



Международная научная
конференция BSM
高速铁路国际学术论坛
HSR International Scientific
Conference

Высокоскоростные железные дороги –
драйвер экономического роста 2018

2018 高铁-经济发展的驱动力

High Speed Railways –
Driver of Economic Growth 2018

多功能-接触网



Универсал –
контактные сети

Разработка схемных и конструктивных решений по контактной сети КС-400 для ВСМ-2 用于高铁-2接触网KS-400电路和结构方案设计

**Евгений Кудряшов,
зам. гл. инж., к.т.н.**

耶夫格尼·库德里亚绍夫

副总工、科学技术副博士



Основные исходные положения 基本情况

1. Максимальная расчетная скорость движения: **400 км/ч.**

1、最大运行时速：**400 km/h**

1. Климатические условия: 气候条件:

- минимальная температура воздуха: **минус 50 °C;最低气温：- 50 °C;**

- максимальная скорость ветра: **26 (35) м/с;最大风速：26 (35) m/s**

- максимальная толщина стенки гололеда: **15 мм.最大覆冰厚度: 15 mm**

2. Максимальная температура нагрева проводов: **80 (100) °C. 电线最高加热温度：80 (100) °C.**

3. Температурный диапазон контактной подвески: **130 (150) °C. 接触悬挂温度范围：130 (150) °C.**

4. Система электроснабжения: 2x25 кВ с обратными проводами. 供电系统: 回流线2x25千伏

6. Система электроснабжения должна предусматривать возможность плавки гололеда или профилактического подогрева проводов.

供电系统应预见覆冰融化或电线预防性加热的可能性

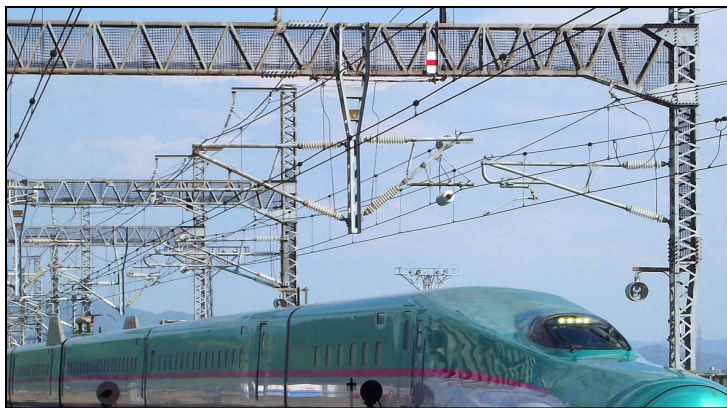
Габарит приближения строений: C400. Контактная сеть должна позволять эксплуатацию поездов с габаритом Т.

建筑接近限界：C400。接触网应允许T限界机车车辆的运行

6. Количество рабочих токоприемников ВПС: **1 или 2. 高速铁路机车车辆受电弓数量：1或2**

7. Часть трассы располагается на эстакадах. 线路一部分建在高大桥上

Япония 日本



Франция 法国



Германия 德国



Испания 西班牙



Италия 意大利

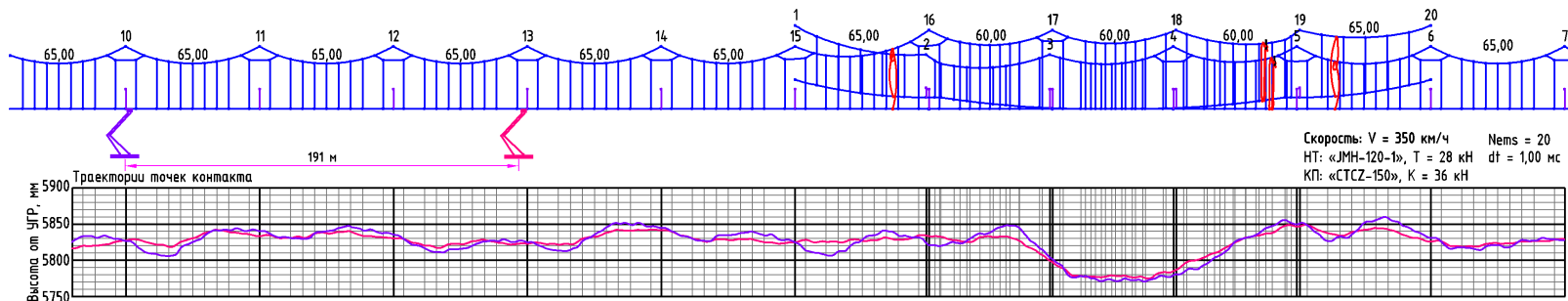


Китай 中国

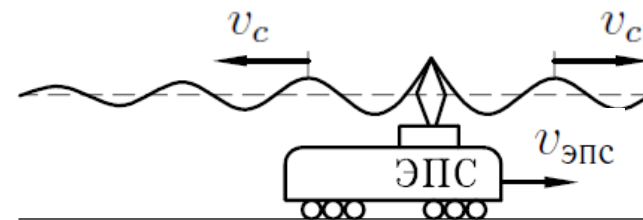


Научно-технические проблемы создания КС-400 创建 KS-400科技问题

1. Обеспечение надежного токобъема при скоростях движения до 400 км/ч,
2. 速度达到400 km/h时集电



Скорость распространения волны
电波传播速度



$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{\rho}{\sigma} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

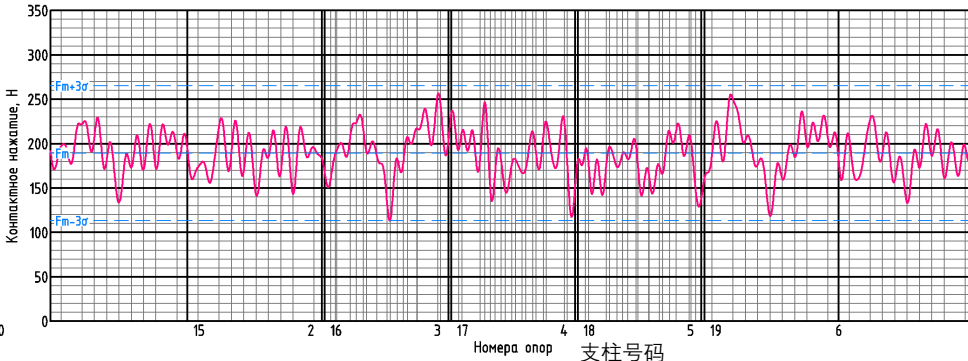
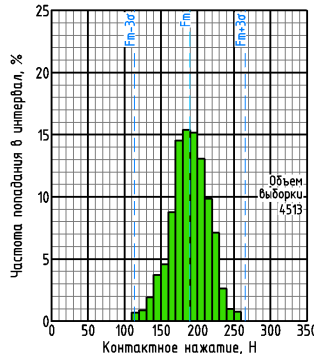
$$y(x, t) = f(x \pm v_c t), \text{ где}$$

$$v_c = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} = \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Первый токоприемник

Первый токоприемник

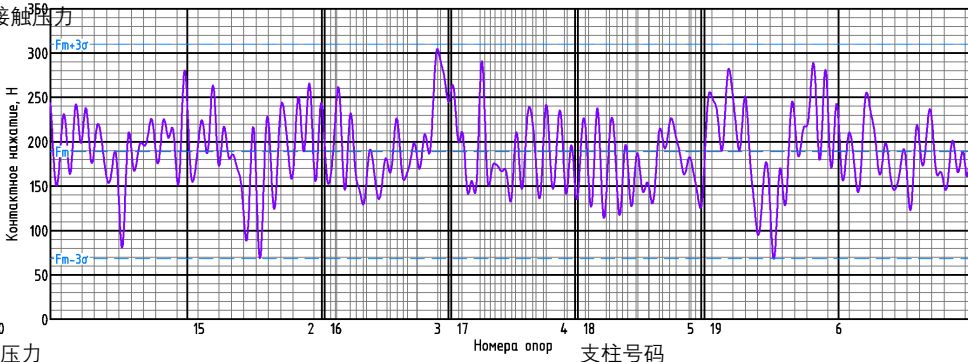
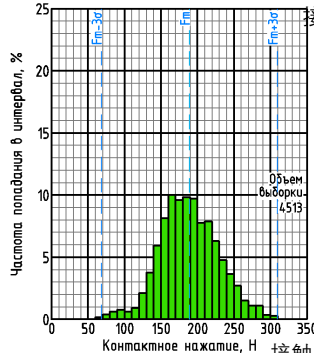
Параметр	Норма	Знач.
Среднее значение контактного нажатия F_m , Н	<200	189,3
Стандартное отклонение σ , Н	<0,3· F_m	25,3
Статистический максимум $F_m+3\sigma$, Н	<350	265,2
Статистический минимум $F_m-3\sigma$, Н	>0	113,3
Фактический максимум F_{max} , Н		256,9
Фактический минимум F_{min} , Н		113,3
Макс. отжатие КП под фиксатором dHf, мм	<150	94,8
Процент потери контакта NO, %	<0,20	0,00
Размах колебаний точки контакта 2A, мм		74,3



Второй токоприемник

Второй токоприемник

Параметр	Норма	Знач.
Среднее значение контактного нажатия F_m , Н	<200	189,0
Стандартное отклонение σ , Н	<0,3· F_m	40,2
Статистический максимум $F_m+3\sigma$, Н	<350	309,7
Статистический минимум $F_m-3\sigma$, Н	>0	68,3
Фактический максимум F_{max} , Н		304,9
Фактический минимум F_{min} , Н		68,2
Макс. отжатие КП под фиксатором dHf, мм	<150	98,4
Процент потери контакта NO, %	<0,20	0,00
Размах колебаний точки контакта 2A, мм		89,2

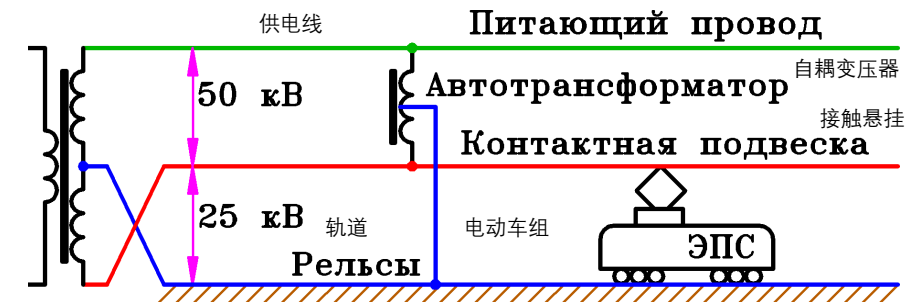
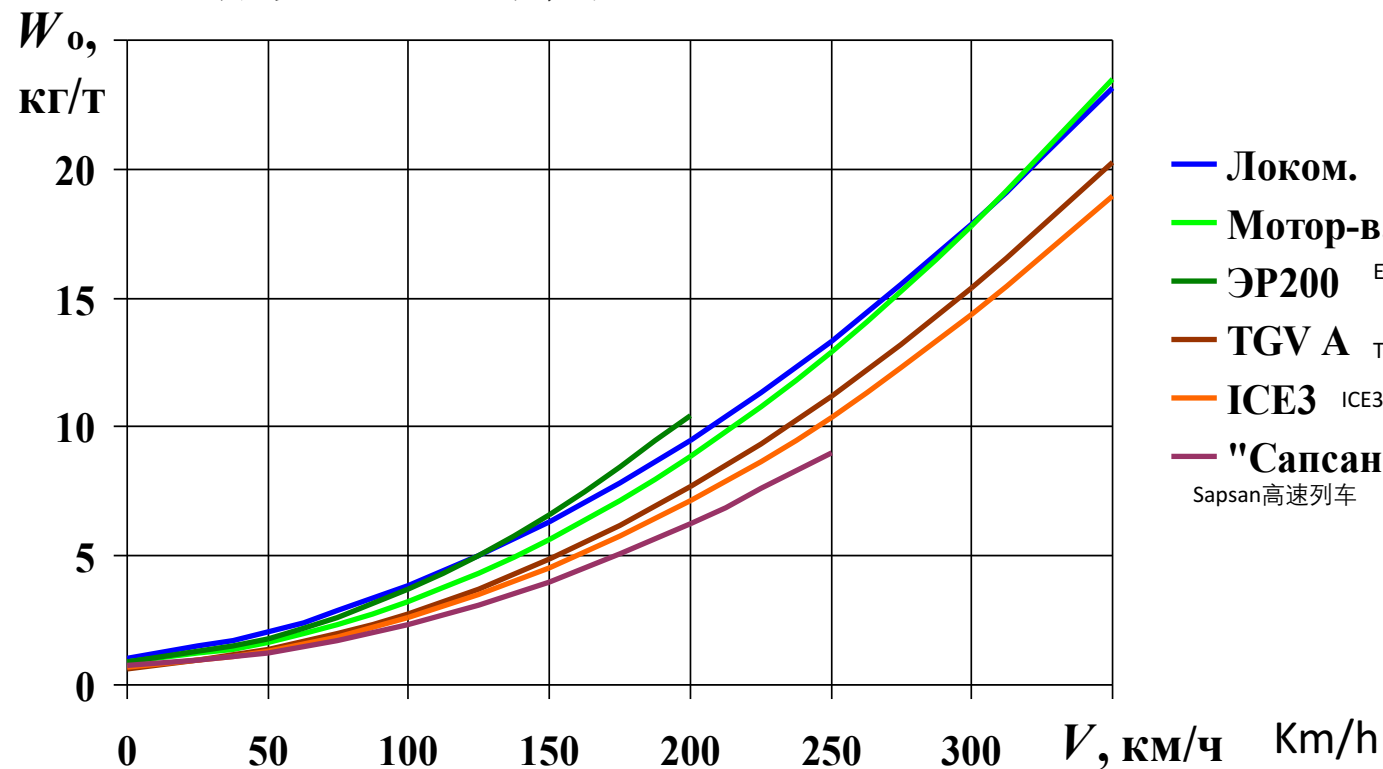


2. Передача электроэнергии к ЭПС с заданным уровнем напряжения.

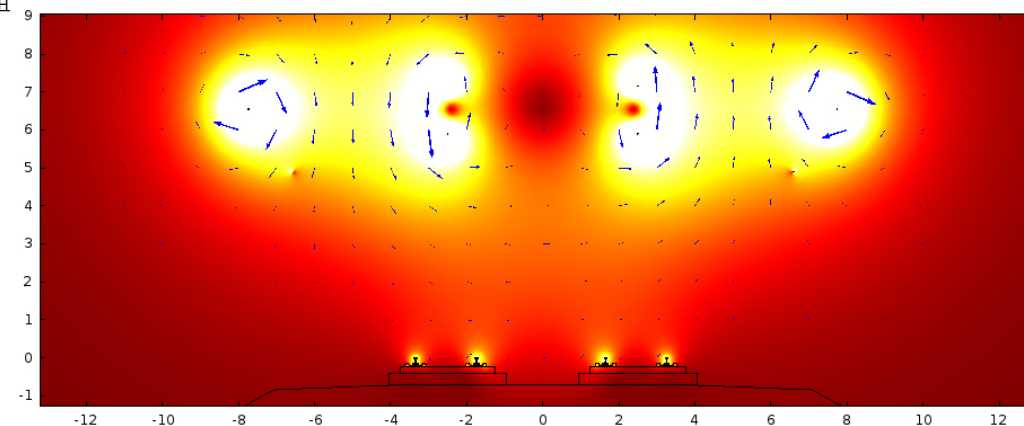
Обеспечение электробезопасности электротяговой сети 保证电力牵引网用电安全

Система электроснабжения 2x25 кВ
2x25 кВ 千伏供电系统

Основное удельное сопротивление движению ЭПС
电动车组运行的单位阻力

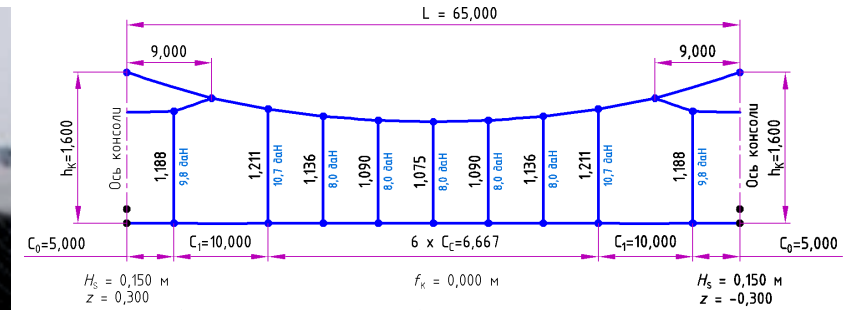


Эпюра индукции магнитного поля
磁场感应分布图

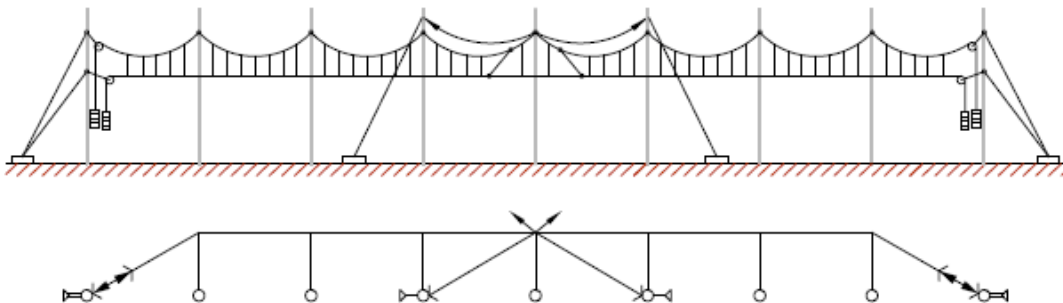


Научно-технические проблемы создания КС-400 创建 KS-400 科技问题

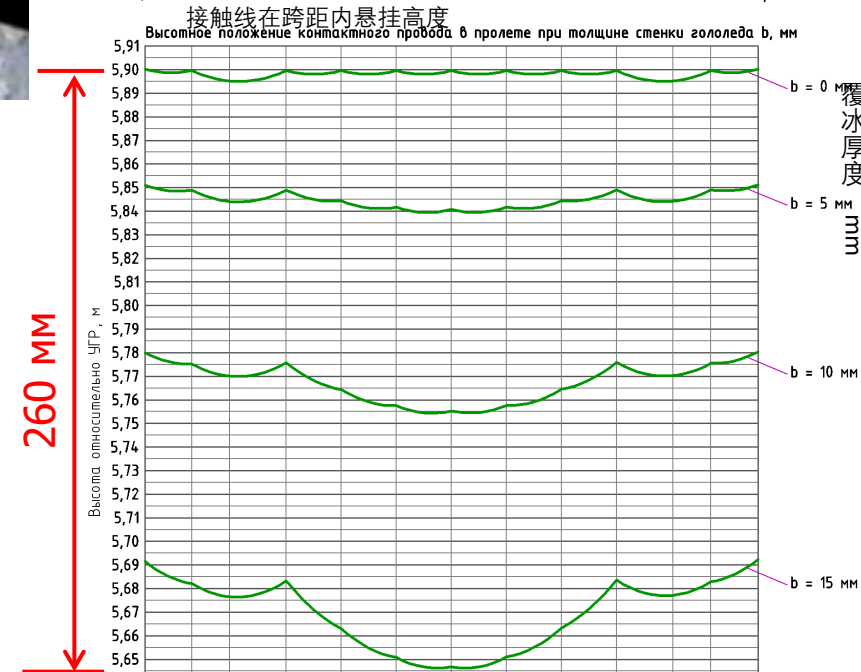
3. Эксплуатация в тяжелых климатических условиях 恶劣气候条件下运行



1. Минимальная температура воздуха: **-50 °C** 最低气温: -50 °C
2. Максимальная температура проводов: **80...100 °C** 导线最高温度: 80...100 °C
3. Температурный диапазон работы подвески **130...150 °C** 悬挂温度范围130...150 °C

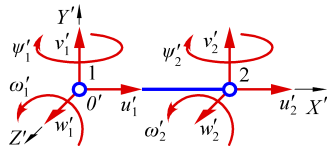


4. Гололед с толщиной стенки до **15 мм**
覆冰厚达到15 mm



工具：数字模型

Конечноэлементные



之间的

Длины

Длины меж

Натяжения
элементов
в даН
线索张力, daN

整个锚段接触线高程表

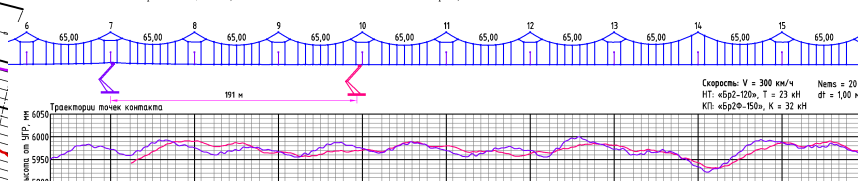
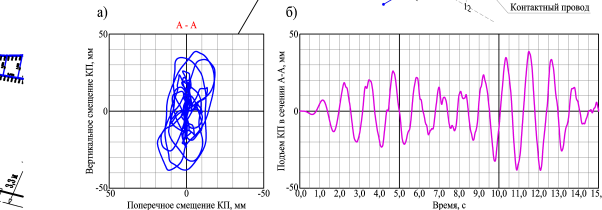
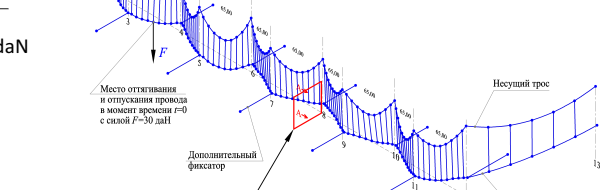
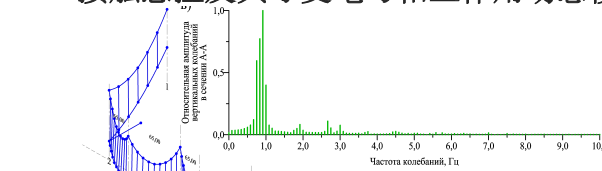
График высотного положения
контактного провода
для всего анкерного участка

Квазистатическая траектория
точки контакта
для всего анкерного участка

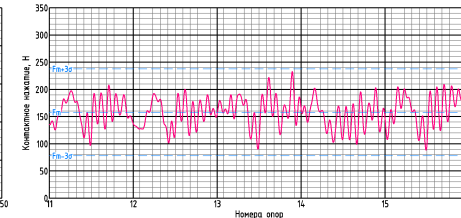
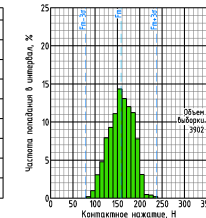
График распределения
эластичности
для всего анкерного участка

Чертежи и графики
для расчетного пролета

Динамические модели контактной подвески и процесса ее

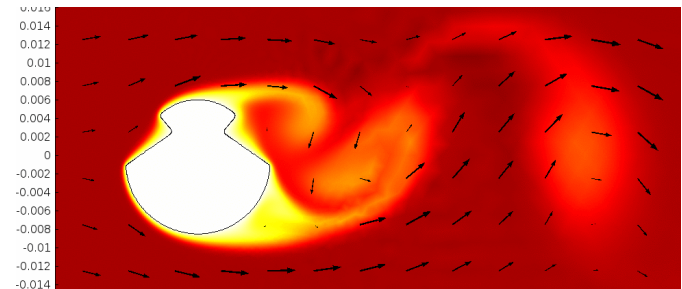
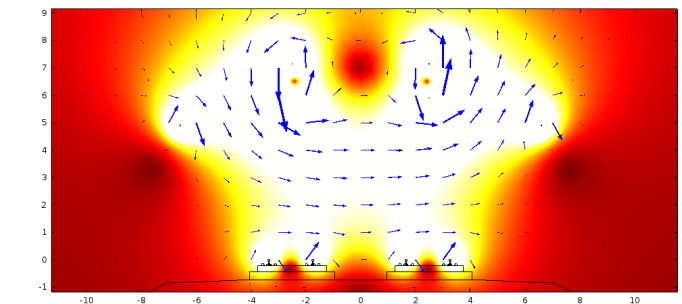
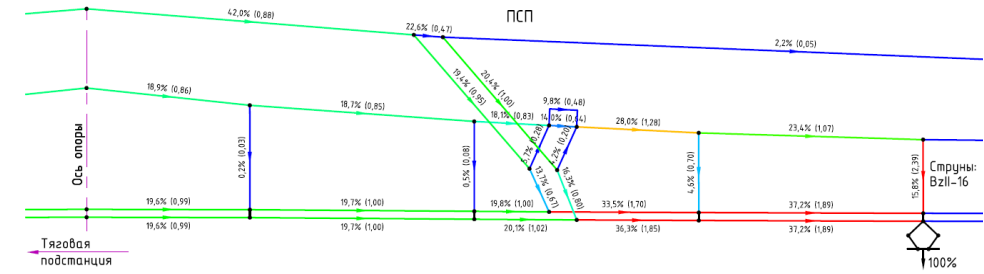


Параметр	Норма	Знач.
Среднее значение контактного нажима $F_{\text{н}}$, Н	<200	157,9
Стандартное отклонение σ , Н	$<0,3 F_{\text{н}}$	26,6
Статистический максимум $F_{\text{н}}+3\sigma$, Н	<350	237,7
Статистический минимум $F_{\text{н}}-3\sigma$, Н	>0	78,1
Фактический максимум $F_{\text{фак}}$, Н		232,9
Фактический минимум $F_{\text{фак}}$, Н		88,4
Макс. отжиге ΔT по диффузионной КП, не	<150	83,9
Процент потери контакта ΔQ , %	$<0,20$	0,00
Размах колебаний точки контакта $2A$, мм		59,6



Электрические

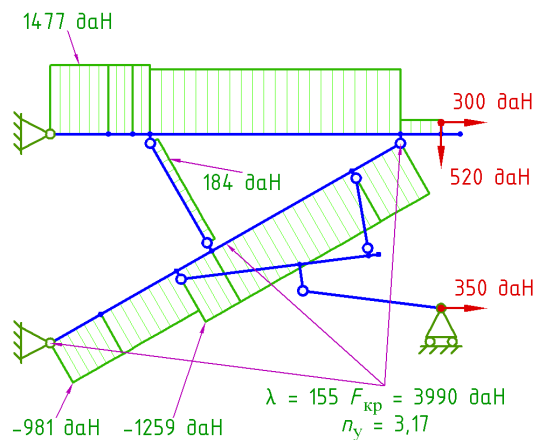
И тепловые модели 电力和热力模型



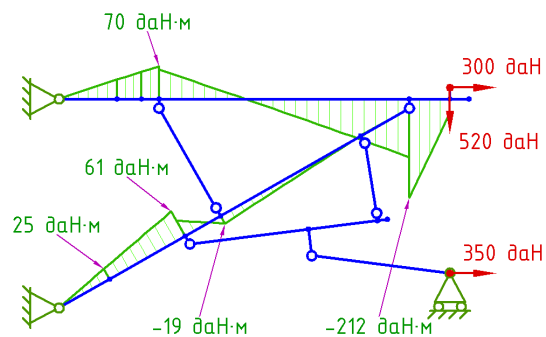
Инструменты: математические модели 工具：数字模型

Конечноэлементные модели узлов и конструкций контактной подвески 接触悬挂接头和其结构末级元件模型

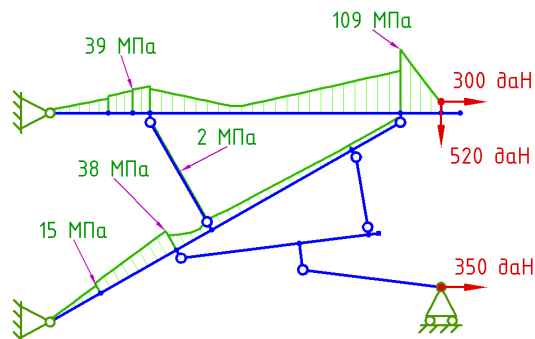
a)



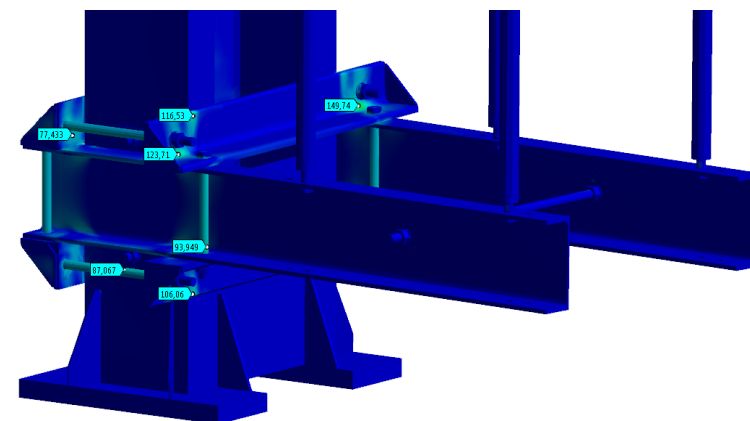
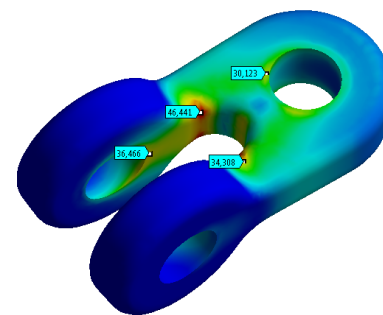
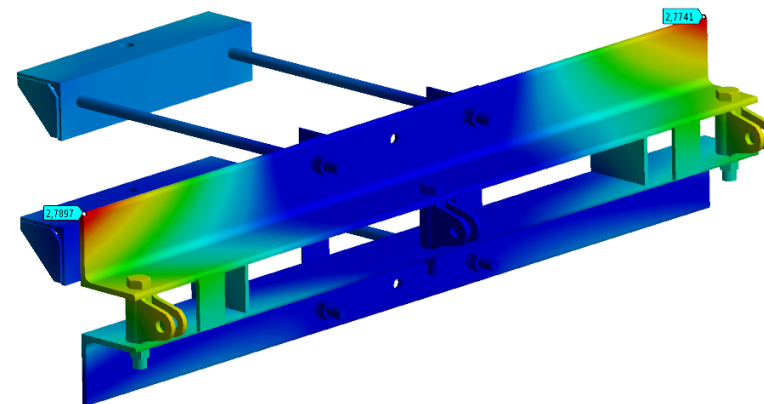
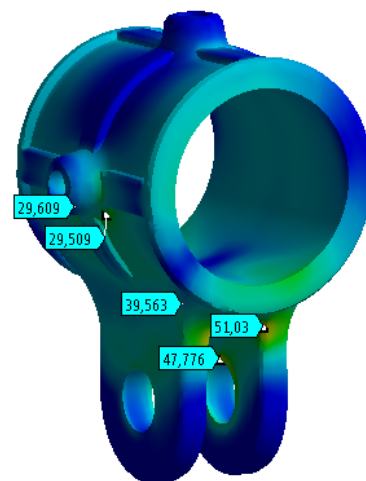
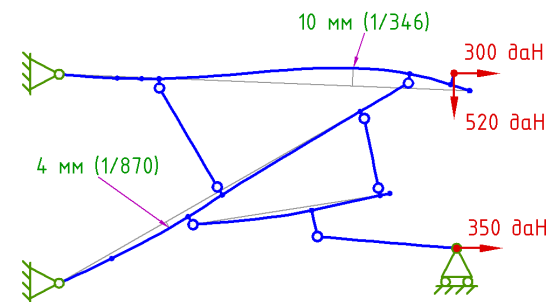
б)



в)



г)



Варианты контактной сети на ВСМ-2

高铁-2 接触网选择

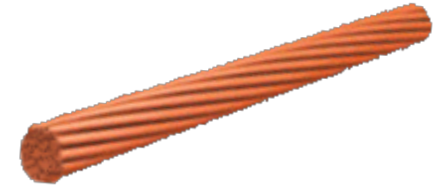
Параметры 参数	Значения для вариантов контактной сети 接触网选择数值			
	КС-400 КС-400	КС-170 КС-170	КС-250-3 КС-250-3	КС-170-3 КС-170-3
Род тока, номинальное напряжение 电流类型, 额定电压	Переменный 25 кВ 可变25千伏		Постоянный 3 кВ 永久3千伏	
Максимальная эксплуатационная / расчетная скорость 最大操作/设计速度	360 / 400 км/ч 360/400 公里/小时	150 / 170 км/ч 150/170 公里/小时	250 / 280 км/ч 250/280 公里/小时	150 / 170 км/ч 150/170 公里/小时
Область применения 适用范围	Главный пути высокоскоростного участка 高速路段的主要路径	Станционные пути, диспетчерские съезды высокоскоростного участка 车站路径, 高速段控制坡道	Главный пути участка постоянного тока 直流部分的主路径	Станционные пути участка постоянного тока 常电流段的车站路径
Минимальный радиус кривой 曲线的最小半径	7500 м	500 м	3000 (1500) м	500 м
Тип контактной подвески 接触悬挂的类型	Цепная одинарная компенсированная 链单补偿			
Основные провода и их номинальные натяжения 主电线及其标称张力	JMН-120 + СТСЗ-150 (Бр2-120 + БрФ2-150) 28 + 36 кН	Бр1-120 + БрФ1-120 18 + 15 кН	Бр1-120 + 2БрФ1-120 18 + 2x20 кН	Бр1-120 + 2БрФ1-120 18 + 2x15 кН
Рессорный трос 弹簧绳	BzII-35	нет	BzII-35	нет
Струны 字符串	BzII-10		BzII-16	
Макс. длина пролета 最大跨度长度	65 м	70 м	65 м	65 м
Макс. длина а.у. 最大a.u.长度	1400 м (2x700 м)			
Номин. высота контактного провода 电车线最大高度	5,75 (5,9) м			
Конструктивная высота 建筑高度	1,6 м			

Основные провода и тросы контактной подвески КС-400 触点悬挂支架KS-400的基本电线和电缆

Контактный провод 接触线



Несущий трос 承力索



Марка провода 电线品牌	Площадь сеч., мм ² 表面积, mm ²	Эл. сопр. пост. току при 20 °С, Ом/км (не более) 20°C时的常电流, 欧姆/公里 (不多余)	Временное сопротивление при растяж., Н/мм ² (не менее) 拉伸时的临时阻力, N/mm ² (不小于)	Номинальное натяжение, кН 额定拉力, kN
	S	r	σ_{min}	K
СТСЗ-150 или СТМН-150	150	0,153	560	36
Бр2Ф-150 с повышенными механическими характеристиками 增加机械特性	150	0,215	540	36
Нанoeлектро CuNb Nanoelektro牌 CuNb	120	0,170	610	32,5

Марка провода 电线品牌	Площадь сеч., мм ² 表面积, mm ²	Эл. сопр. пост. току при 20 °С, Ом/км (не более) 20°C时的常电流, 欧姆/公里 (不多余)	Разрывное усилие, кН (не менее) 破坏力, kN (不小于)	Номинальное натяжение, кН 额定拉力, kN
	S	r	Тр	T
JMН-120-1	119,75	0,194	70,52	28
Бр2-120	116,99	0,237	67,57	28

Высокопрочный контактный провод 高接触线

Провод CuMg (Китай)

Провод CuNb (Наноэлектро, Россия)

CuMg线 (中国)

CuNb线 (Nanoelektro公司, 俄罗斯)

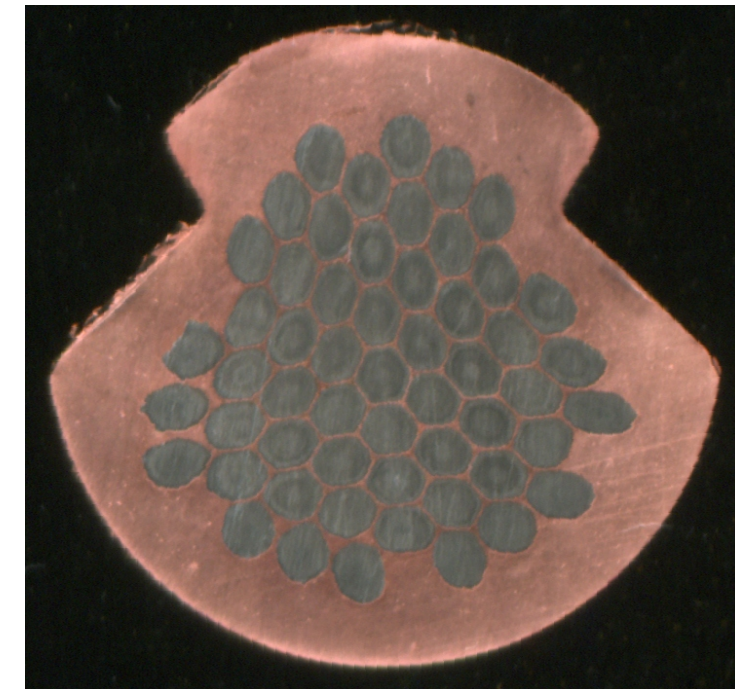
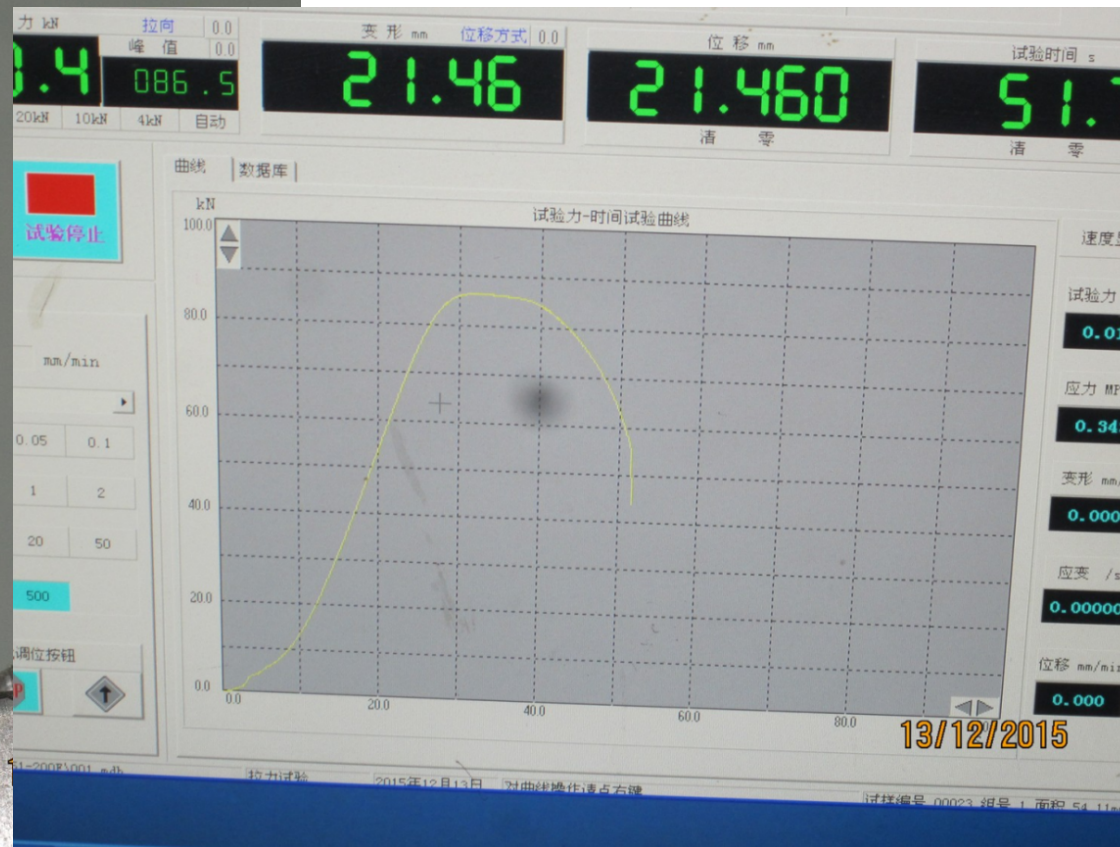
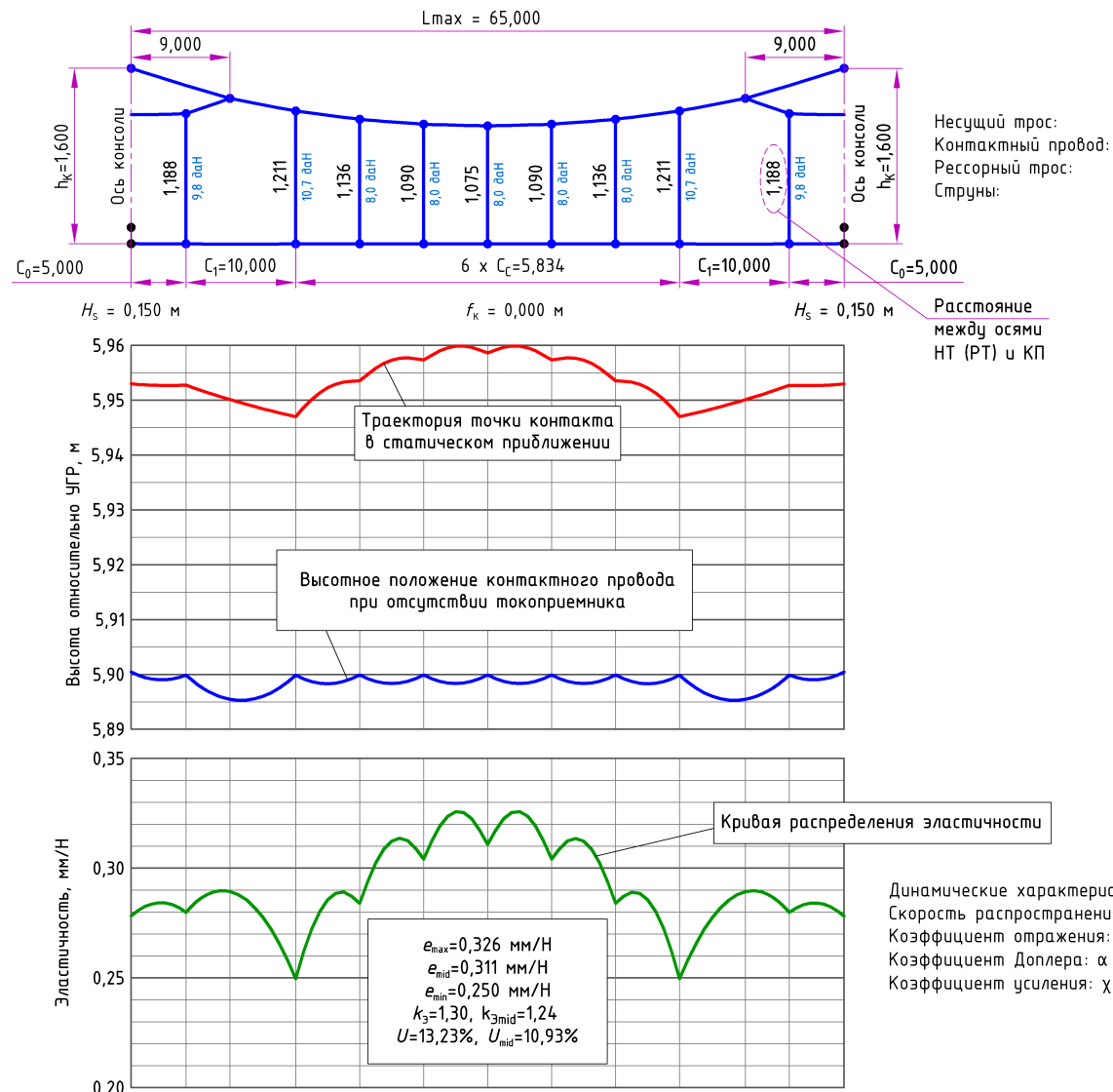


Схема пролета контактной подвески КС-400 接触悬架KS-400的悬空方案



Тип подвески: цепная компенсированная рессорная.

悬挂类型: 链条补偿弹簧

Максимальная длина пролета: 65 м.

跨度的最大长度是65米。

Номинальная высота контактного провода:

接触线的标称高度:

5,9 м или 5,75 м от УГР. (Последний вариант – 5,75)

距轨道标高5.9米或5.75米。(5.75为最后选项)

Контактный провод: CuCrZr или CuMg,

接触线: CuCrZr或者CuMg,

сечением 150 мм^2 с натяжением 36 кН.

截面积为 150 мм^2 , 张力为36 kN。

Вариант: CuNb сечением 120 мм^2 с натяжением 32,5 кН.

选项: 横截面积为 120 мм^2 , 张力为32.5 kN的CuNb。

Несущий трос: CuMg,

承力索: CuMg,

сечением 120 мм^2 и натяжением 28 кН.

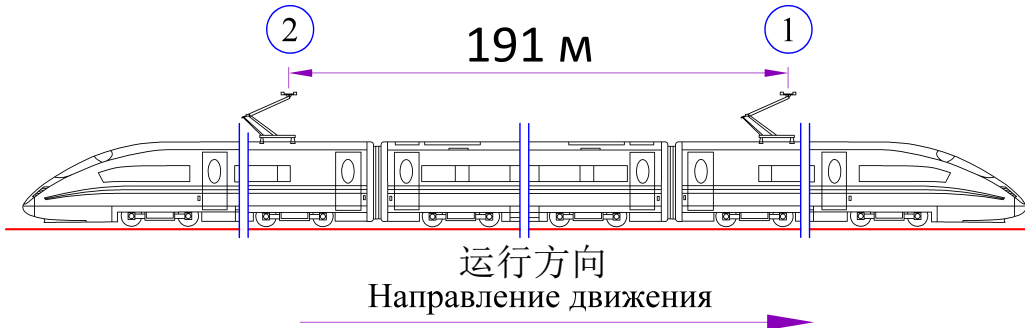
截面积为 120 мм^2 , 张力为28 kN。

Параметры ЭПС и токоприемников 电力机车和受电弓参数

Поезд CRH-380AL (16 вагонов)
CRH-380AL 列车 (16节车厢)



Расстояние между токоприемниками
受电弓之间的距离



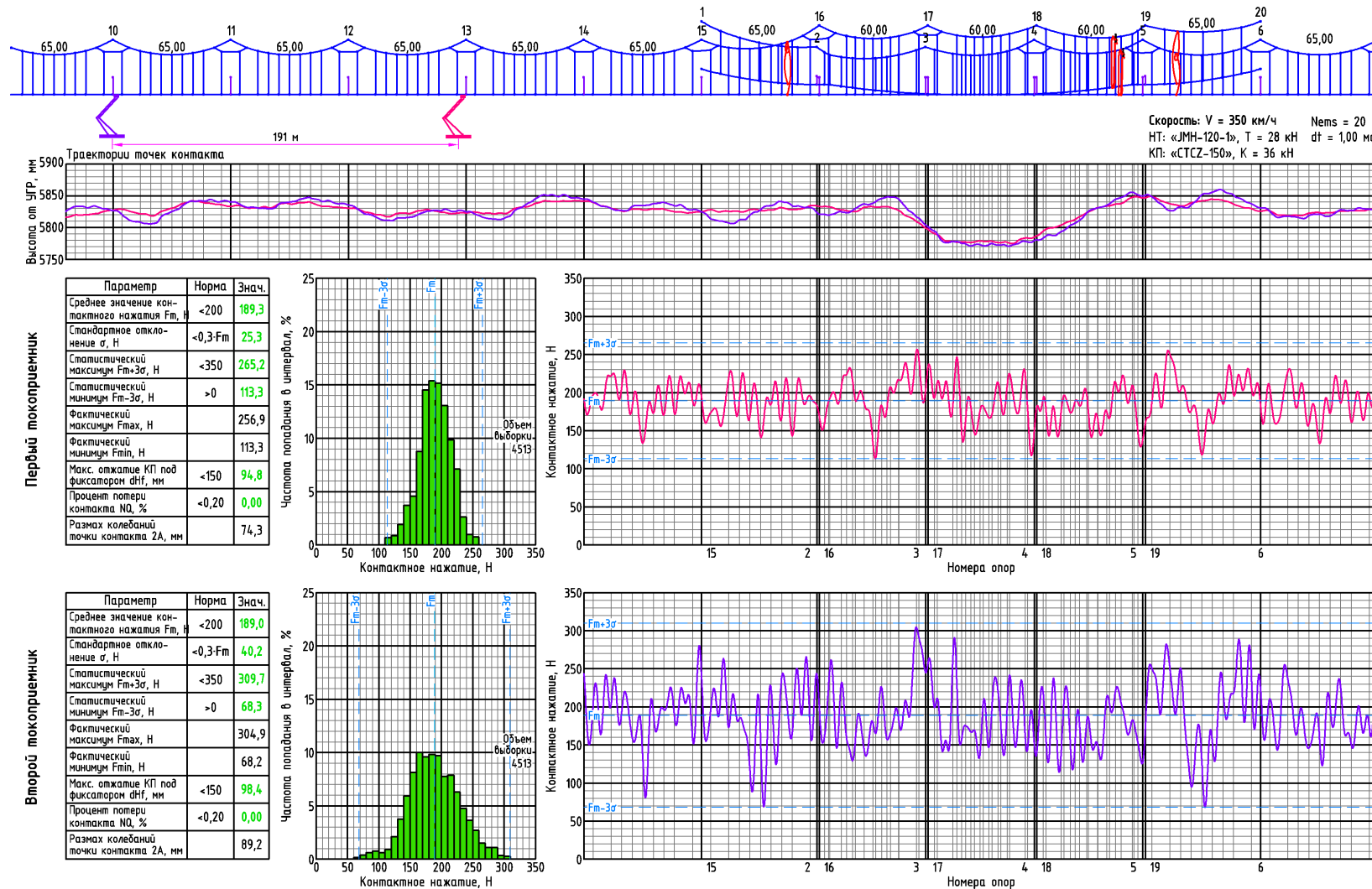
Параметры
модели токоприемника
受电弓模型的参数

Токоприемник DSA-380D
DSA-380D受电弓



	M0	7.12
质量 Masses [kg]	M1	6
	M2	5.8
弹性 Springs [N/m]	K0	9430
	K1	14100
	K2	0.1
阻尼 Damping [Ns/m]	C0	0
	C1	0
	C2	70
摩擦力 Friction [N]	F0	0.5
	F1	3.5
	F2	3.5

Взаимодействие подвески с токоприемниками по результатам моделирования 基于仿真结果的悬架与受电弓的相互作用

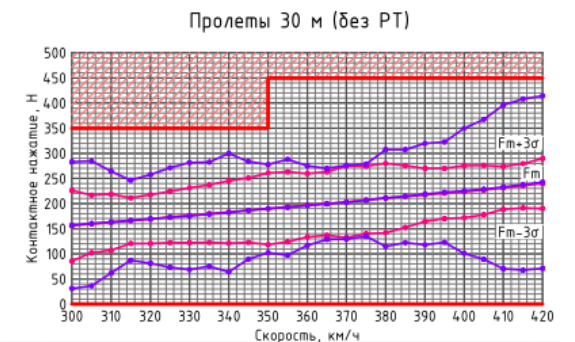
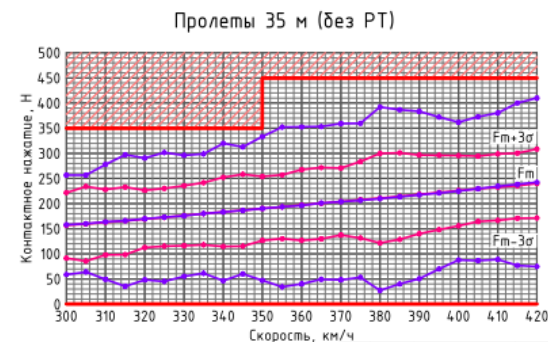
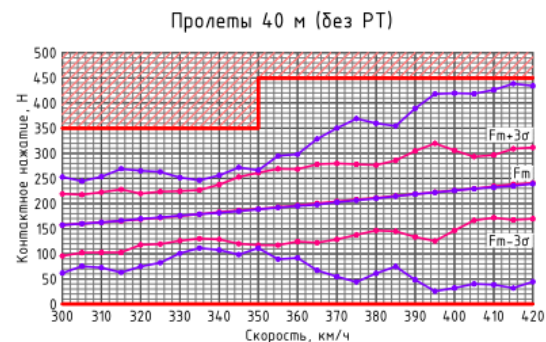
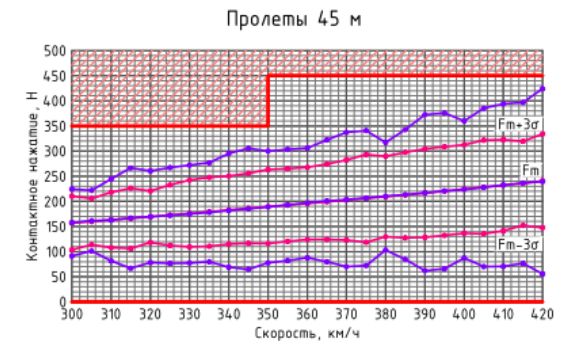
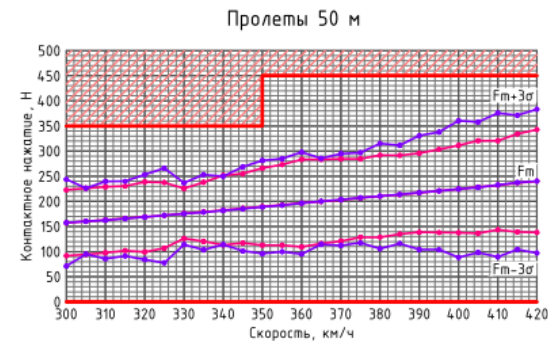
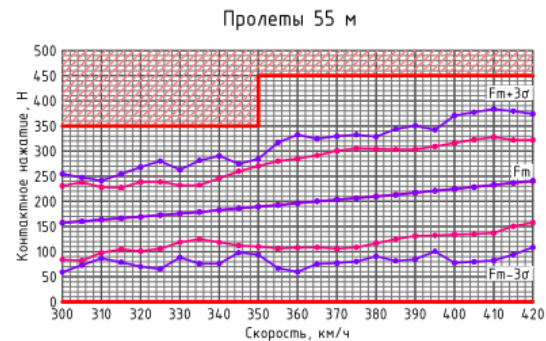
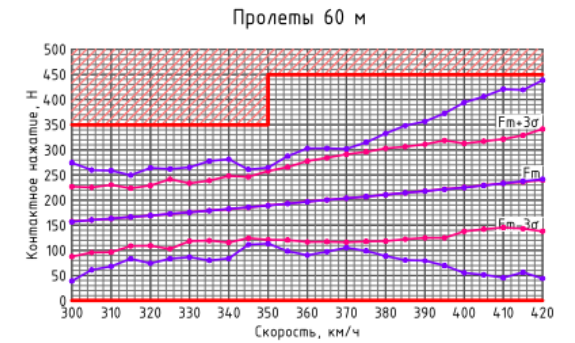
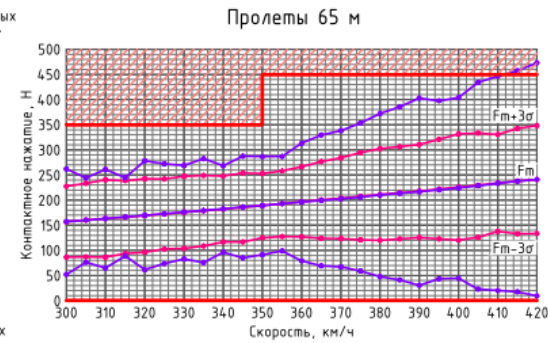
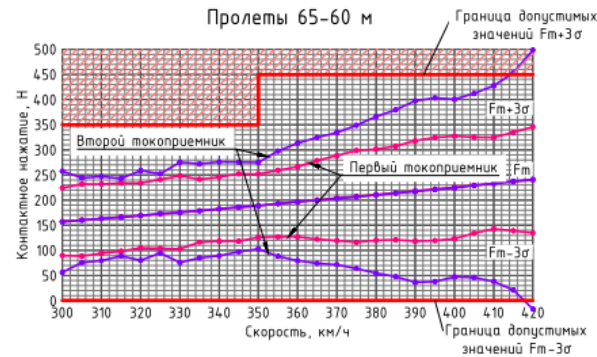


Траектории
точек контакта
接触点的轨迹

Контактное
нажатие
接触力

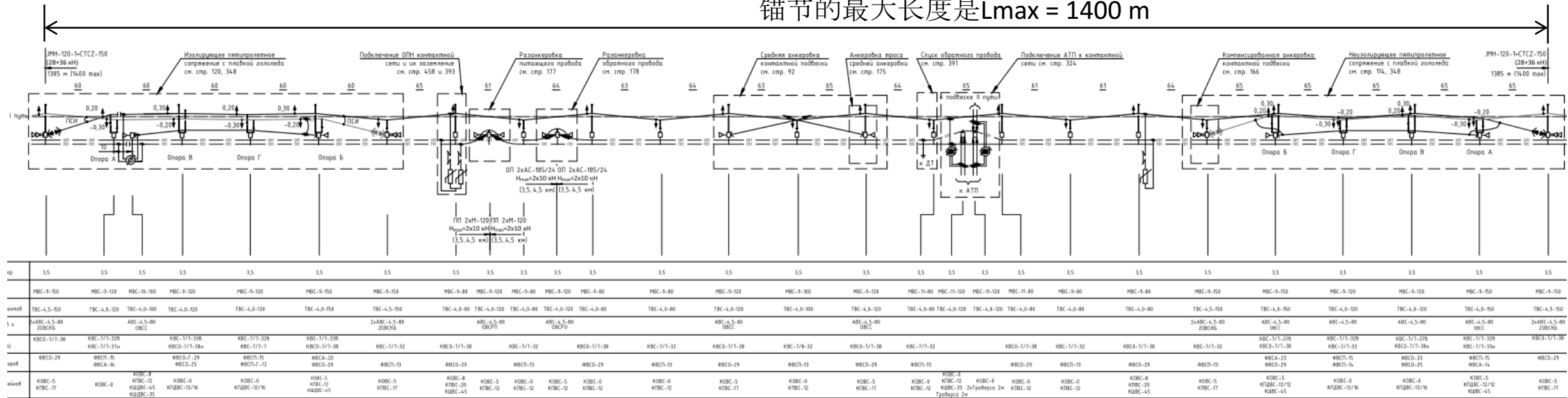
Взаимодействие подвески с токоприемниками по результатам моделирования 基于仿真结果的悬架与受电弓的相互作用

**Зависимости
статистических
параметров
контактного
нажатия от скорости
при
длинах пролетов
 $L=30...65$ м
对于跨度 $L = 30 \dots 65$
m 的长度, 接触压力
统计参数的关系曲线。**

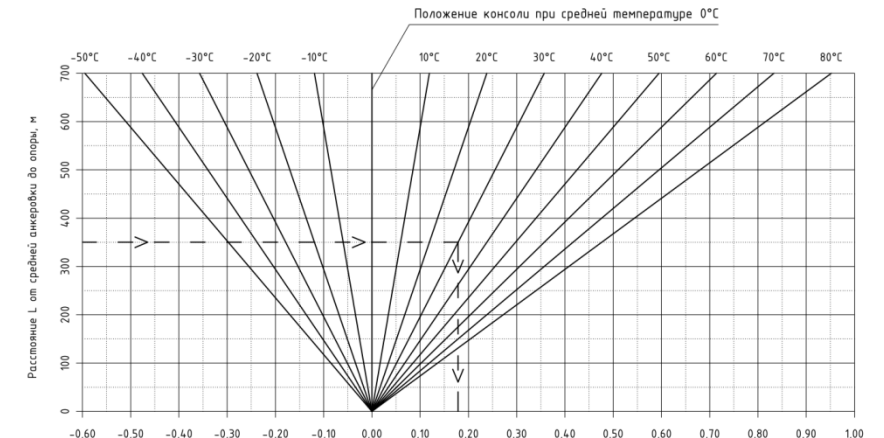
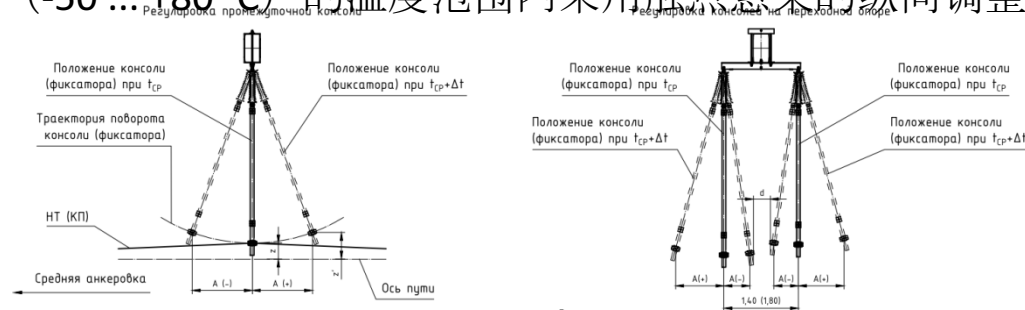


Анкерный участок контактной подвески КС-400 接触悬架KS-400的锚节

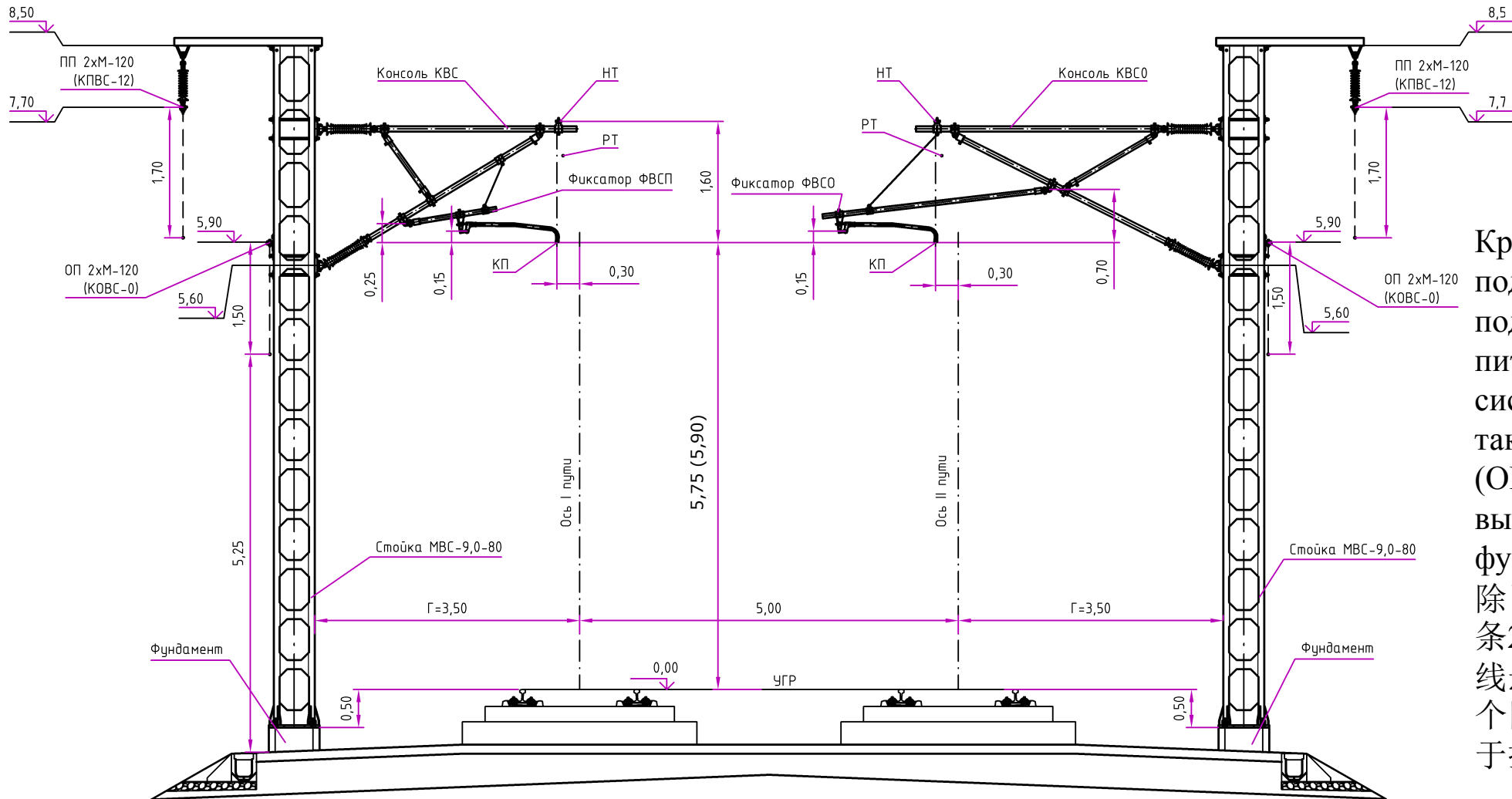
Максимальная длина анкерного участка $L_{\max} = 1400$ м
锚节的最大长度是 $L_{\max} = 1400$ m



Параметры продольной регулировки контактной подвески приняты для диапазона температур 130 °C (–50...+80 °C).
在130°C (–50 ...+80°C) 的温度范围内采用触点悬架的纵向调整参数。



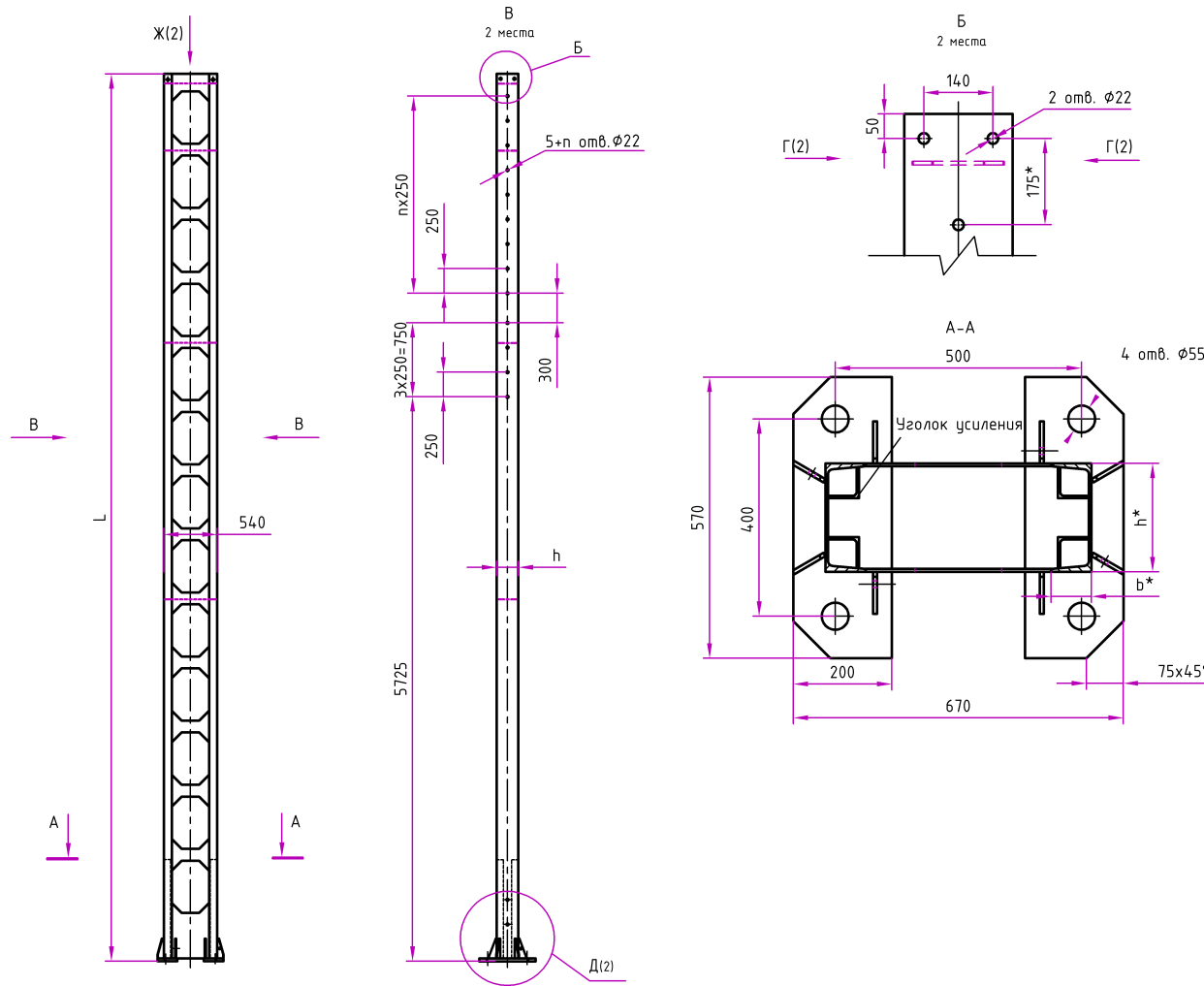
Армировки опор контактной сети КС-400: перегоны, зем. Полотно
加强联络网KS-400的支持：路段，地基



Кроме контактной подвески на опорах подвешивается питающий провод системы 2х25 кВ (ПП), а также обратный провод (ОП), который выполняет, в том числе, функцию заземления.

除了触点悬架外，还有一条2 x 25 kV (PP) 电源线悬挂在支架上，还有一个回路导线 (OP)，用于执行接地功能等。

Стойки опор – двухшвеллерные 双槽型支架

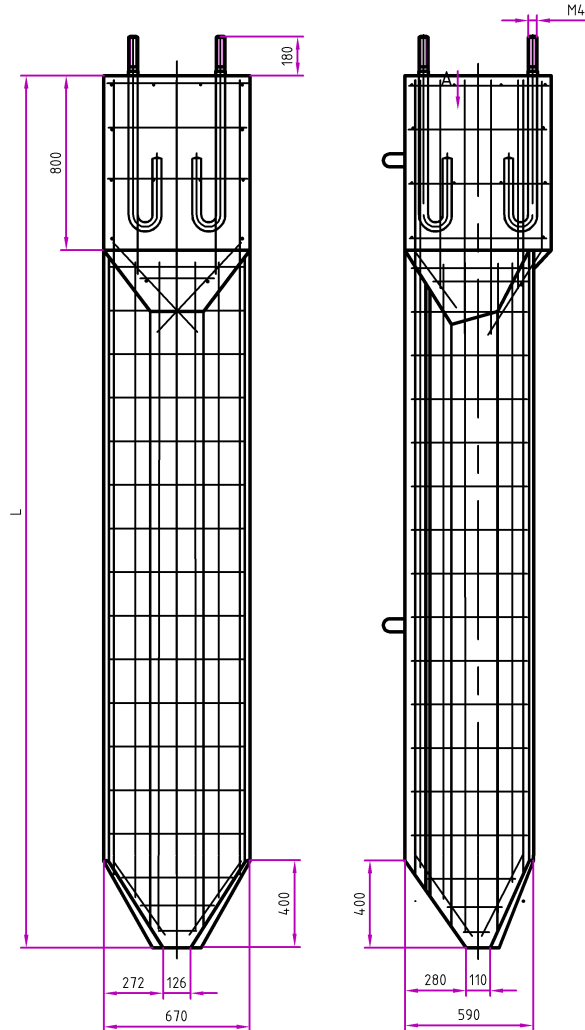
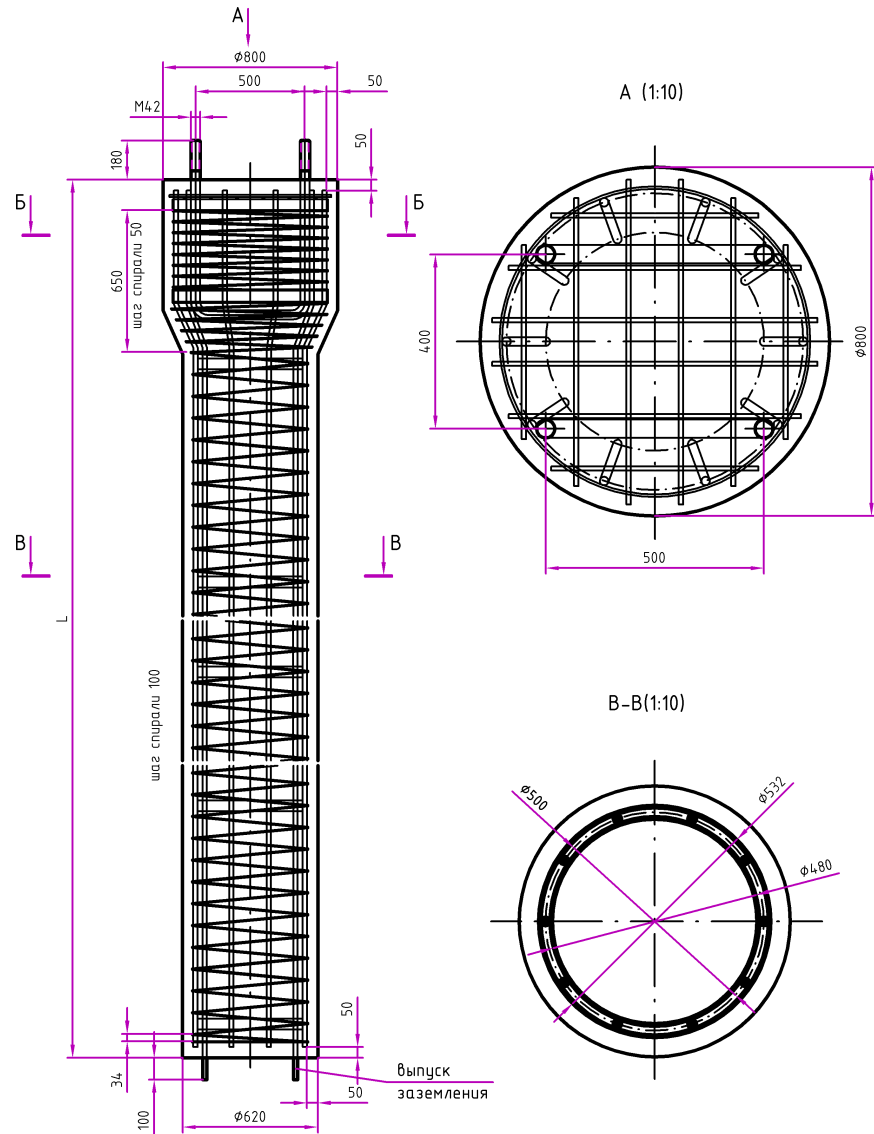


Допустимый прогиб на уровне
контактного провода: 40 мм
接触线水平处的允许偏差: 40毫米

Исполнения по высоте:
от 8,5 до 12 м с шагом 0,5 м
高度: 从8.5到12米, 增量为0.5米

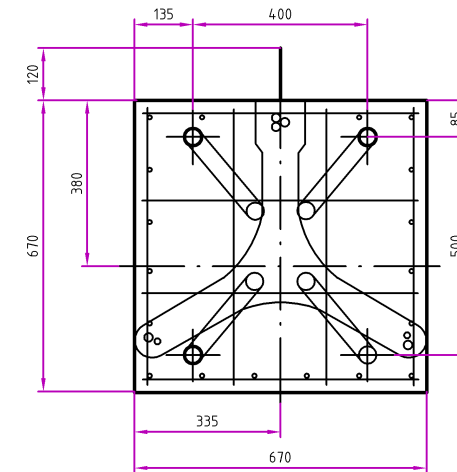
Исполнения по несущей
способности:
от 80 до 150 кНм.
承载能力: 80到150 kNm

Фундаменты опор 支柱基础



Основной вариант для высокоскоростного участка (слева) – буронабивные сваи длиной от 5 до 6 м.

高速路段（左侧）的主要选择是钻孔桩，长度为5至6米。

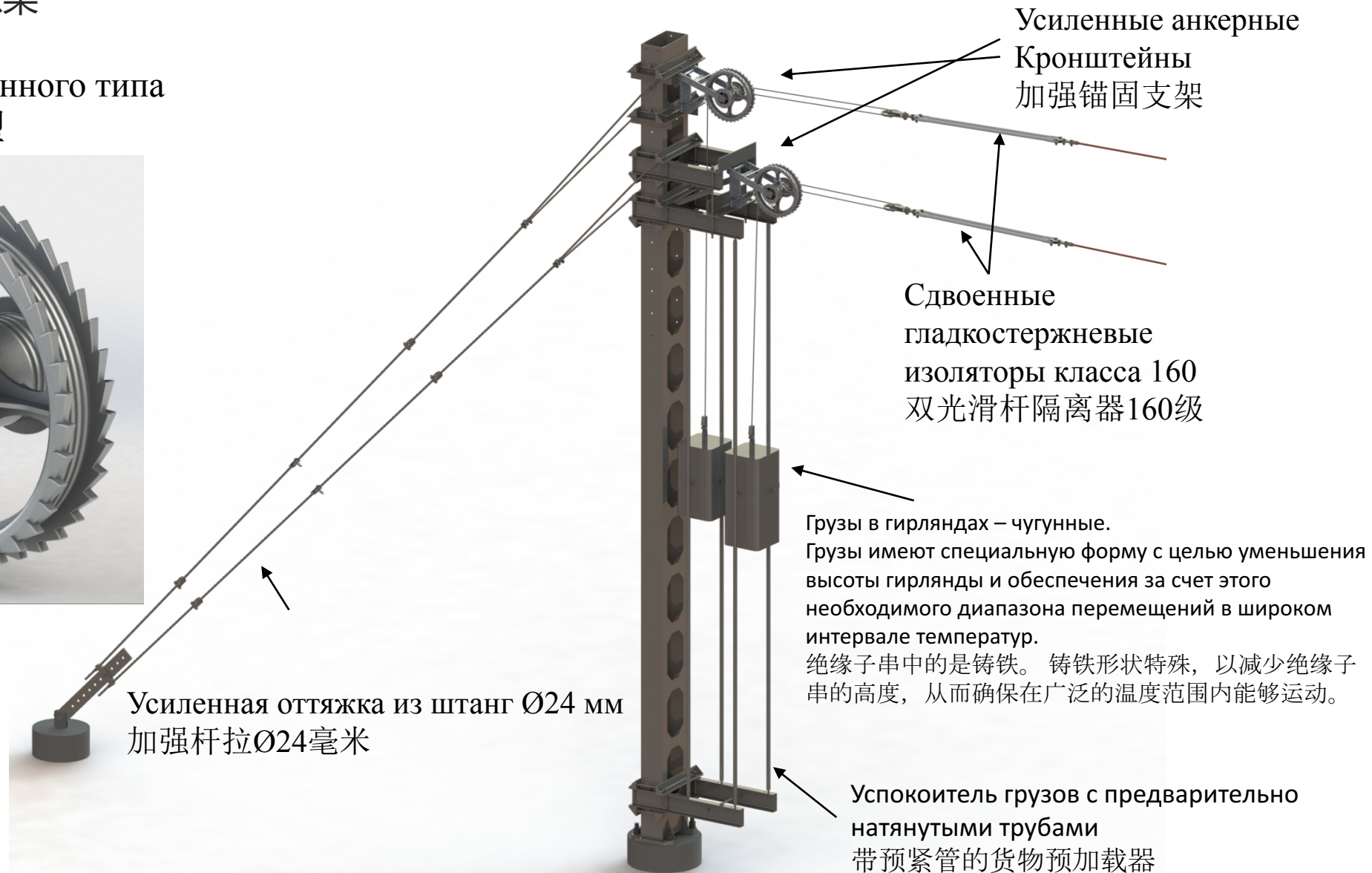


На участках постоянного тока – вибропогружаемые трехлучевые (справа).
在直流 - 振动加载的三光束（右）部分。

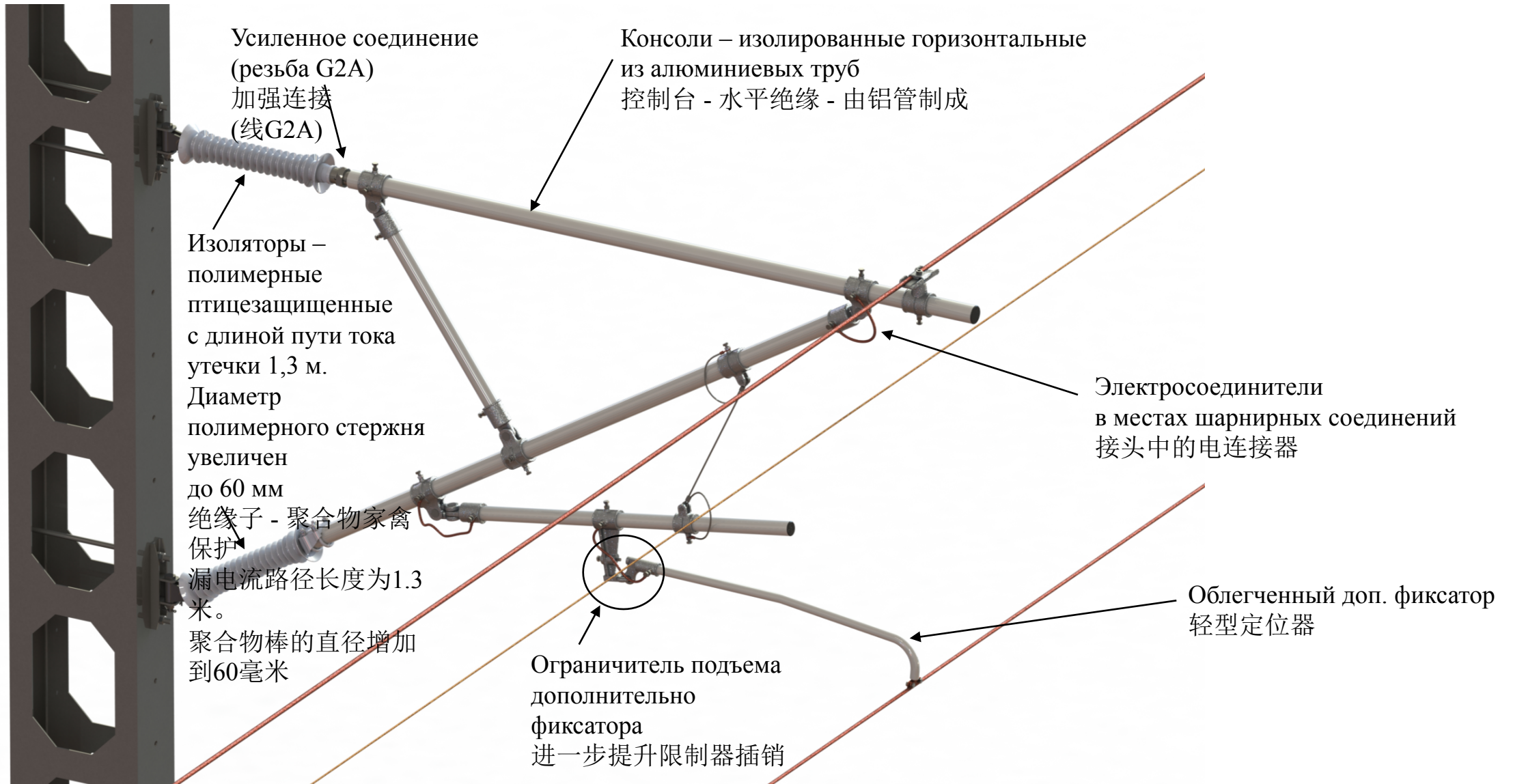
Расположение анкерных болтов – по российскому ГОСТ 400x500 мм.
地脚螺栓的位置 — 根据俄罗斯国家标准为400x500 mm。

Анкеровка контактной подвески 锚接触悬架

Компенсаторы – барабанного типа 补偿器 - 鼓型

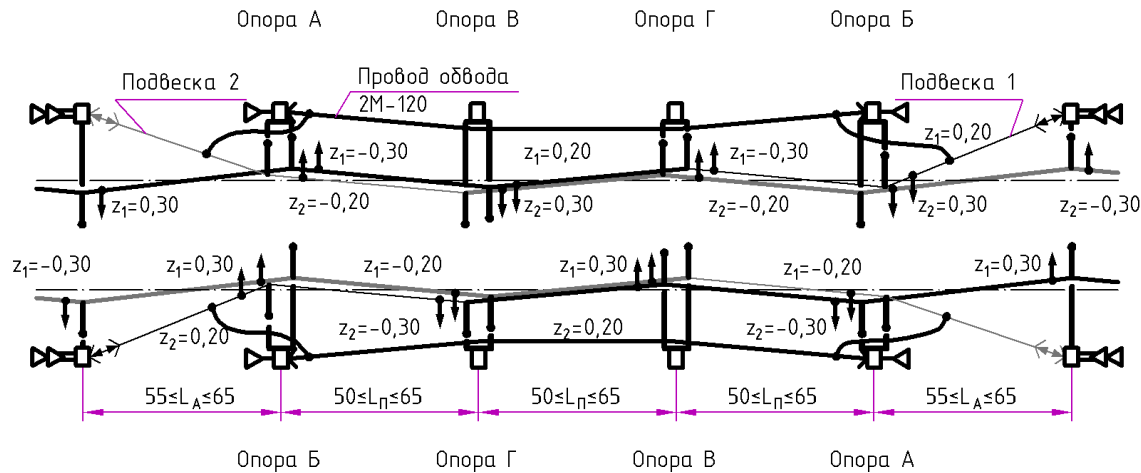


Поддерживающие и фиксирующие конструкции 支撑和固定结构

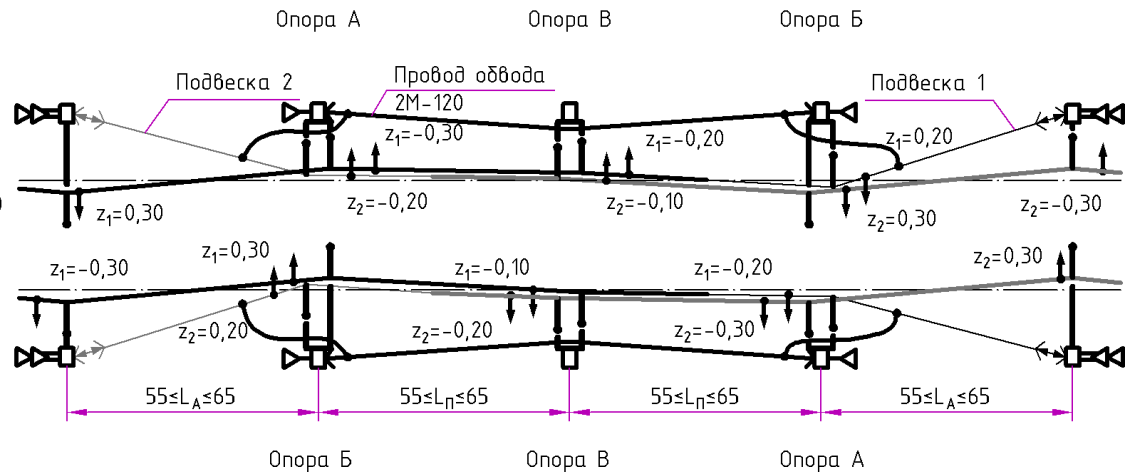


Сопряжения анкерных участков 锚段关节

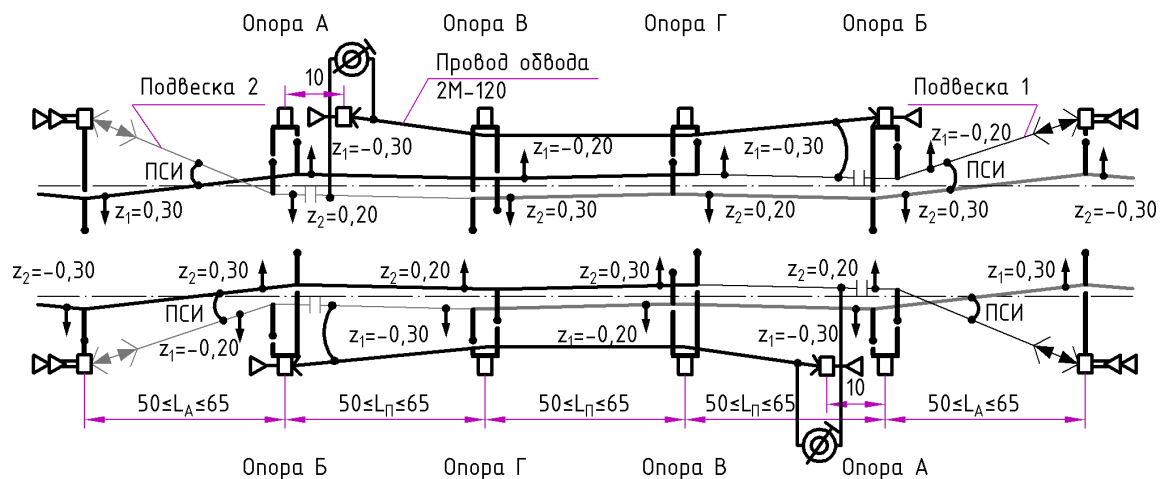
5-и пролетное неизолирующее сопряжение на прямой



4-х пролетное неизолирующее сопряжение на прямой



5-и пролетное изолирующее сопряжение на прямой



Неизолирующие сопряжения анкерных участков –
пятипролетные (основной вариант).
锚节的非绝缘接头是五跨(主变型)。

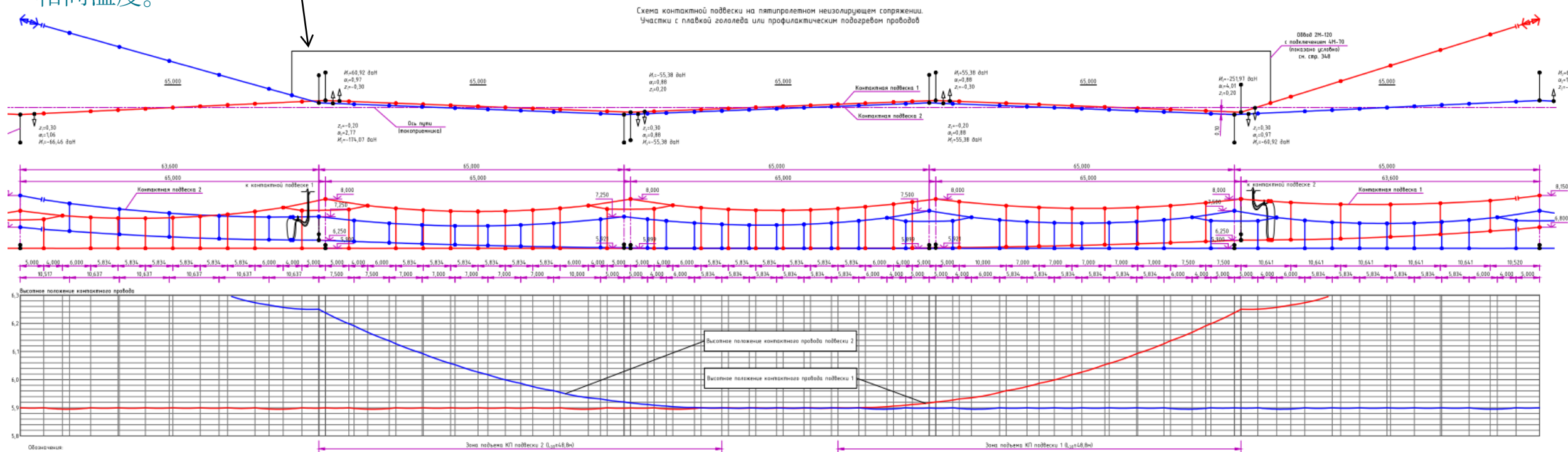
В стесненных условиях допускаются четырехпролетные.
在很小的条件内允许四跨越。

Изолирующие сопряжения – пятипролетные
隔离接口 - 五跨

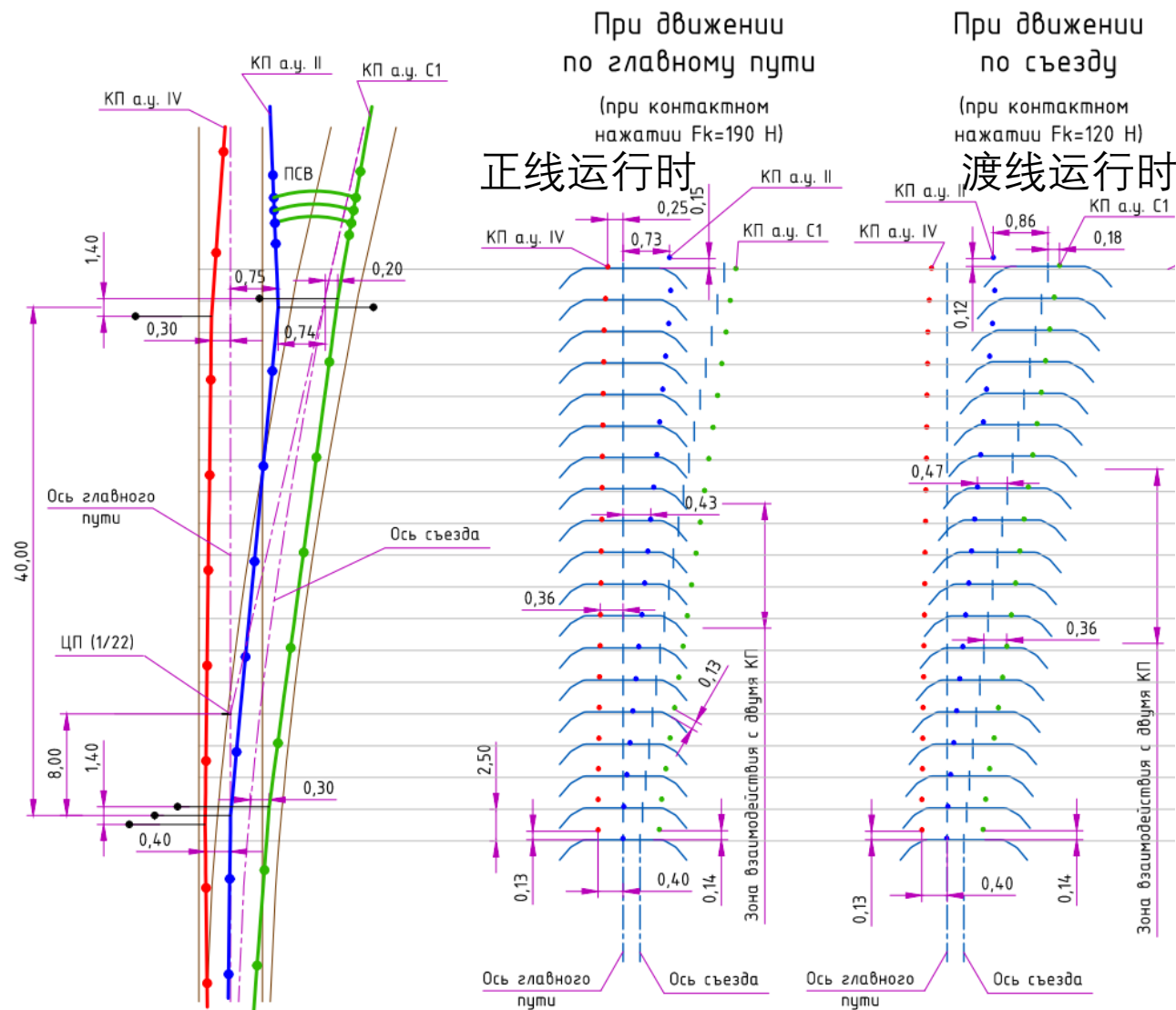
Схема контактной подвески на 5-пролетном неизолирующем сопряжении 第5跨非绝缘连接接触悬挂示意图

Для реализации схем плавки гололеда на сопряжениях устраивается специальный провод обвода. По нему возвращается электрический ток, который протекает последовательно по двум подвескам в переходных пролетах, нагревая их до одинаковой температуры.

为实现连接处挂冰融化方案，设置环绕电线。沿着这条电线电流返回，电流依次通过过渡跨度上的两个悬挂，将其加热至相同温度。



Воздушные стрелки 线岔

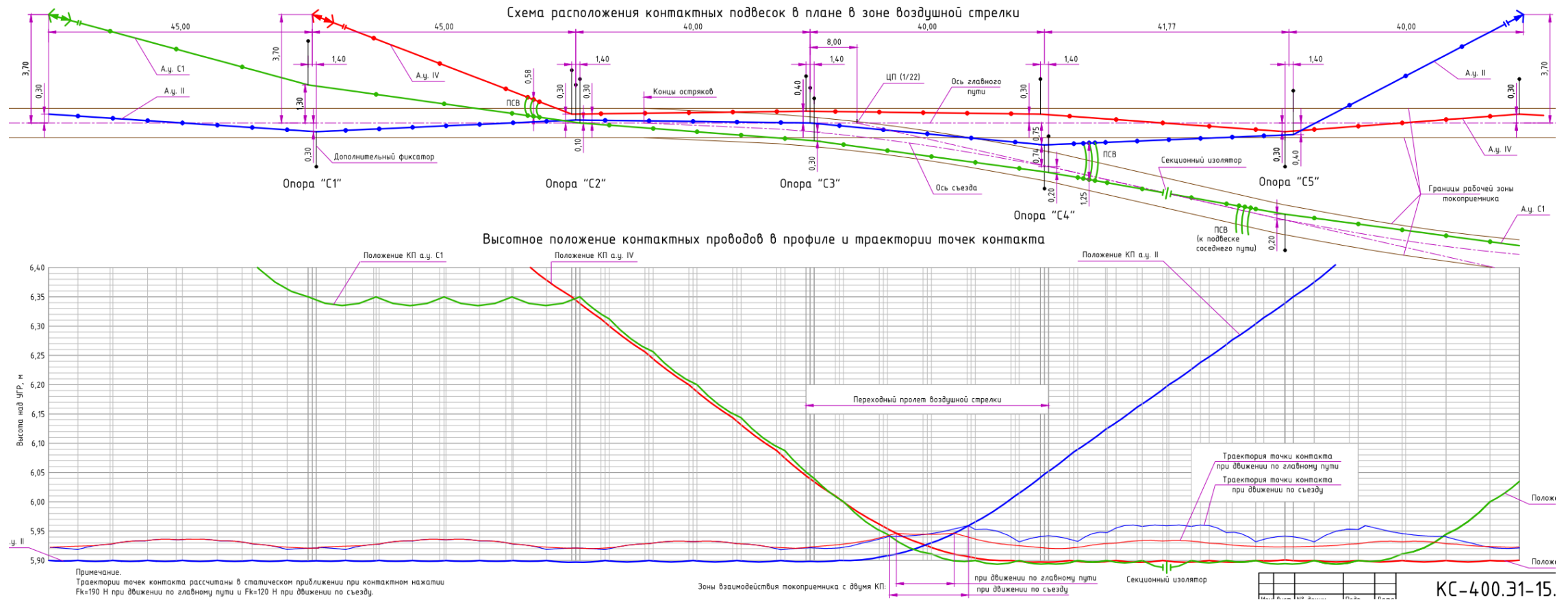


Воздушные стрелки по ходу высокоскоростного движения приняты без пересечения проводов с дополнительной третьей подвеской. Главным преимуществом такой стрелки является то, что при любом направлении движения поезда исключается боковой подхват токоприемником чужого контактного провода. Во всех случаях провод на токоприемник ложится сверху, аналогично тому, как это происходит на сопряжениях.

高速运行过程中线岔采用没有导线与额外的第三悬挂进行交叉。该线岔的主要优点是，列车向任何方向运行时排除了其他接触导线受电弓侧面勾挂。任何情况下导线放置于受电弓上，连接处也进行类型设置。

Другой особенностью такой воздушной стрелки является то, что при движении по главному пути контактный провод подвески примыкающего пути (зеленый на схеме) вообще не взаимодействует с токоприемником. 该线岔的另一个特点是，当在正线运行时衔接线路（示意图上绿色）的悬挂接触导线与受电弓不会相互影响。

Воздушные стрелки 线岔



При движении на высокой скорости по главному пути контактный провод подвески примыкающего пути вообще не взаимодействует с токоприемником. Это дает возможность использовать обычные натяжения проводов для подвесок съездов и станционных путей, например, 15 кН для контактного провода. При таком натяжении в подвеску съезда или станционного пути можно врезать секционный изолятор обычной конструкции.

当沿正线高速运行时衔接线路的悬挂接触导线与受电弓不会相互影响。这使得渡线和站内线路的悬挂可采用普通的导线张力，例如，接触导线15千牛接触线。在这种张力下，渡线和站内线路的悬挂中可以嵌入普通结构的分段绝缘子。

Воздушные стрелки 线岔

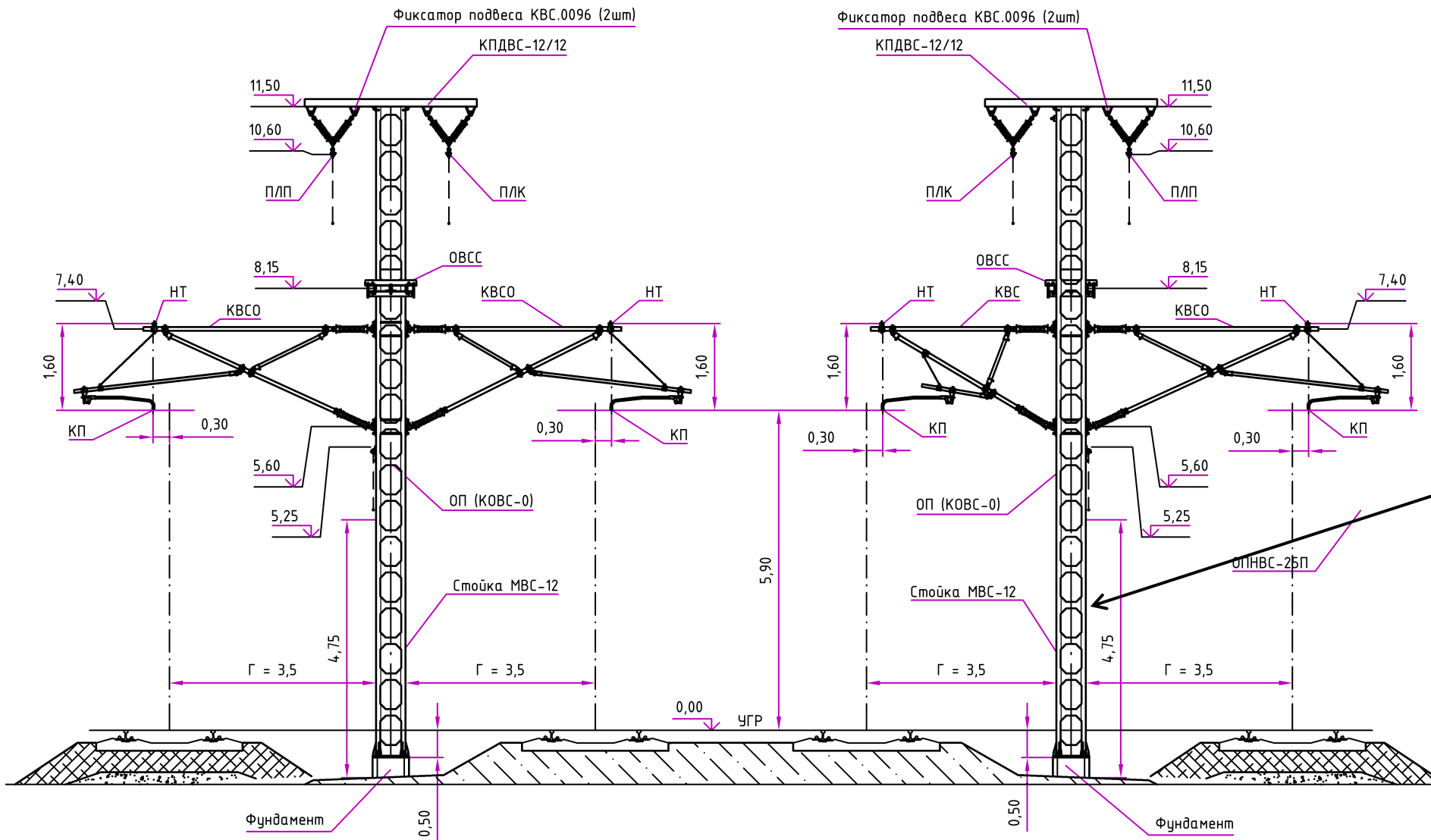
Консоли в зоне фиксации стрелки
线岔固定区域内悬臂



Аналог (Италия)
类似结构 (意大利)



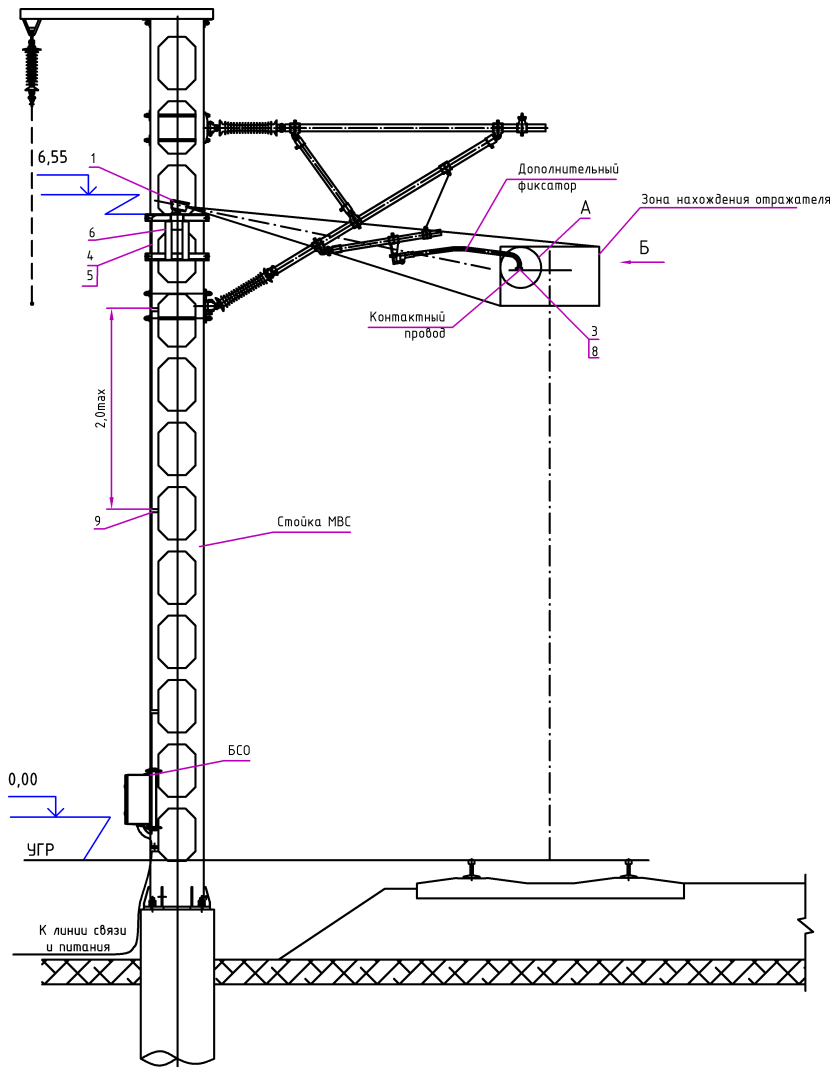
Контактная сеть на станциях. Армировки опор Армировки 车站接触网。支柱加固



Контактные сети главных и
второстепенных путей –
механически не связаны 正线和
次要线路接触网-没有机械连接。

Подвески главных и
станционных путей
фиксируются не с одной,
а с разных опор,
располагающихся рядом –
одна за другой. 正线和站内线
路悬挂不是从一个而是从旁边
不同的立柱一个接一个的进行
固定的。

Стационарные устройства мониторинга и диагностики контактной сети 监控固定设备和接触网诊断

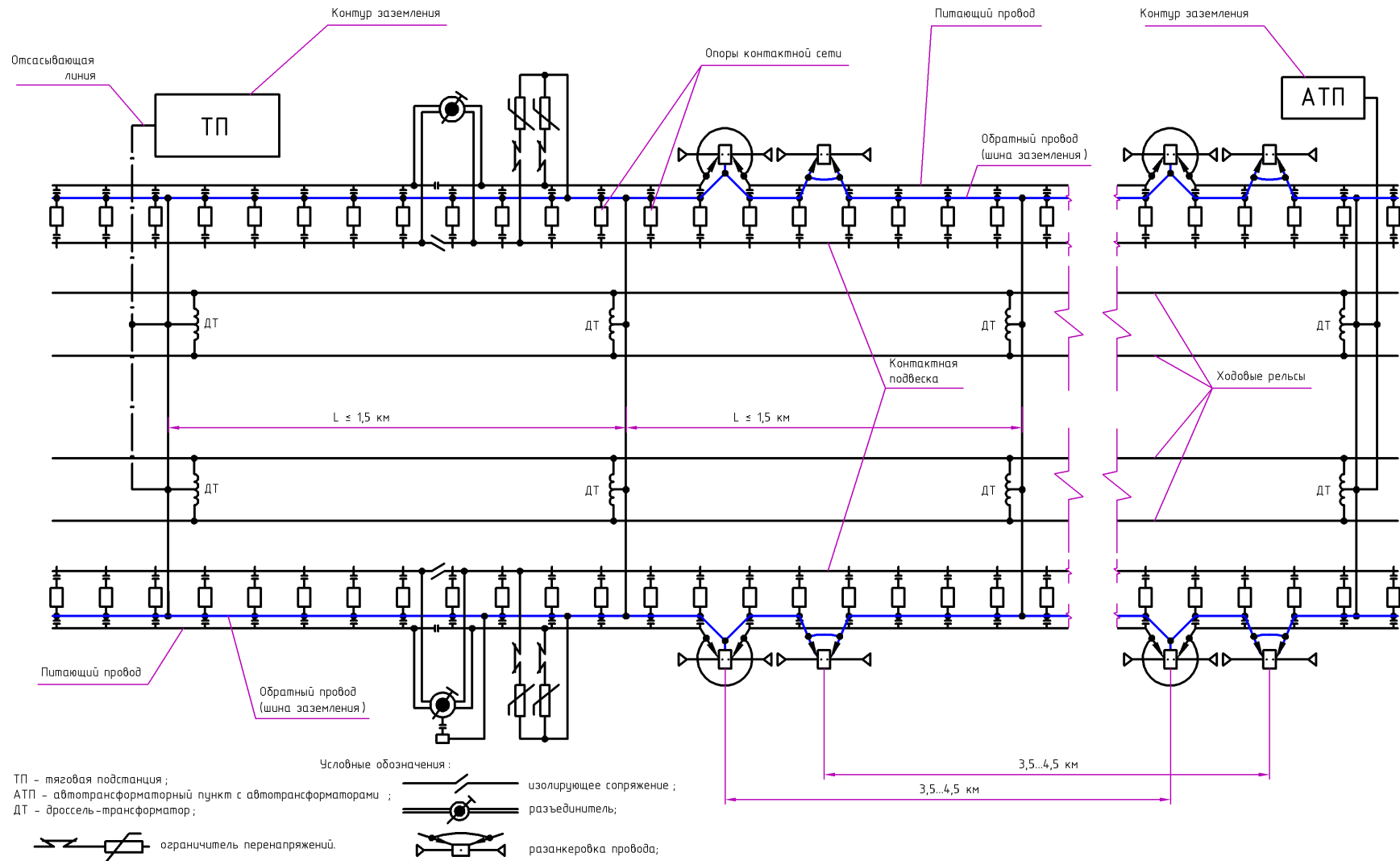


Контактная сеть ВСМ проектируется как малообслуживаемая техническая система. Для контроля за параметрами контактной сети и выявления предотказных состояний предусматривается комплексная система мониторинга и диагностики. 高铁接触网设计为少维护技术系统。为了监测接触网参数及发现前故障状态设置了监测和诊断综合系统。

Параметры мониторинга: 监测参数：

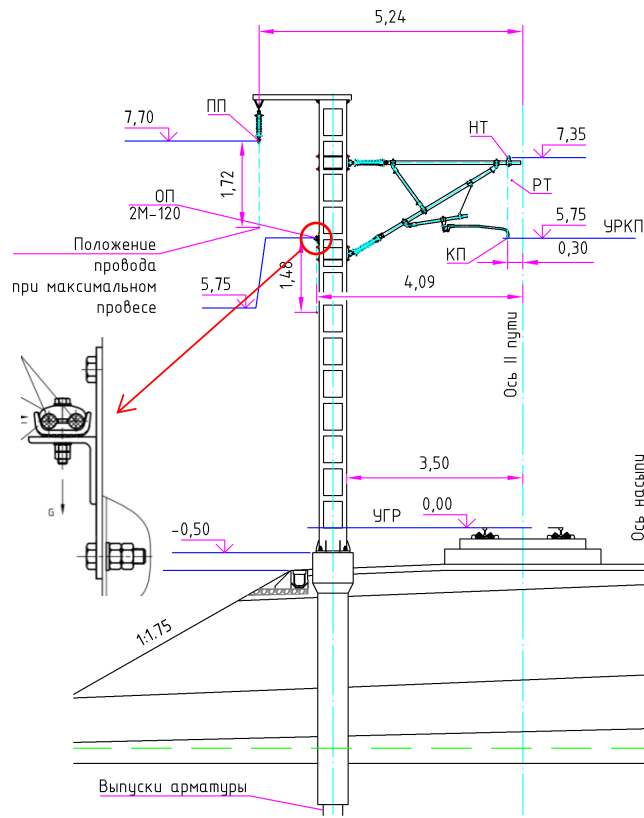
1. Натяжение проводов контактной подвески. 接触悬挂导线张力
2. Перемещения грузов компенсирующих устройств. 补偿设备重量移动
3. Температура контактных проводов в точках с максимальной плотностью тока. 最大电流密度点处接触导线的温度
4. Вибрация и наклон опор контактной сети. 接触网立柱振动和斜度
5. Условия образования гололеда. 挂冰形成条件
6. Отжатие контактного провода при проходе ВПС. 当高速铁路机车车辆通过时, 接触导线收缩升高

Обратная тяговая сеть и система заземления контактной сети 回流牵引网方案和接触网接地系统

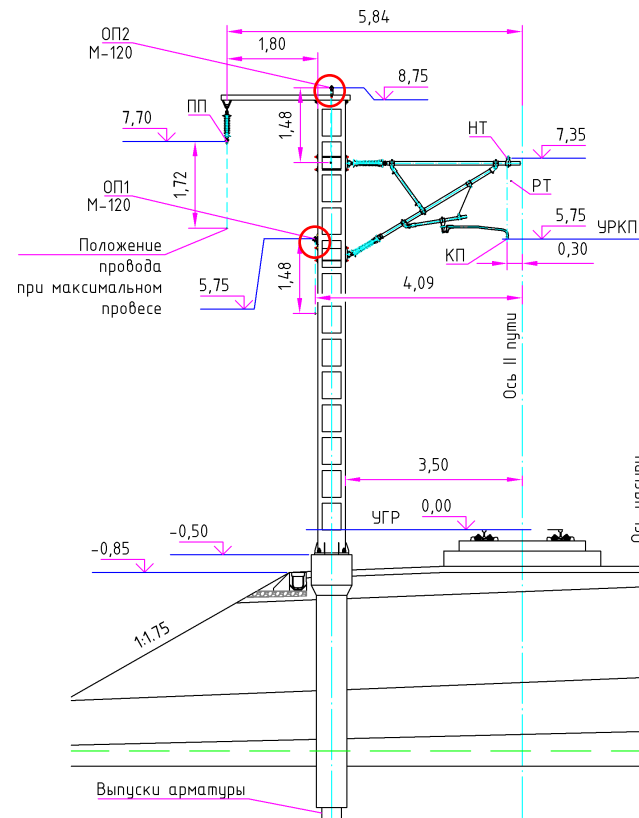


Варианты обратной тяговой сети 回流牵引网方案

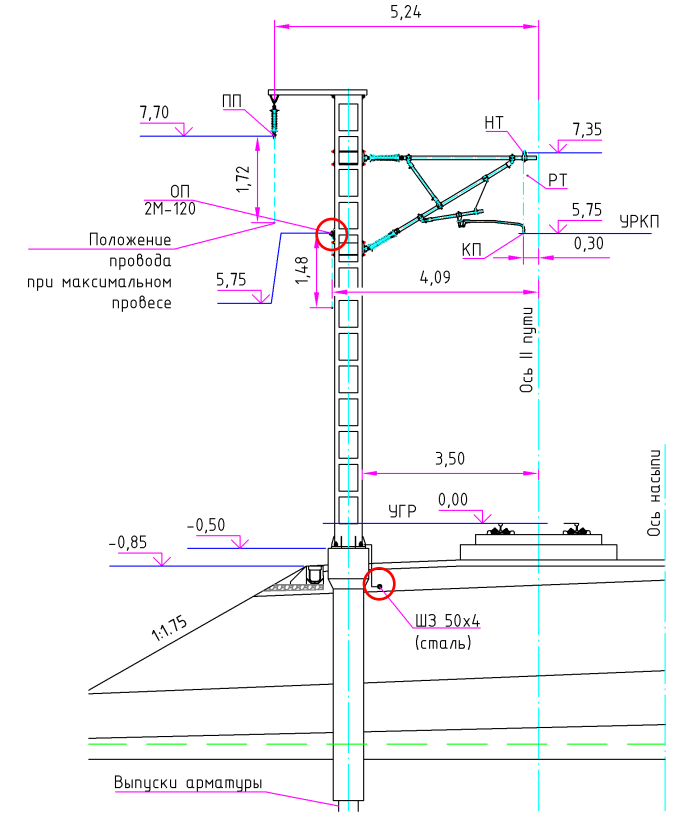
1) С совмещенным обратным проводом (ОП) 2М-120 带有组合回线2М-120



2) С расщепленным ОП М-120 + М-120 带有分相回线М-120 + М-120



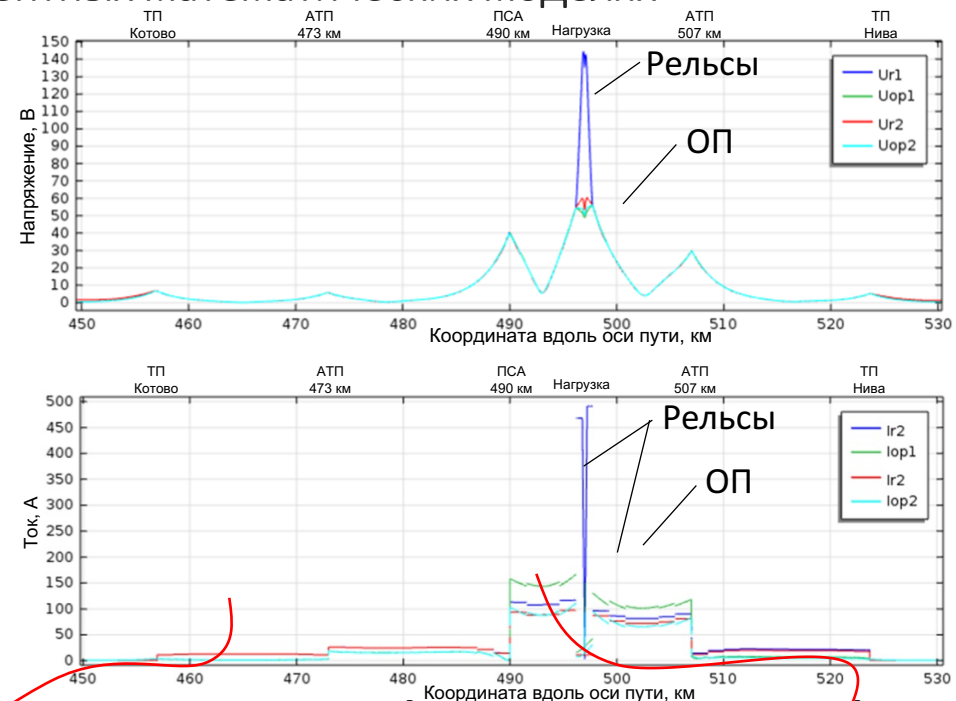
3) С ОП и шиной заземления (ШЗ)带有回线和接地母线



Электрические расчеты на конечно-элементных математических моделях 末级元件数学模型电力计算

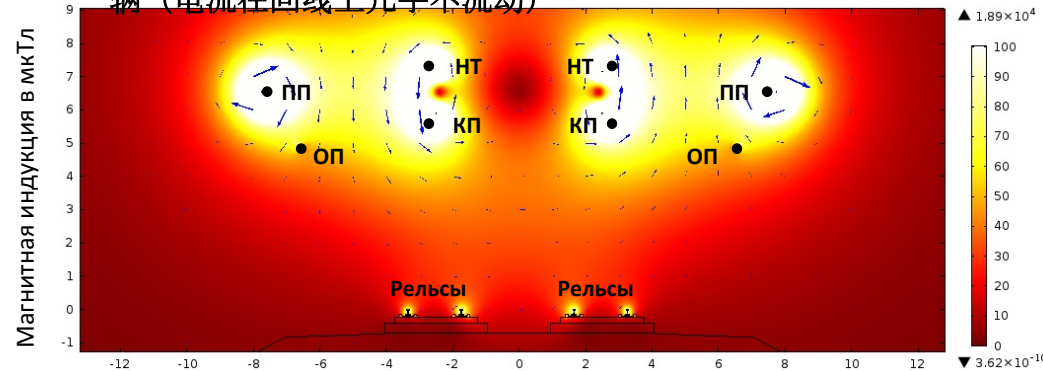
График зависимости **модуля напряжения** рельсов и обратных проводов от координаты вдоль оси пути при нахождении ЭПС на 497 км первого пути **497km处第一线路电力机车车辆通过时沿线路中心线的轨道和回线电压模型坐标关系曲线表**

График зависимости **модуля токов** в рельсах и обратных проводах от координаты вдоль оси пути при нахождении одного ЭПС на 497 км первого пути **497km处第一线路一辆电力机车车辆通过时沿线路中心线的轨道和回线电流模型坐标关系曲线表**

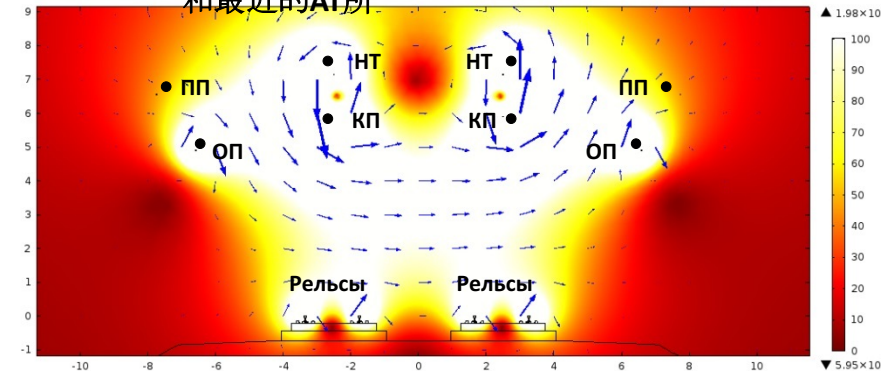


Напряженность магнитного поля (ОТС с ОП 2хМ120) 磁场强度

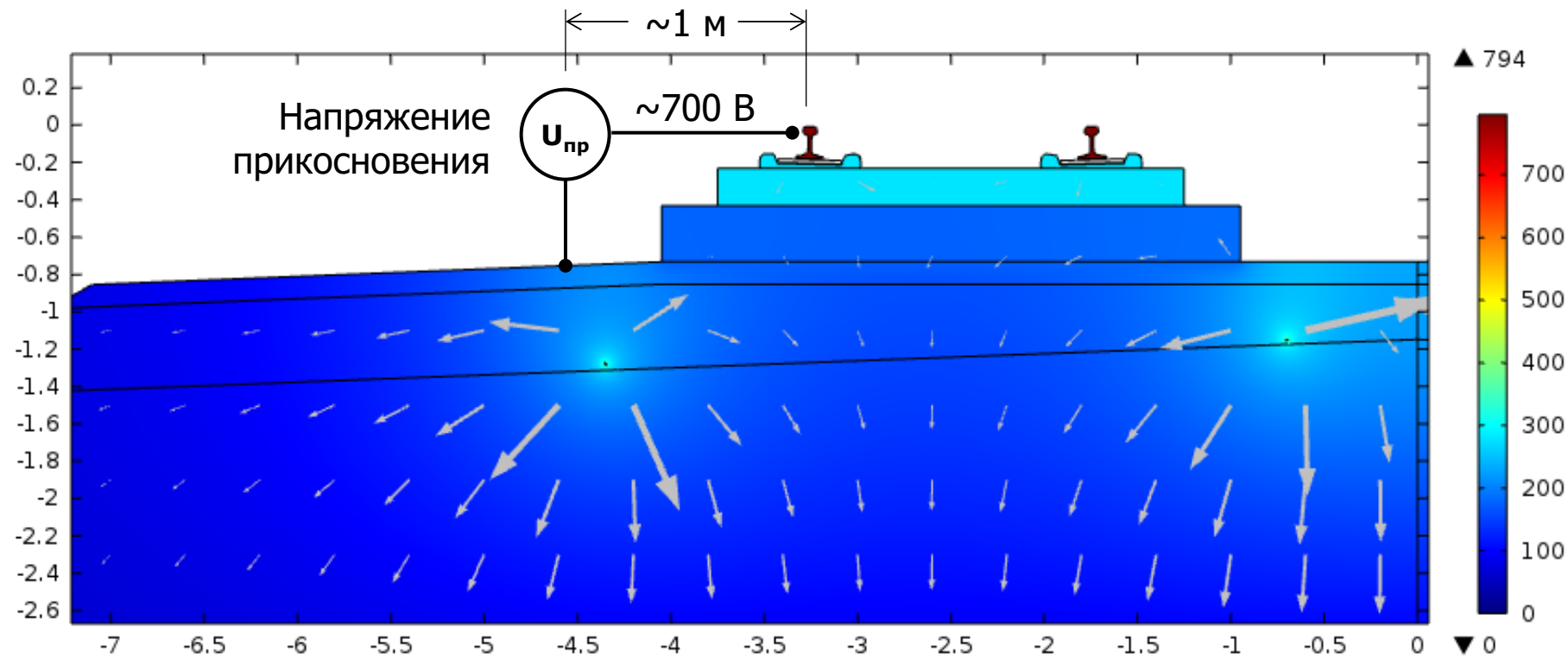
За АТП относительно ЭПС (ток в ОП почти не течет) 所外关于电力机车车辆 (电流在回线上几乎不流动)



Между ЭПС и ближайшим АТП 电力机车车辆和最近的AT所



Моделирование распределения напряжения и растекания тока в поперечном сечении пути и расчет напряжения прикосновения 线路横截面上电压分散和电流分流模型及接触电压计算

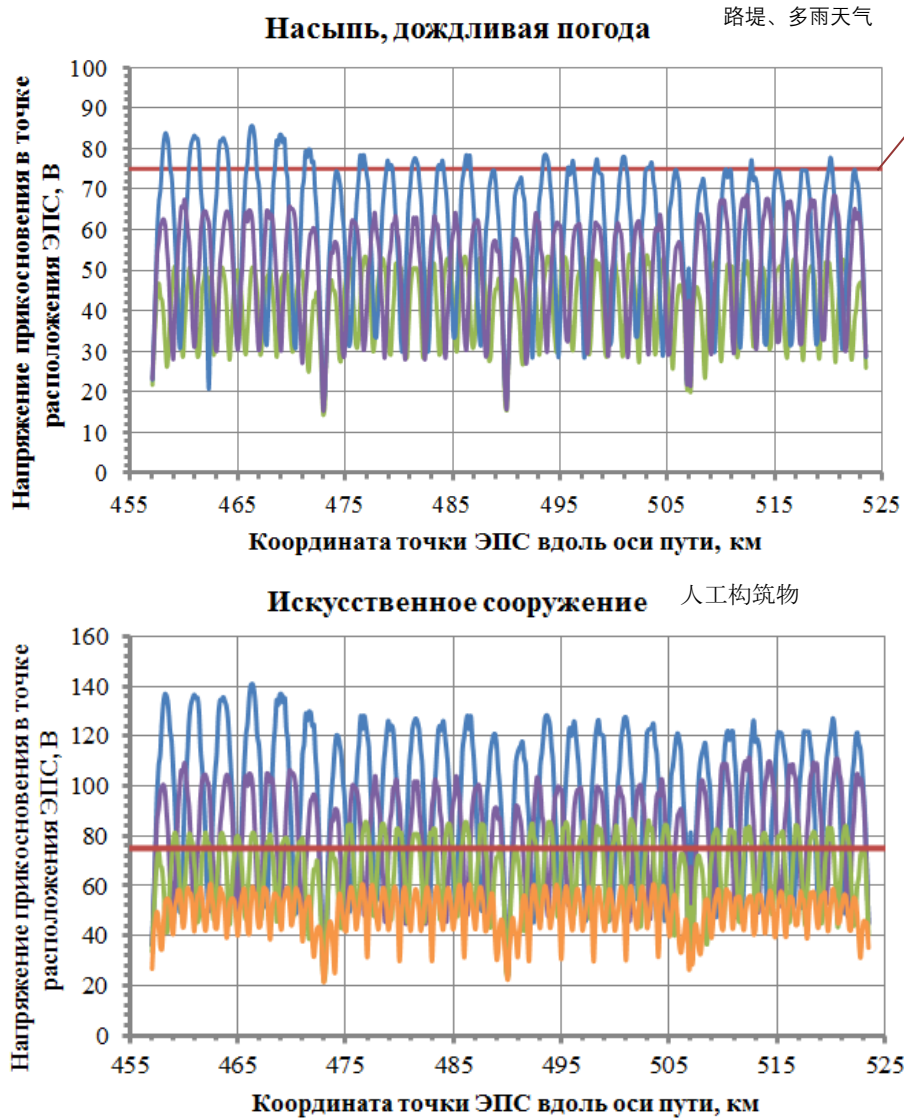


(Пример для случая короткого замыкания от подвески на рельсы первого пути на 497 км. Доработанный вариант исполнения тяговой сети без обратного провода (ОП) с совместной для обоих путей шиной заземления 4Бр1-70). (例子用于497km处第一线路轨道悬挂短路情况。修改的没有回线的牵引网方案, 两条线路拥有共同的接地母线4Бр1-70)。

Цветом показано значение напряжение в вольтах, стрелками – направление и величина плотности тока в поперечном сечении.彩色表示伏特电压值, 箭头表示横截面上电流方向和密度值。

Напряжение прикосновения к рельсу: раб. Режим 轨道接触电压：运行方式

Прохождение одного ЭПС (ток 970 А)
一辆电力机车车辆通过 (电流970 А)



Допустимое
напряжение
прикосновения
允许接触电压

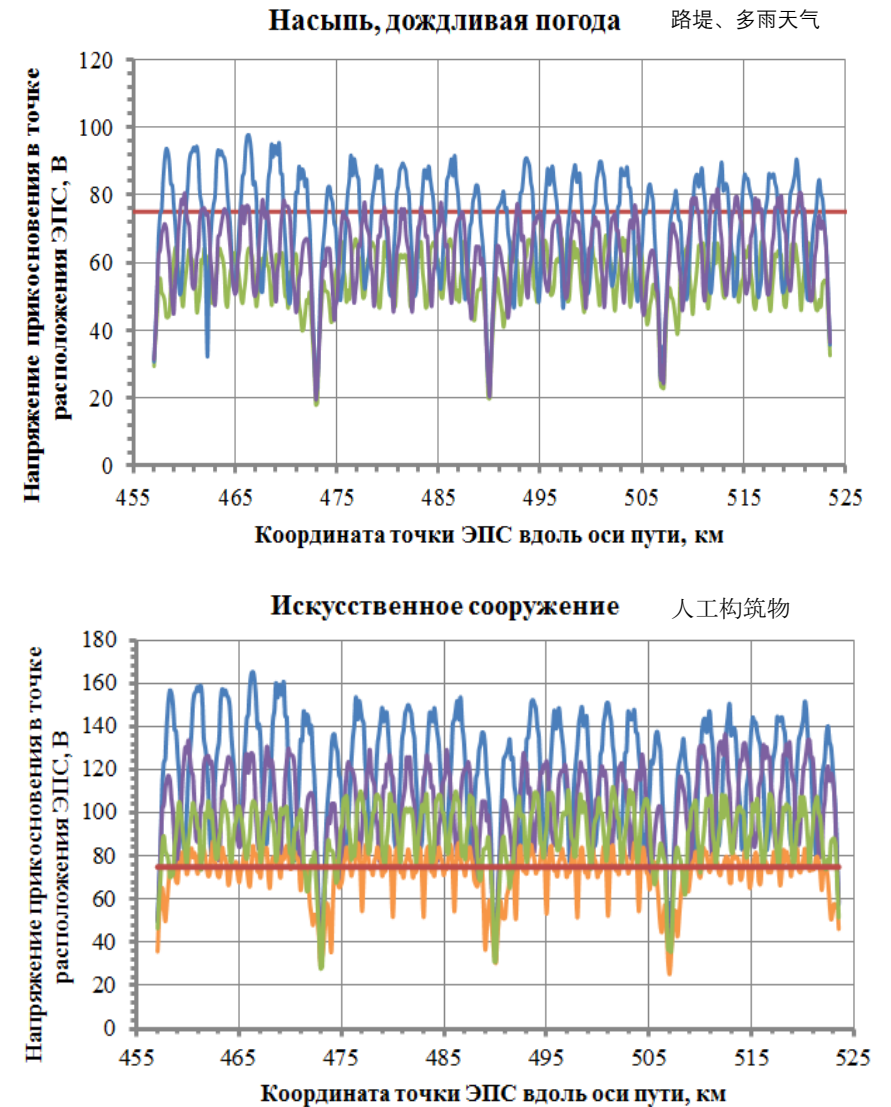
L=2,5 км

L=2,0 км

L=1,5 км

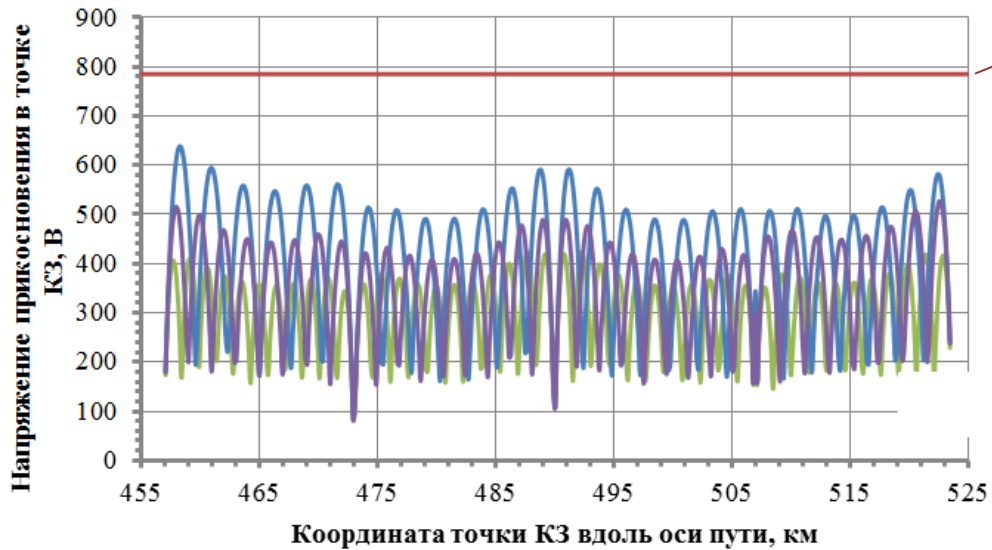
L=1,0 км

Скрещивание двух ЭПС
两辆电力
机车车辆交叉



Напряжение прикосновения к рельсу: режим КЗ 轨道接触电压：短路模式

Насыпь, дождливая погода



Допустимое
напряжение
прикосновения
允许接触电压

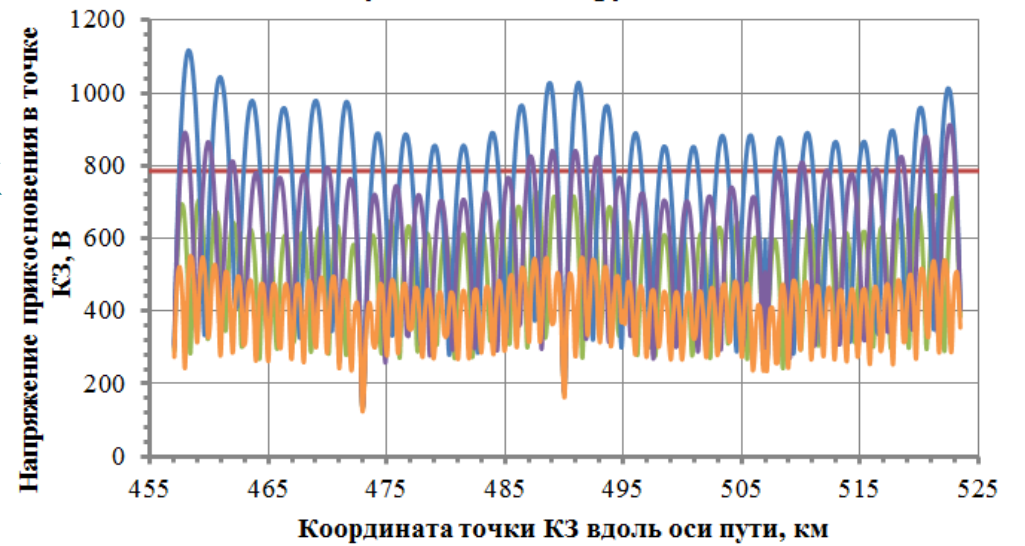
$L=2,5$ км

$L=2,0$ км

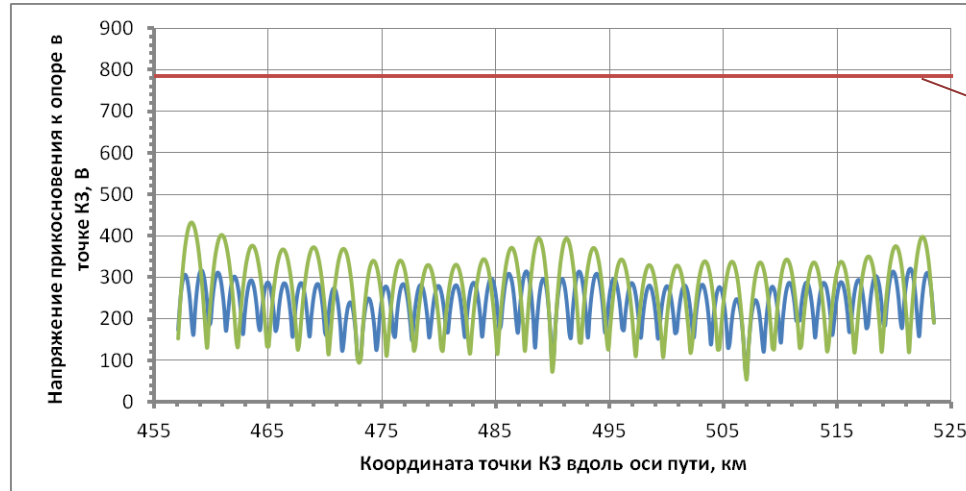
$L=1,5$ км

$L=1,0$ км

Искусственное сооружение



Напряжение прикосновения к опоре: режим КЗ 立柱接触电压：短路模式



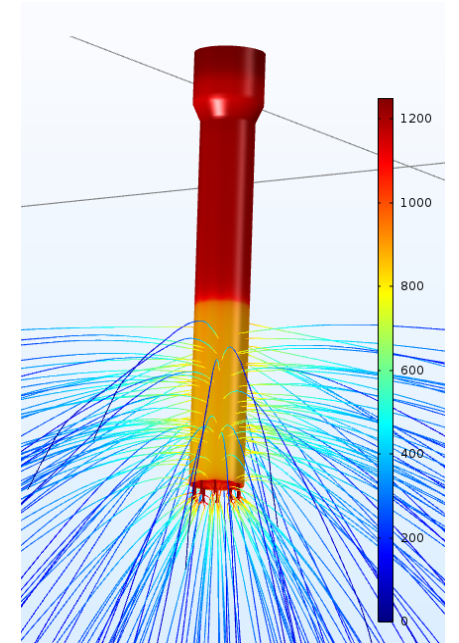
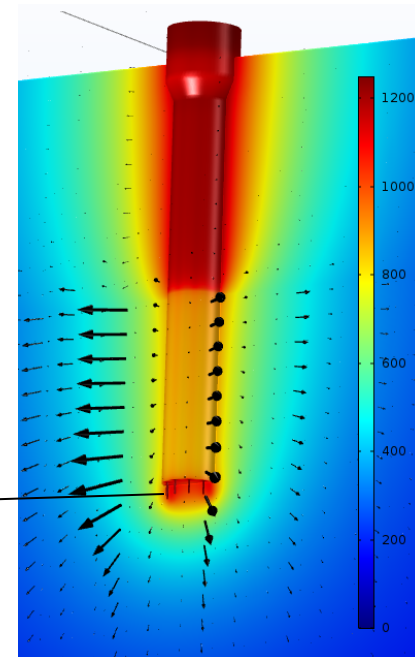
Допустимое
напряжение
прикосновения
允许接触电压

$L=2,5$ км

$L=1,5$ км

Результат расчета распределения потенциала и растекания тока вокруг фундамента опоры контактной сети. Цветом обозначено напряжение в вольтах по шкале, черными стрелками – вектор плотности тока, линиями – линии тока. 接触网立柱地基附件电位分布和电流分流计算结果。彩色表示根据标尺的伏特电压，黑色箭头表示电流密度矢量，线条表示电流线。

Выпуски
арматуры 钢筋伸出





Международная научная
конференция ВСМ
高速铁路国际学术论坛
HSR International Scientific
Conference

Высокоскоростные железные дороги –
драйвер экономического роста 2018

2018 高铁-经济发展的驱动力

High Speed Railways –
Driver of Economic Growth 2018



Спасибо за внимание! 谢谢观看！

