$	$P_{\text{э}}\neq 0$	Примеч
Перегон на прямом участке	75,69	72,26	65
Насыпь на перегоне	62	59	59
R=420м	45	42	35
R=1200м	61	58	40

2.3 Расчёт и подбор опор контактной сети

Расчёт производится в следующей последовательности:

1. Составляется схема загрузки опоры (рис. 2.1).
2. Рассчитываются нагрузки от внешних воздействий в режимах:

- ветер наибольшей интенсивности;
- гололёд с ветром;
- наименьшая температура.

3. Определяется суммарный расчетный момент и по его значению подбирается тип опоры.

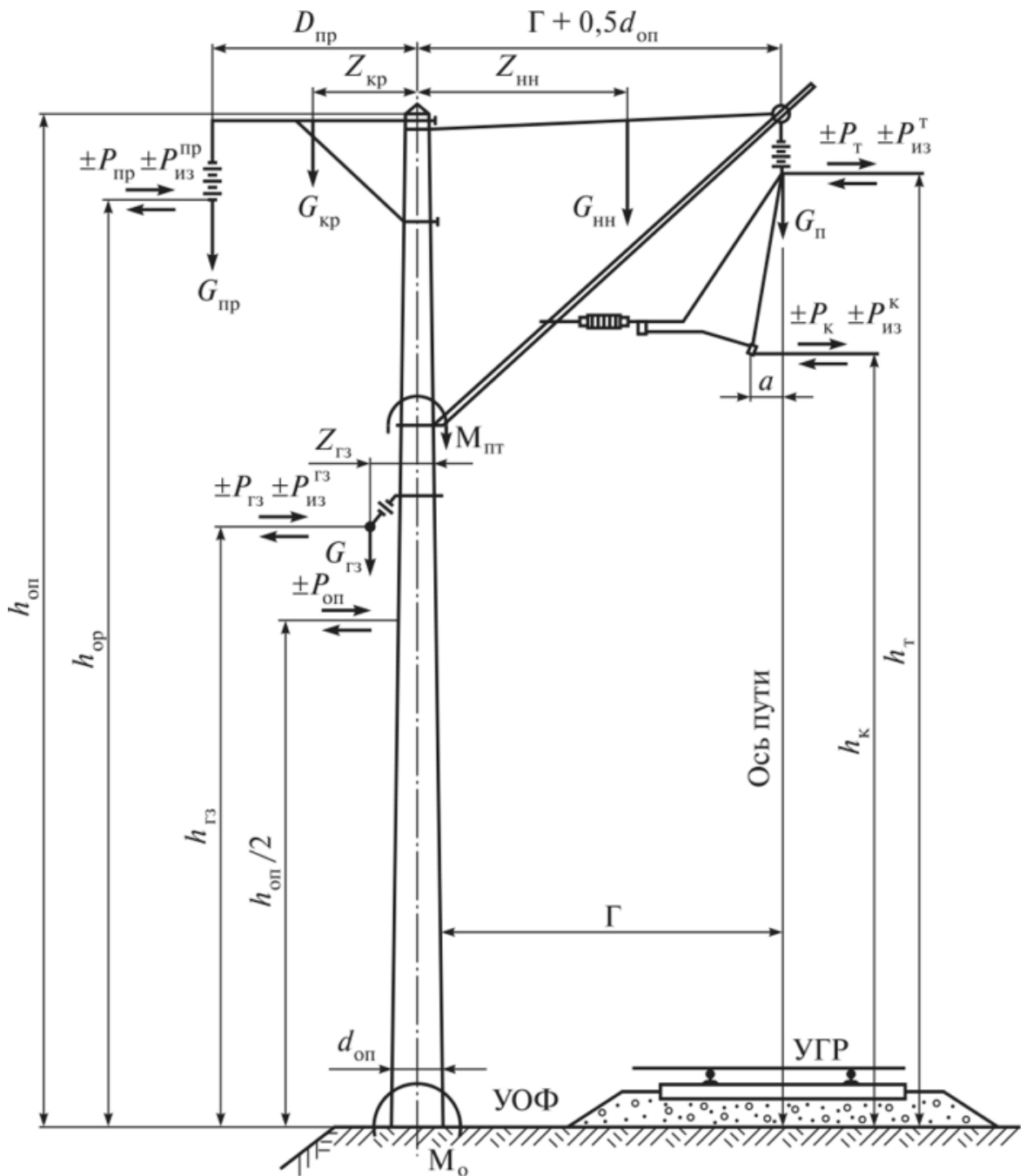


Рисунок 2.1 - Расчётная схема опоры

Величины нагрузок при различных режимах приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Значение линейных нагрузок

Виды нагрузок	Размерность	Значения нагрузок при режимах		
		участок	гололёда с ветром	ветер наибольшей интенсивности
Нагрузка от силы тяжести подвески	$\partial aH/m$	перегон	2,945	1,982
Нагрузка от силы тяжести ВЛ	$\partial aH/m$	перегон	1,365	0,541
Ветровая нагрузка на несущий трос	$\partial aH/m$	перегон	0,926	0,815
Ветровая нагрузка на контактный провод	$\partial aH/m$	перегон	0,711	0,946
Ветровая нагрузка на ВЛ	$\partial aH/m$	перегон	0,84	0,521
Нагрузка от силы тяжести консоли	∂aH	перегон	100	60
Нагрузка от силы тяжести кронштейна с изоляторами	∂aH	перегон	70	40

Вертикальная нагрузка от силы тяжести подвески в режиме x :

$$G_{\text{пх}} = g_x \cdot l + G_{\text{и}} + G_{\text{ф}}, \quad (2.39)$$

где g_x - нагрузка от силы тяжести подвески, $\partial aH/m$;

l - длина пролета, равная полусумме длин смежных пролётов, m ;

$G_{\text{и}} = 15 \partial aH$ - нагрузка от силы тяжести изоляторов;

$G_{\text{ф}} = 15 \partial aH$ - нагрузка от силы тяжести половины фиксаторного узла.

Вертикальная нагрузка от силы тяжести подвески в режиме гололёда с ветром:

$$G_{\text{ПГЛ}} = 2,945 \cdot 45 + 15 + 15 = 162,5 \text{ даН.}$$

В режиме ветра наибольшей интенсивности:

$$G_{\text{ПВ}} = 1,982 \cdot 45 + 15 + 15 = 119,2 \text{ даН.}$$

Для переходных опор в режиме гололёда с ветром:

$$G_{\text{ПГЛ}} = 2,945 \cdot 50,75 + 15 + 15 = 179,5 \text{ даН.}$$

В режиме ветра наибольшей интенсивности:

$$G_{\text{ПВ}} = 1,982 \cdot 50,75 + 15 + 15 = 130,6 \text{ даН.}$$

Нагрузка от силы тяжести ВЛ 27,5кВ в режиме ветра наибольшей интенсивности:

$$G_{\text{ВЛВ}} = g_{\text{ВЛХ}} \cdot l + G_{\text{И}}, \quad (2.40)$$

$$G_{\text{ВЛВ}} = 0,541 \cdot 58 + 15 = 46,38 \text{ даН.}$$

Для переходных опор :

$$G_{\text{ВЛВ}} = 0,541 \cdot 50,75 + 15 = 42,45 \text{ даН.}$$

Нагрузка от силы тяжести ВЛ 27,5кВ в режиме гололёда с ветром:

$$G_{\text{ВЛГЛ}} = 1,365 \cdot 58 + 15 = 94,17 \text{ даН.}$$

Для переходных опор:

$$G_{\text{ВЛГЛ}} = 1,365 \cdot 50,75 + 15 = 84,27 \text{ даН.}$$

Нагрузка на провода контактной сети от ветра, передающаяся на опорные устройства:

$$P_{\text{ВХ}} = p_{\text{ВХ}} \cdot l, \text{ даН} \quad (2.42)$$

где $p_{\text{ВХ}}$, - ветровая нагрузка на i -ый провод.

Нагрузка на несущий трос от ветра, передающаяся на опорные устройства в режиме гололёда с ветром:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,926 \cdot 58 = 53,71 \text{ даН.}$$

Для переходных опор:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,926 \cdot 50,75 = 47 \text{ даН.}$$

Нагрузка на несущий трос от ветра, передающаяся на опорные устройства в режиме ветра наибольшей интенсивности:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,815 \cdot 58 = 47,27 \text{ даН.}$$

Для переходных опор:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,815 \cdot 50,75 = 41,36 \text{ даН.}$$

Нагрузка на контактный провод от ветра, передающаяся на опорные устройства в режиме гололёда с ветром:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,711 \cdot 58 = 41,24 \text{ даН.}$$

Для переходных опор:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,711 \cdot 50,75 = 36,08 \text{ даН.}$$

Нагрузка на контактный провод от ветра, передающаяся на опорные устройства в режиме ветра наибольшей интенсивности:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,946 \cdot 58 = 54,87 \text{ даН.}$$

Для переходных опор:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,946 \cdot 50,75 = 48 \text{ даН.}$$

Нагрузка на ВЛ 27,5кВ от ветра, передающаяся на опорные устройства в режиме гололёда с ветром:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,84 \cdot 58 = 48,72 \text{ даН.}$$

Для переходных опор:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,84 \cdot 50,75 = 42,63 \text{ даН.}$$

Нагрузка на ВЛ 27,5кВ от ветра, передающаяся на опорные устройства в режиме ветра наибольшей интенсивности:

$$P_{\text{ВХ}} = 0,521 \cdot 58 = 30,22 \text{ даН.}$$

Усилие на опору, обусловленное изменением направления проводов при их отводах на анкеровку:

$$P_{\text{АНК}}^i = H_x^i \cdot \frac{Z}{l}, \text{ даН} \quad (2.43)$$

где $Z = \Gamma + 0,5 \cdot B$, $\Gamma = 3,2 \text{ м}$ - габарит опоры (расстояние от оси пути до передней грани опоры), $м$; $B = 0,432 \text{ м}$ - ширина опоры.

В режиме гололёда с ветром:

$$P_{\text{АНК}}^{\text{Н}} = 1288 \cdot \frac{3,416}{58} = 75,86 \text{ даН};$$

$$P_{\text{АНК}}^{\text{К}} = 1000 \cdot \frac{3,416}{58} = 58,9 \text{ даН.}$$

В режиме ветра наибольшей интенсивности:

$$P_{\text{АНК}}^{\text{Н}} = 973 \cdot \frac{3,416}{58} = 57,31 \text{ даН};$$

$$P_{\text{АНК}}^{\text{К}} = 1000 \cdot \frac{3,416}{58} = 58,9 \text{ даН.}$$

Усилие от зигзага контактных проводов:

$$P_3 = K \frac{4 \cdot a}{l}, \text{ даН} \quad (2.44)$$

$$P_3 = 1000 \cdot \frac{4 \cdot 0,3}{58} = 20,69 \text{ даН.}$$

Нагрузка от ветра на опору:

$$P_{\text{ОПХ}} = 0,615 \cdot C_x \cdot V_p^2 \cdot S_0 \cdot 10^{-1}, \text{ даН} \quad (2.45)$$

где $C_x = 0,7 \text{ м/с}$ - аэродинамический коэффициент; V_p - расчетная скорость ветра, м/с ; S_0 - площадь поверхности, на которую действует ветер.

$$S_0 = \frac{\alpha + D}{2} \cdot h, \quad (2.46)$$

где $\alpha = 0,29 \text{ м}$, $D = 0,432 \text{ м}$ - верхний и нижний диаметры опоры; $h = 9,7 \text{ м}$ - высота опоры.

$$S_0 = \frac{0,29 + 0,432}{2} \cdot 9,7 = 3,5 \text{ м}^2.$$

Нагрузка от ветра на опору в режиме ветра максимальной интенсивности:

$$P_{\text{ОПХ}} = 0,615 \cdot 0,7 \cdot 29^2 \cdot 3,5 \cdot 0,1 = 126,72 \text{ даН}.$$

Нагрузка от ветра на опору в режиме гололеда с ветром :

$$P_{\text{ОПХ}} = 0,615 \cdot 0,7 \cdot 17,4^2 \cdot 3,5 \cdot 0,1 = 31,24 \text{ даН}.$$

Суммарный изгибающий момент от внешних сил относительно условного обреза фундамента в режиме x :

$$M_{\text{ОХ}} = n_{\text{П}} G_{\text{ПХ}} Z_{\text{П}} + n_{\text{К}} G_{\text{К}} Z_{\text{К}} - n_{\text{ВЛ}} G_{\text{ВЛ}} Z_{\text{ВЛ}} - n_{\text{КР}} G_{\text{КР}} Z_{\text{КР}} \pm \\ \pm P_{\text{В}}^{\text{Н}} h_{\text{Н}} \pm P_{\text{ИЗ}}^{\text{Н}} h_{\text{Н}} \pm P_{\text{В}}^{\text{К}} h_{\text{К}} \pm P_{\text{ИЗ}}^{\text{К}} h_{\text{К}} \pm P_{\text{В}}^{\text{ВЛ}} h_{\text{ВЛ}} \pm P_{\text{ИЗ}}^{\text{ВЛ}} h_{\text{ВЛ}} \pm P_{\text{ОП}} h_{\text{ОП}}, \text{ даН}\cdot\text{м} \quad (2.47)$$

где Z_x, h_x - длина плеч нагрузок, м;

$n_{II}, n_K, n_{KP}, n_{BII}$ - соответственно число подвесок, консолей, кронштейнов и проводов.

Изгибающий момент относительно пяты консоли для переходной опоры в этом же режиме:

$$\begin{aligned} M_{IIK} = & n_{II} G_{IIK} Z_{II} + n_K G_K Z_K - n_{BII} G_{BII} Z_{BII} - n_{KP} G_{KP} Z_{KP} \pm \pm P_B^H (h_H - h_{II}) \pm \\ & \pm P_{II}^H (h_H - h_{II}) \pm P_B^K (h_K - h_{II}) \pm P_{II}^K (h_K - h_{II}) \pm P_B^{BII} (h_{BII} - h_{II}) \pm P_{II}^{BII} (h_{BII} - h_{II}) \pm \\ & \pm P_{OP} \frac{(h_{OP} - h_{II})}{2h_{OP}}, \text{ даН / м.} \end{aligned} \quad (2.48)$$

Суммарный изгибающий момент от внешних сил относительно условного обреза фундамента в режиме гололёда с ветром:

$$\begin{aligned} M_{OГЛ} = & 1 \cdot 162,5 \cdot 3,1 + 1 \cdot 100 \cdot 1,8 - 2 \cdot 94,17 \cdot 1,7 - 1 \cdot 120,5 \cdot 1,7 - 1 \cdot 70 \cdot 1,3 + 53,71 \cdot 9 + 41,24 \cdot 7 + \\ & + 20,69 \cdot 7 + 1 \cdot 48,72 \cdot 9,7 + 55,45 \cdot 8,85 + 31,24 \cdot 9,6 = 2720,43 \text{ даН / м.} \end{aligned}$$

В режиме ветра максимальной интенсивности:

$$\begin{aligned} M_{OV} = & 1 \cdot 119,2 \cdot 3,1 + 1 \cdot 60 \cdot 1,8 - 2 \cdot 46,38 \cdot 1,7 - 1 \cdot 84,14 \cdot 1,7 - 1 \cdot 40 \cdot 1,3 + 47,27 \cdot 9 + 54,87 \cdot 7 + \\ & + 20,69 \cdot 7 + 1 \cdot 30,22 \cdot 9,7 + 1 \cdot 63,85 \cdot 8,85 + 126,72 \cdot 9,6 = 3439,47 \text{ даН / м.} \end{aligned}$$

Суммарный изгибающий момент от внешних сил относительно условного обреза фундамента для переходной опоры в режиме гололёда с ветром:

$$\begin{aligned} M_{OГЛ} = & 2 \cdot 179,5 \cdot 3,2 + 2 \cdot 100 \cdot 1,8 - 1 \cdot 70 \cdot 1,3 - 2 \cdot 84,27 \cdot 1,7 - 1 \cdot 103,31 \cdot 1,7 \pm \\ & \pm 2 \cdot 47 \cdot 9 \pm 75,86 \cdot 9 \pm 2 \cdot 36,08 \cdot 7 \pm 58,9 \cdot 7 \pm 42,63 \cdot 9,7 \pm 48,52 \cdot 8,85 \pm 31,24 \cdot 9,6 = 4540 \text{ даН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

В режиме ветра максимальной интенсивности:

$$M_{огл} = 2 \cdot 130,6 \cdot 3,2 + 2 \cdot 60 \cdot 1,8 - 1 \cdot 40 \cdot 1,3 - 2 \cdot 42,45 \cdot 1,7 - 1 \cdot 41,36 \cdot 1,7 \pm \\ \pm 2 \cdot 41,36 \cdot 9 \pm 57,31 \cdot 9 \pm 2 \cdot 48 \cdot 7 \pm 58,9 \cdot 7 \pm 26,44 \cdot 9,7 \pm 55,11 \cdot 8,85 \pm 126,72 \cdot 9,6 = 5086 \text{ даН} \cdot \text{м}$$

Изгибающий момент относительно пяты консоли для переходной опоры в режиме гололёда с ветром:

$$M_{пв} = 2 \cdot 179,5 \cdot 3,2 + 1 \cdot 100 \cdot 1,8 - 2 \cdot 84,27 \cdot 1,7 - 103,31 \cdot 1,7 - 1 \cdot 70 \cdot 1,3 \pm 2 \cdot 47 \cdot (9 - 6,75) \pm \\ \pm 2 \cdot 36,08 \cdot (7 - 6,25) \pm 75,86 \cdot (9 - 6,75) \pm 58,9 \cdot (7 - 6,75) \pm 42,63 \cdot (9,7 - 6,75) \pm \\ \pm 48,52 \cdot (8,85 - 6,25) \pm 31,24 \cdot \frac{9,6 - 6,75}{2 \cdot 9,6} = 1450 \text{ даН} \cdot \text{м}$$

В режиме ветра максимальной интенсивности:

$$M_{пв} = 2 \cdot 130,6 \cdot 3,2 + 1 \cdot 60 \cdot 1,8 - 2 \cdot 42,45 \cdot 1,7 - 75,5 \cdot 1,7 - 1 \cdot 40 \cdot 1,3 \pm 2 \cdot 41,36 \cdot (9 - 6,75) \pm \\ \pm 2 \cdot 48 \cdot (7 - 6,25) \pm 57,31 \cdot (9 - 6,75) \pm 58,9 \cdot (7 - 6,75) \pm 26,4 \cdot (9,7 - 6,75) \pm \\ \pm 55,11 \cdot (8,85 - 6,25) \pm 126,72 \cdot \frac{9,6 - 6,75}{2 \cdot 9,6} = 1088 \text{ даН} \cdot \text{м.}$$

Результаты расчётов сведены в таблицу 2.3.

Сравнив полученные расчеты с нормативными делаем вывод о том, что опоры подобраны верно. Таким образом, к установке примем металлические опоры типа МШК с различной несущей способностью, в зависимости от назначения.

В результате выполнения второго раздела были определены нагрузки на провода и тросы в различных режимах, определены длины пролетов, выбраны и проверены опоры контактной сети, составлен план контактной сети перегона.

Таблица 2.3 – Выбор опор

№ п/п	Название Опоры	Изгибающий момент, даН/м				Норм. момент, даН/м	Тип опоры
		$M_{стгсв}$	$M_{стгни}$	$M_{пергсв}$	$M_{пергни}$		
1	Промежуточная опора на прямой	3095,475	4240,440	4836,830	2689,132	8000	МШК-10-80
2	Анкерная опора на прямой	3164,931	4346,249	4979,593	2743,824	10000	МШК-10-100
3	Переходная опора на прямой	2904,614	3998,551	4541,028	2564,101	10000	МШК-10-100
4	Промежуточная опора на кривой 1 (внешняя сторона)	3153,050	4240,440	4836,830	2746,707	8000	МШК-10-80
5	Промежуточная опора на кривой 1 (внутренняя сторона)	-1585,328	-2631,547	-2632,581	-1859,185	8000	МШК-10-80
6	Промежуточная опора на кривой 2 (внешняя сторона)	2627,541	3533,700	4030,692	2288,922	8000	МШК-10-80
7	Промежуточная опора на кривой 2 (внутренняя сторона)	-1321,106	-2192,956	-2193,818	-1549,321	8000	МШК-10-80
8	Промежуточная опора на кривой 3 (внешняя сторона)	3941,312	5300,550	6046,038	3433,384	8000	МШК-10-80
9	Промежуточная опора на кривой 3 (внутренняя сторона)	-1981,659	-3289,434	-3290,727	-2323,981	8000	МШК-10-80
10	Промежуточная опора на кривой 4 (внешняя сторона)	1576,525	2120,220	2418,415	1373,353	8000	МШК-10-80
11	Промежуточная опора на кривой 4 (внутренняя сторона)	-792,664	-1315,774	-1316,291	-929,592	8000	МШК-10-80

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Добрынин, Е.В. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Электроснабжение железных дорог» для студентов специальности 23.05.05 СОДП, специализация «Электроснабжение железных дорог» [Текст]/ Е.В Добрынин, Т.В. Бошкарева, С.А. Блинкова – Самара.: СамГУПС, 2021. – 35с.
2. Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог: учеб. для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / К.Г. Марквардт.–М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
3. Тер-Оганов, Э.В. Определение трансформаторной мощности тяговых подстанций. Учебное пособие. [Текст] / Э.В. Тер-Оганов, Г.С. Кузнецова, А.Н. Штин. – Екатеринбург: УрГУПС, 2003. - 68 с.
4. Марквардт, К.Г. Справочник по электроснабжению железных дорог. Справочное пособие. [Текст] / Марквардт К.Г. – М.:Транспорт, 1980. - 256 с.
5. Бесков, Б.А. Проектирование систем электроснабжения электрических железных дорог: учеб. для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / Б.А. Бесков Б, Б.Е. Геронимус, В.Н. Давыдов, М.Е. Крестьянов, Г.Г. Марквардт, Г.А. Минин. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 471 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица П.А1 - Результаты тяговых расчетов в программном комплексе КОРТЭС

Нечётное направление			Чётное направление		
L, км	V, км/ч	Ia, А	L, км	V, км/ч	Ia, А
69	80	284	118	85	0
70	82	286	117	81	0
71	85	217	116	78	300
72	84	100	115	76	402
73	83	0	114	79	594
74	77	0	113	85	289
75	76	106	112	87	150
76	77	130	111	88	0
77	77	165	110	86	299
78	79	159	109	85	300
79	80	128	108	85	11
80	80	0	107	79	240
81	78	60	106	82	540
82	77	130	105	83	250
83	79	252	104	85	2
84	82	245	103	81	0
85	82	245	102	80	0
86	82	245	101	80	0
87	84	239	100	79	0
88	85	200	99	78	343
89	85	172	98	84	292
90	89	0	97	84	150
91	84	0	96	83	0
92	83	15	95	78	272
93	82	29	94	79	595
94	82	566	93	80	300
95	86	80	92	85	123
96	89	27	91	83	404
97	80	0	90	85	300
98	77	234	89	88	213
99	78	290	88	82	314
69	80	284	87	85	389
100	80	294	86	84	200
101	84	211	85	83	0
102	83	295	84	78	0
103	84	300	83	77	180
104	85	428	82	79	250

Продолжение Таблицы А.1

Нечётное направление			Чётное направление		
L, км	V, км/ч	Ia,А	L, км	V, км/ч	Ia,А
105	84	221	81	80	297
106	83	300	80	83	282
107	82	410	79	85	416
108	87	52	78	86	200
109	86	0	77	86	78
110	84	0	76	82	342
111	82	0	75	83	150
112	81	229	74	84	72
113	82	300	73	79	278
114	82	571	72	85	261
115	85	93	71	82	150
116	87	0	70	80	0
117	87	0	69	77	137
118	87	0	118	85	0

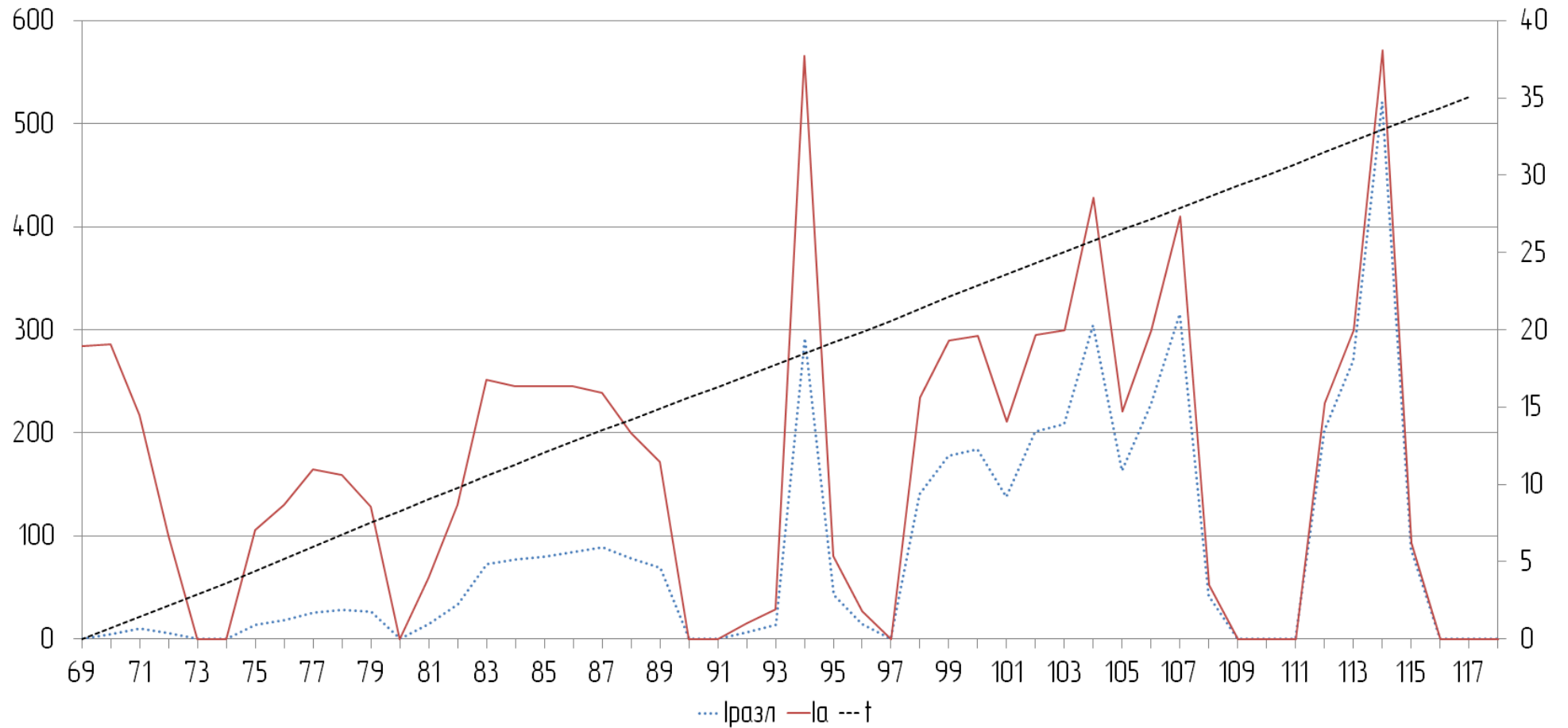


Рисунок П.Б1 – График поездного тока и времени хода поезда в нечётном направлении

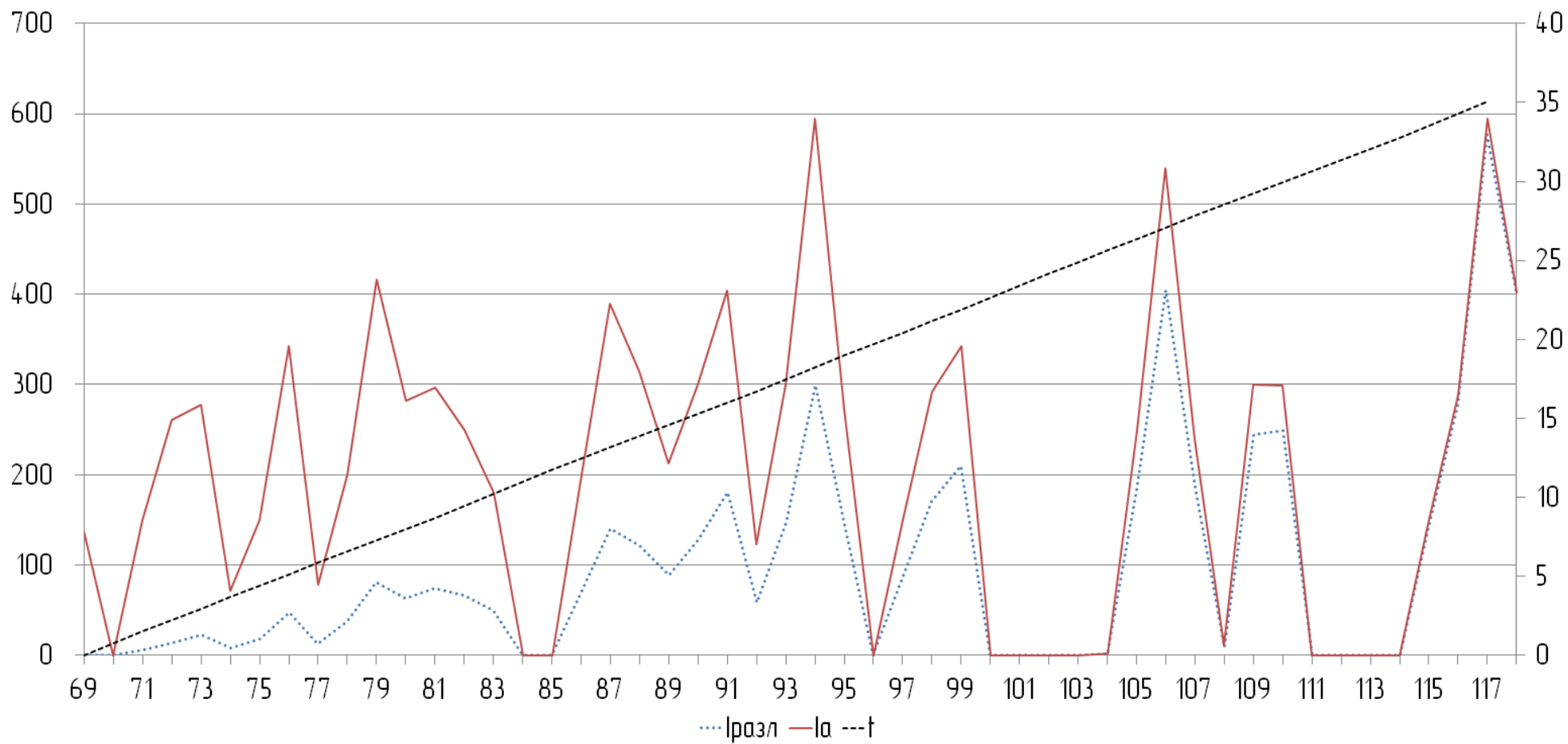


Рисунок П.Б2 – График поездного тока и времени хода поезда в чётном направлении

