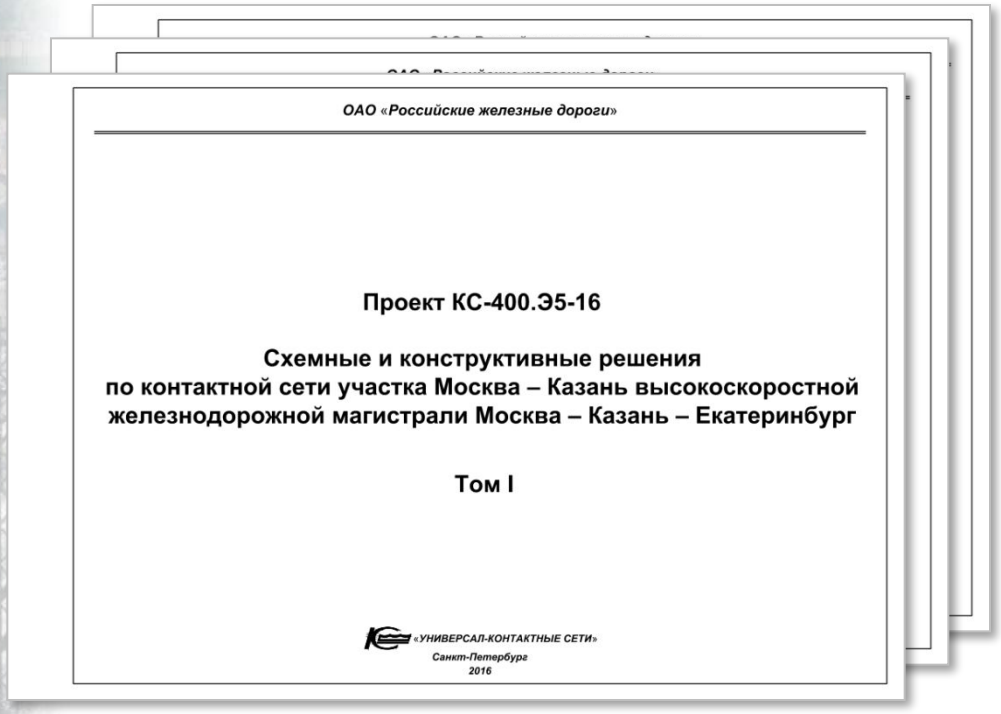
Об основных проектных решениях по контактной сети для ВСМ Москва – Казань

Артемов М. А.,
ГИП по электроснабжению ОАО «Мосгипротранс»

25.03.2016

Проект схемных и конструктивных решений КС-400.Э5-16



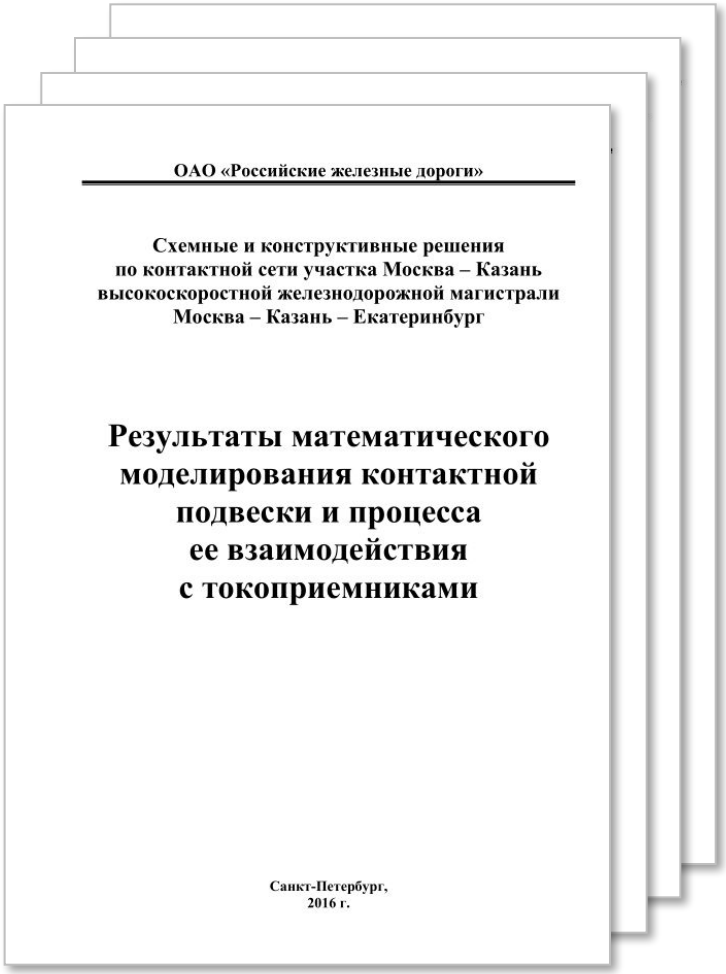
ОАО «Российские железные дороги»

Проект КС-400.Э5-16

Схемные и конструктивные решения
по контактной сети участка Москва – Казань высокоскоростной
железнодорожной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург

Том I

«УНИВЕРСАЛ-КОНТАКТНЫЕ СЕТИ»
Санкт-Петербург
2016



ОАО «Российские железные дороги»

Схемные и конструктивные решения
по контактной сети участка Москва – Казань
высокоскоростной железнодорожной магистрали
Москва – Казань – Екатеринбург

Результаты математического
моделирования контактной
подвески и процесса
ее взаимодействия
с токоприемниками

Санкт-Петербург,
2016 г.

Последняя редакция (март 2016) выпущена с учетом: …

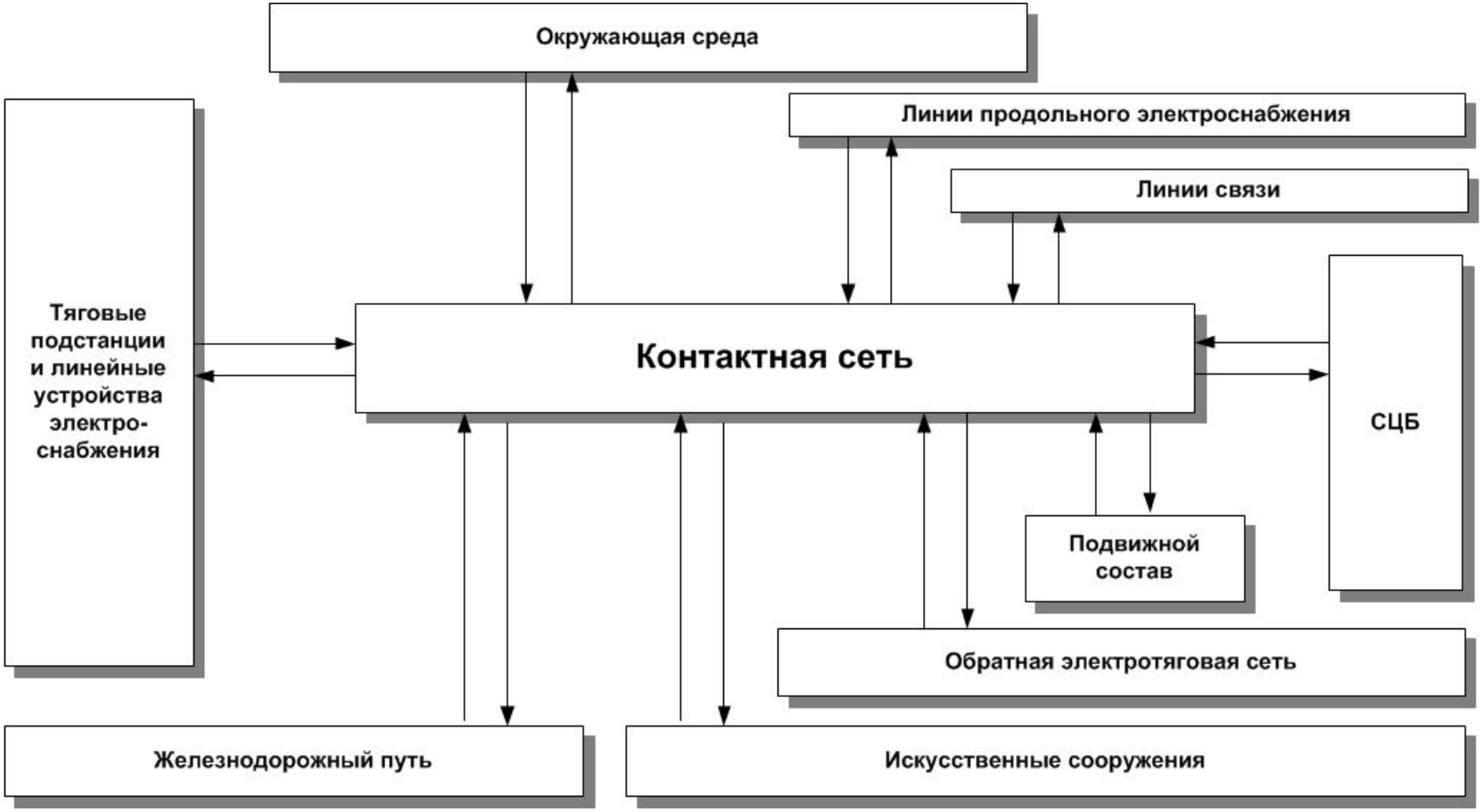
1. Апробации предварительных технических решений в профессиональном сообществе:

1. Китайская сторона.
2. Управление электрификации ЦДИ ОАО «РЖД».
3. ВНИИЖТ.
4. ПГУПС.
5. Трансэлектропроект.
6. Ленгипротранс.
7. УКС.
8. Электромонтаж.
9. Трансэлектромонтаж.
10. Форатэк-ЭТС.
11. SYSTRA (Франция)
12. BBRail (Германия)

2. Уточнения возможностей производителей компонентов контактной сети:

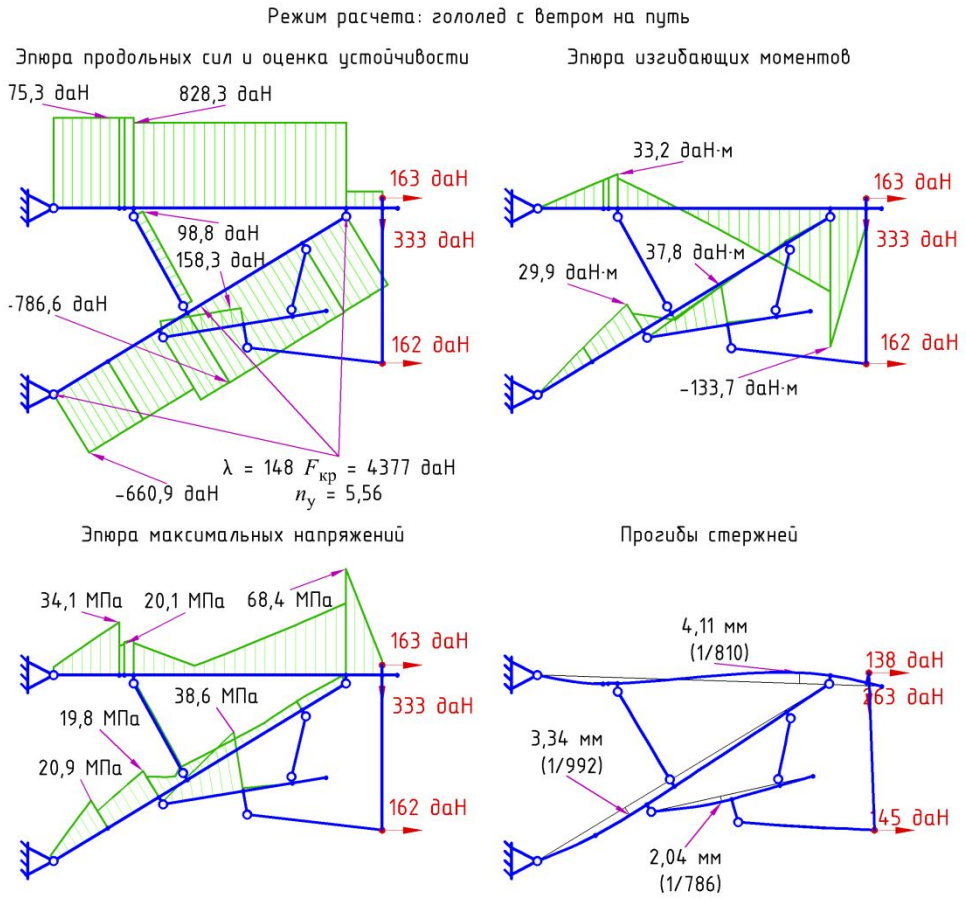
1. Яньтайская компания медной промышленности «Цзиньхуэй», Китай (провода).
2. Транскат.
3. Свелен.
4. УКС
5. Форатэк-ЭТС
6. «Баодели», Китай (компенсаторы).
7. Енерръгия-21.
8. ЗЭТО.
9. ВЭМЗ.
10. Симферопольский электротехнический завод и другие.

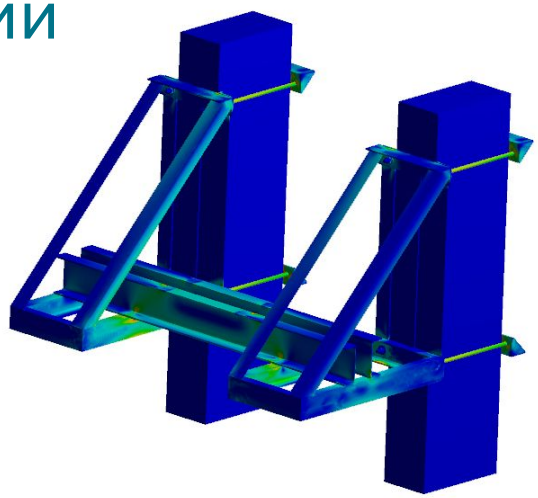
3. Уточнения исходных данных и взаимной увязки решений по контактной сети с другими подсистемами ВСМ

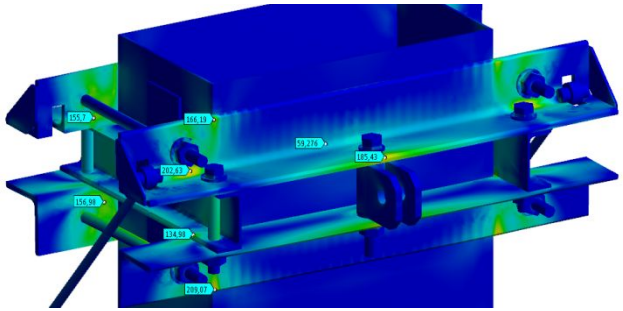


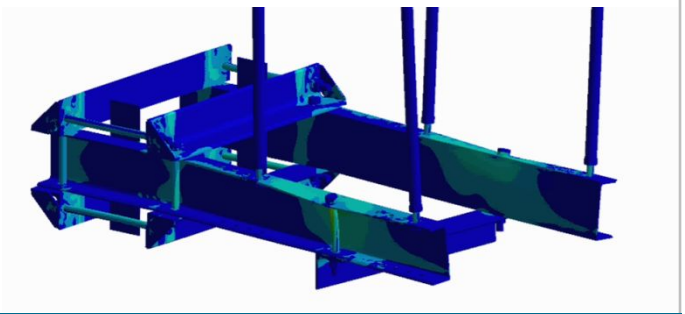
4. Инженерных расчетов и детальной проработки узлов и конструкций

Примеры: Расчет консоли на устойчивость, прочность и жесткость. Расчет напряженно деформированного состояния металлоконструкций









Варианты контактной сети на ВСМ

Параметры	Значения для вариантов контактной сети			
	КС-400	КС-170	КС-250-3	КС-170-3
Род тока, номинальное напряжение	Переменный 25 кВ		Постоянный 3 кВ	
Максимальная эксплуат. скорость	400 км/ч	170 км/ч	250 км/ч	170 км/ч
Область применения	Главный пути высокоскоростного участка	Станционные пути, диспетчерские съезды высокоскоростного участка	Главный пути участка постоянного тока	Станционные пути участка постоянного тока
Минимальный радиус кривой	7500 м	500 м	3000 (1500) м	500 м
Тип контактной подвески	Цепная одинарная компенсированная			
Основные провода и их номинальные натяжения	JMH-120 + CTCZ-150 (Бр2-120 + БрФ2-150) 28 + 36 кН	Бр1-120 + БрФ1-120 18 + 15 кН	Бр1-120 + 2БрФ1-120 18 + 2х20 кН	Бр1-120 + 2БрФ1-120 18 + 2х15 кН
Рессорный трос	BzII-35	нет	BzII-35	нет
Струны	BzII-10		BzII-16	
Макс. длина пролета	65 м	70 м	65 м	65 м
Макс. длина а.у.	1400 м (2х700 м)			
Номин. высота КП	5,9 м			
Конструктивная высота	1,6 м			

Конструктивные решения – максимально унифицированы

Основные провода и тросы на высокоскоростном участке

Контактный провод

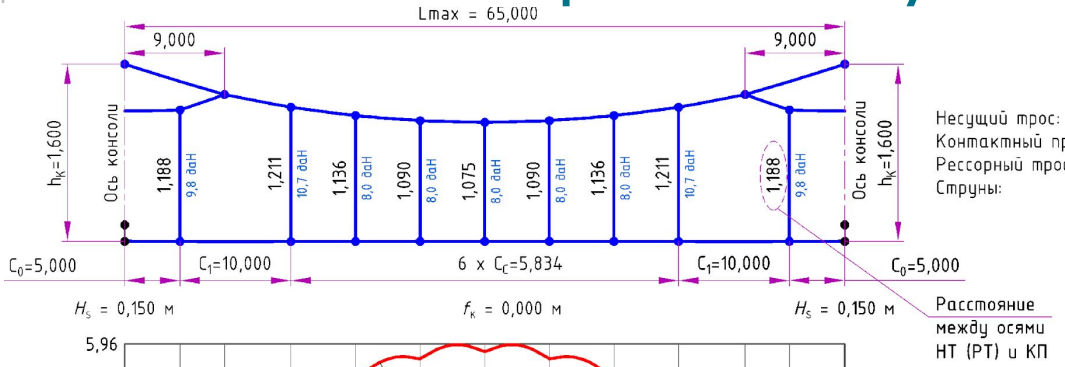
Марка провода	Площадь сеч., мм²	Эл. сопр. пост. току при 20 °С, Ом/км (не более)	Временное сопротивление при растяж., Н/мм² (не менее)	Номинальное натяжение (вариант), кН
	S	r	σ_{min}	K
CTCZ-150	150	0,153	560	36
Бр2Ф-150 с повышенными механическими характеристиками	150	0,215	540	36
Наноэлектро	150	0,190	560	36

Несущий трос

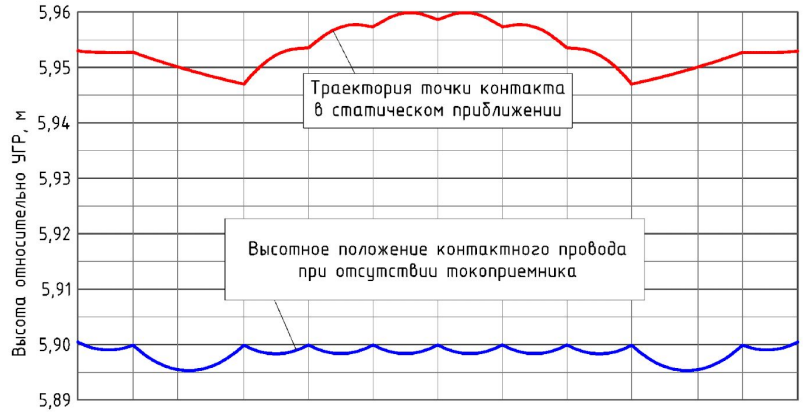
Марка провода	Площадь сеч., мм²	Эл. сопр. пост. току при 20 °С, Ом/км (не более)	Разрывное усилие, кН (не менее)	Номинальное натяжение (вариант), кН
	S	r	Тр	Т
JMH-120-1	119,75	0,194	70,52	28
Бр2-120	116,99	0,237	67,57	28
Наноэлектро	120	0,240	67,00	28

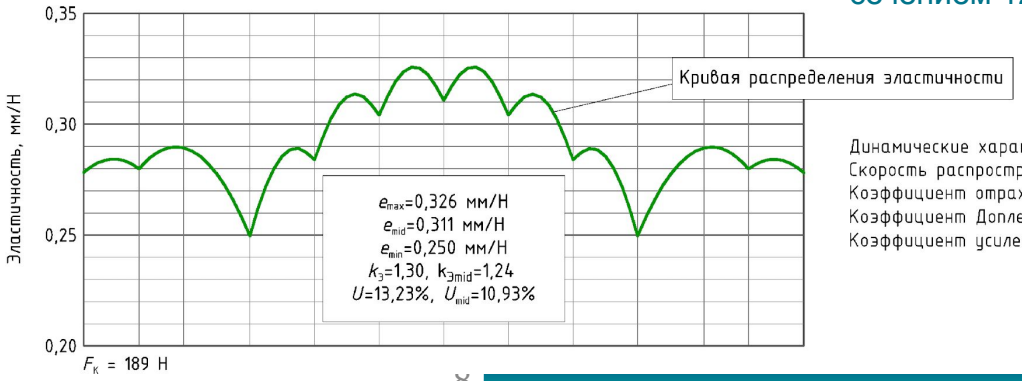
На участках постоянного тока, а также на станционных путях применяются российские провода сечением 120 мм² из оловянистой бронзы Бр1.

Схема контактной подвески КС-400 на высокоскоростном участке



Несущий трос: JMH-120-1, T = 28 кН
Контактный провод: CTCZ-150, K = 36 кН
Рессорный трос: BzII-35, H = 3,5 кН
Струны: BzII-10





Тип подвески: цепная компенсированная рессорная.

Максимальная длина пролета: 65 м.

Номинальная высота контактного провода: 5,9 м то УГР.

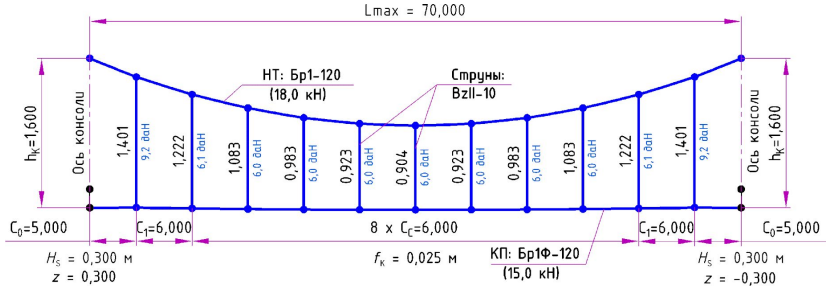
Контактный провод: CuCrZr или CuMg, сечением 150 мм² с натяжением 36 кН.

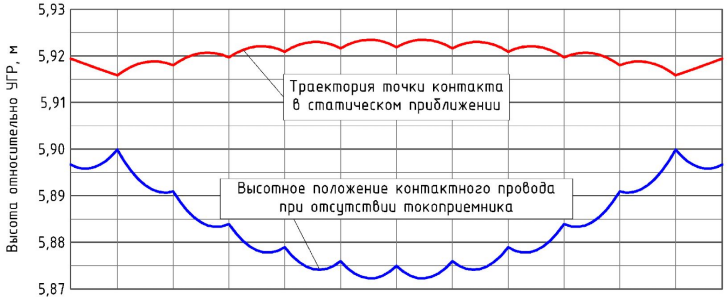
Несущий трос: CuMg, сечением 120 мм² и натяжением 28 кН.

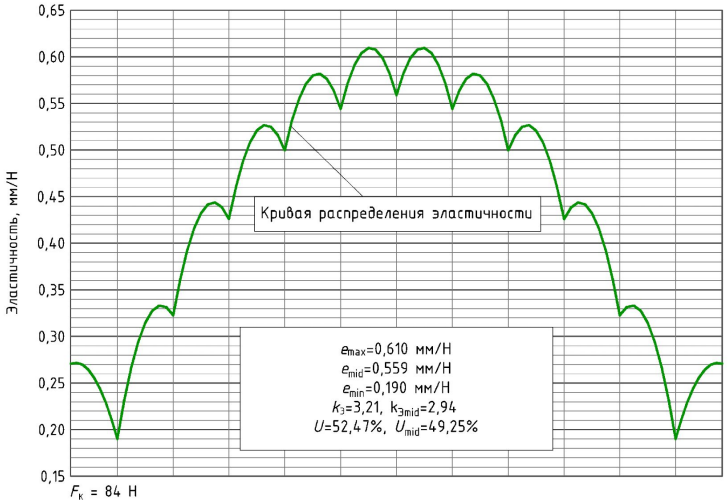
Динамические характеристики:
Скорость распространения волны: V_{C1} = 583 км/ч, V_{C2} = 589 км/ч
Коэффициент отражения: r = 0,44
Коэффициент Доплера: α = 0,25 (при $V_{ЭПС}$ = 350 км/ч)
Коэффициент усиления: χ = 1,74

Схема контактной подвески КС-170

на станционных путях участка переменного тока







Тип подвески: цепная компенсированная нерессорная.

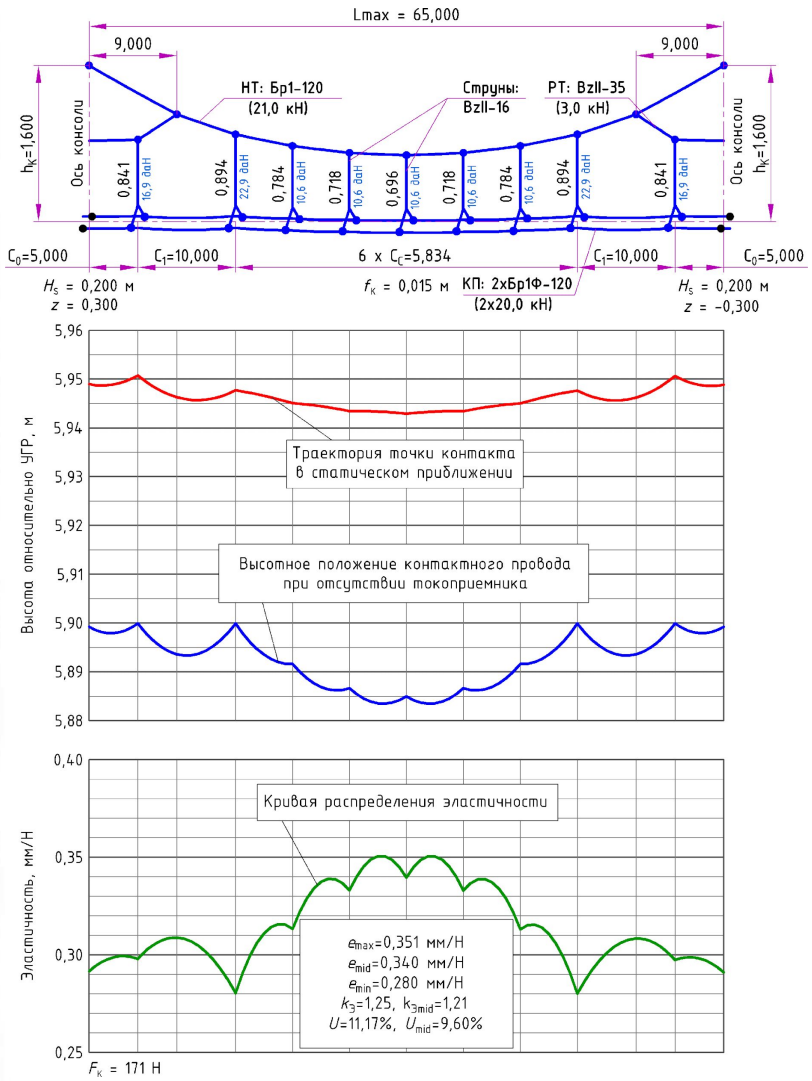
Максимальная длина пролета: 70 м.

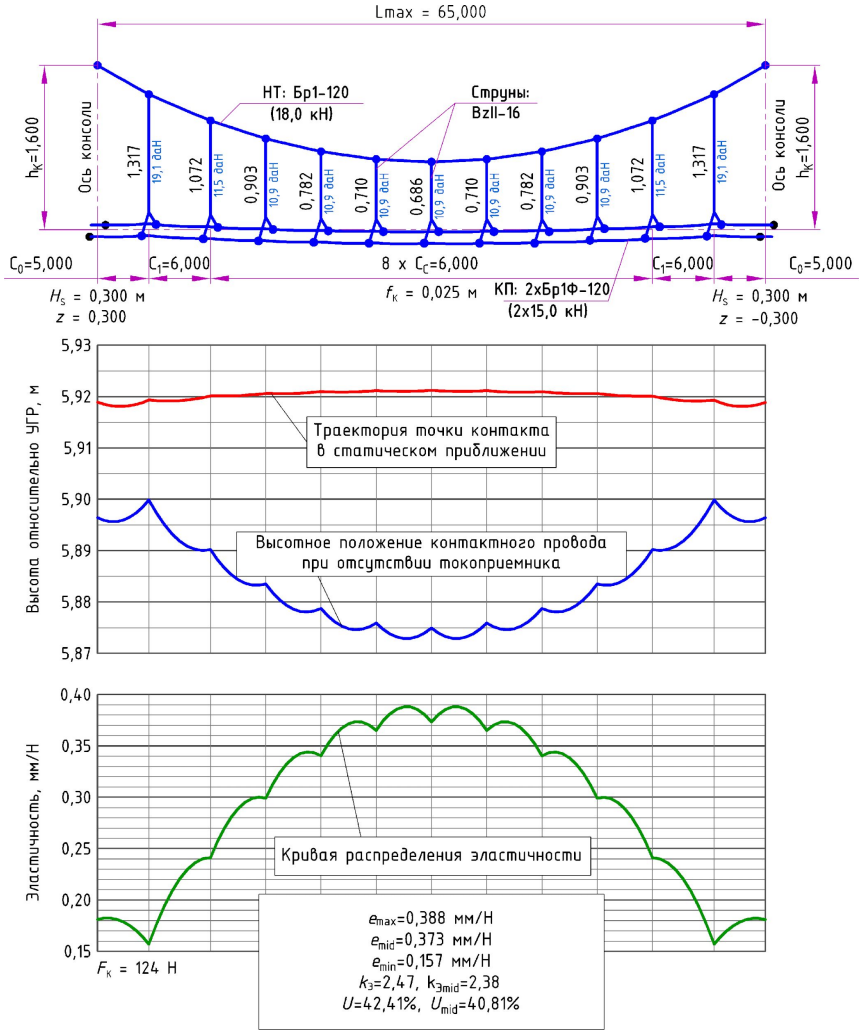
Номинальная высота контактного провода: 5,9 м то УГР.

Контактный провод: CuSn сечением 120 мм² и натяжением 15 кН.

Несущий трос: CuSn сечением 120 мм² и натяжением 18 кН.

Схемы контактных подвесок КС-250-3 и КС-170-3 на участке постоянного тока



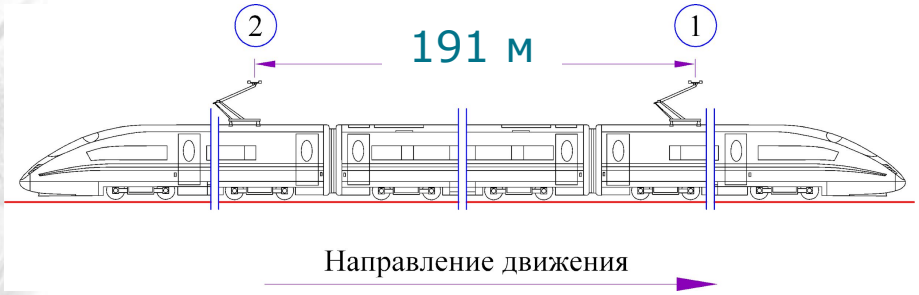


Уточненные данные по ЭПС и токоприемникам

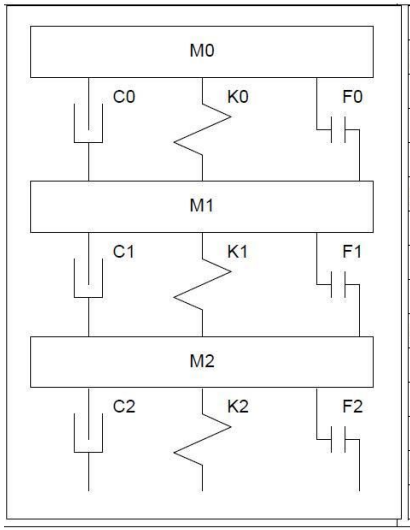
Поезд CRH-380AL (16 вагонов)

Токоприемник DSA-380D

Расстояние между токоприемниками

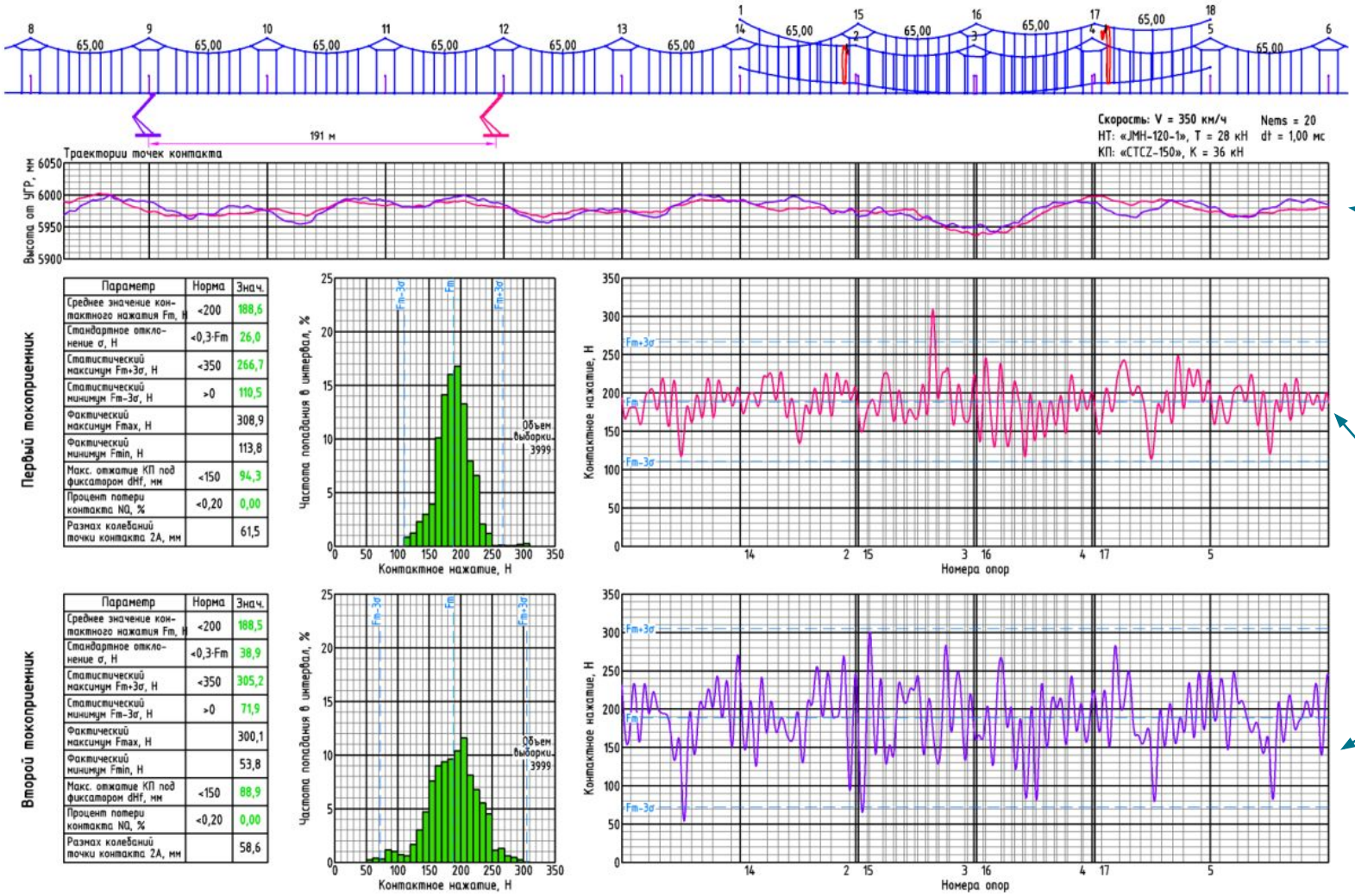


Параметры модели токоприемника



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

Взаимодействие подвески с токоприемниками по результатам моделирования



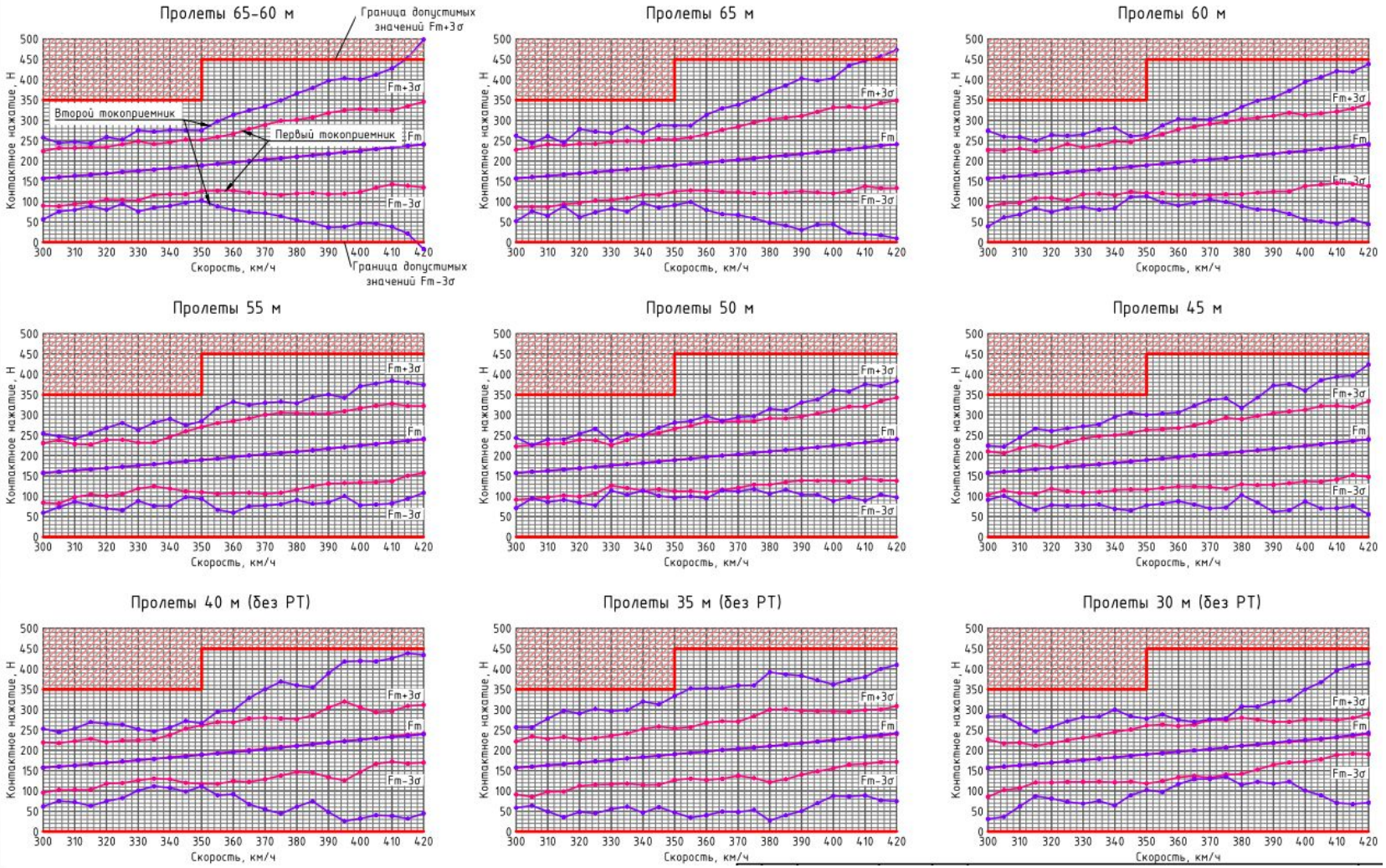
Параметр	Норма	Знач.
Среднее значение контактного нажатия Fm, Н	<200	188,6
Стандартное отклонение σ, Н	<0,3·Fm	26,0
Статистический максимум Fm+3σ, Н	<350	266,7
Статистический минимум Fm-3σ, Н	>0	110,5
Фактический максимум Fmax, Н		308,9
Фактический минимум Fmin, Н		113,8
Макс. отжатие КП под фиксатором dHf, мм	<150	94,3
Процент потери контакта NQ, %	<0,20	0,00
Размах колебаний точки контакта 2A, мм		61,5

Параметр	Норма	Знач.
Среднее значение контактного нажатия Fm, Н	<200	188,5
Стандартное отклонение σ, Н	<0,3·Fm	38,9
Статистический максимум Fm+3σ, Н	<350	305,2
Статистический минимум Fm-3σ, Н	>0	71,9
Фактический максимум Fmax, Н		300,1
Фактический минимум Fmin, Н		53,8
Макс. отжатие КП под фиксатором dHf, мм	<150	88,9
Процент потери контакта NQ, %	<0,20	0,00
Размах колебаний точки контакта 2A, мм		58,6

Траектории точек контакта

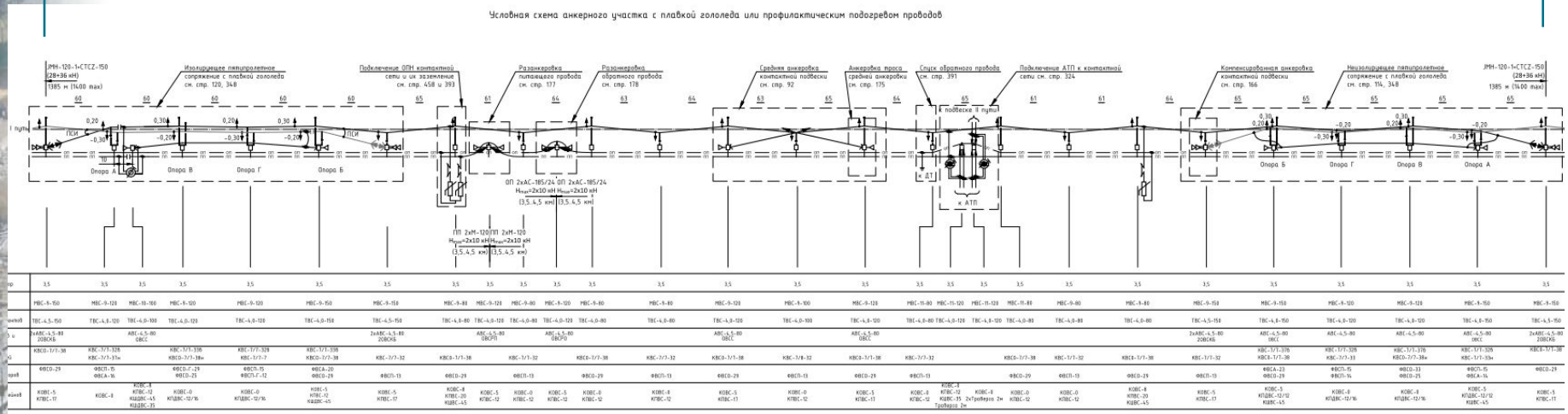
Контактное нажатие

Зависимости статистических параметров контактного нажатия от скорости при длинах пролетов L=30...65 м

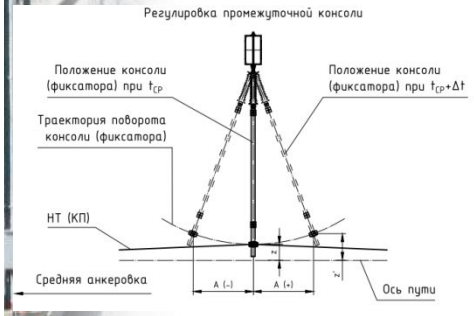


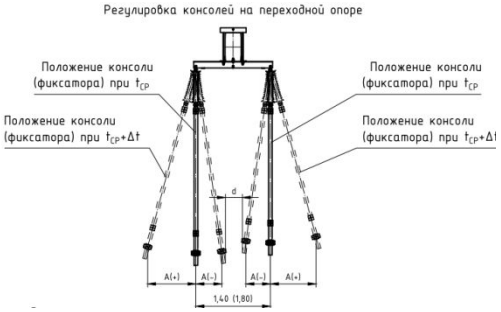
Анкерный участок контактной подвески

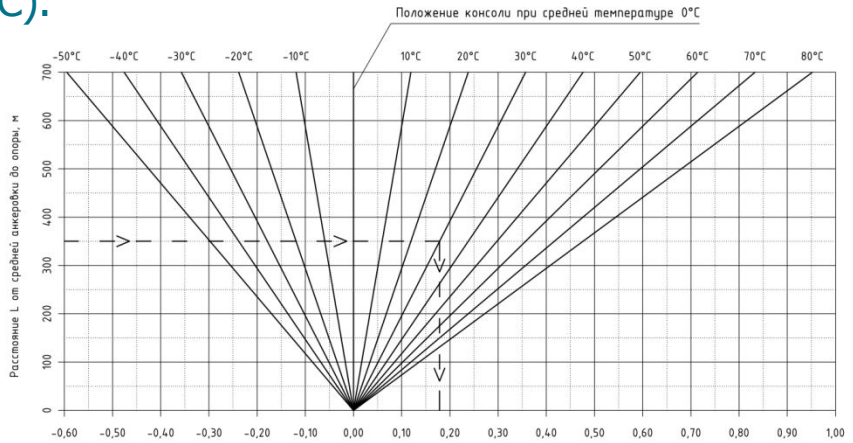
Максимальная длина анкерного участка Lmax = 1400 м



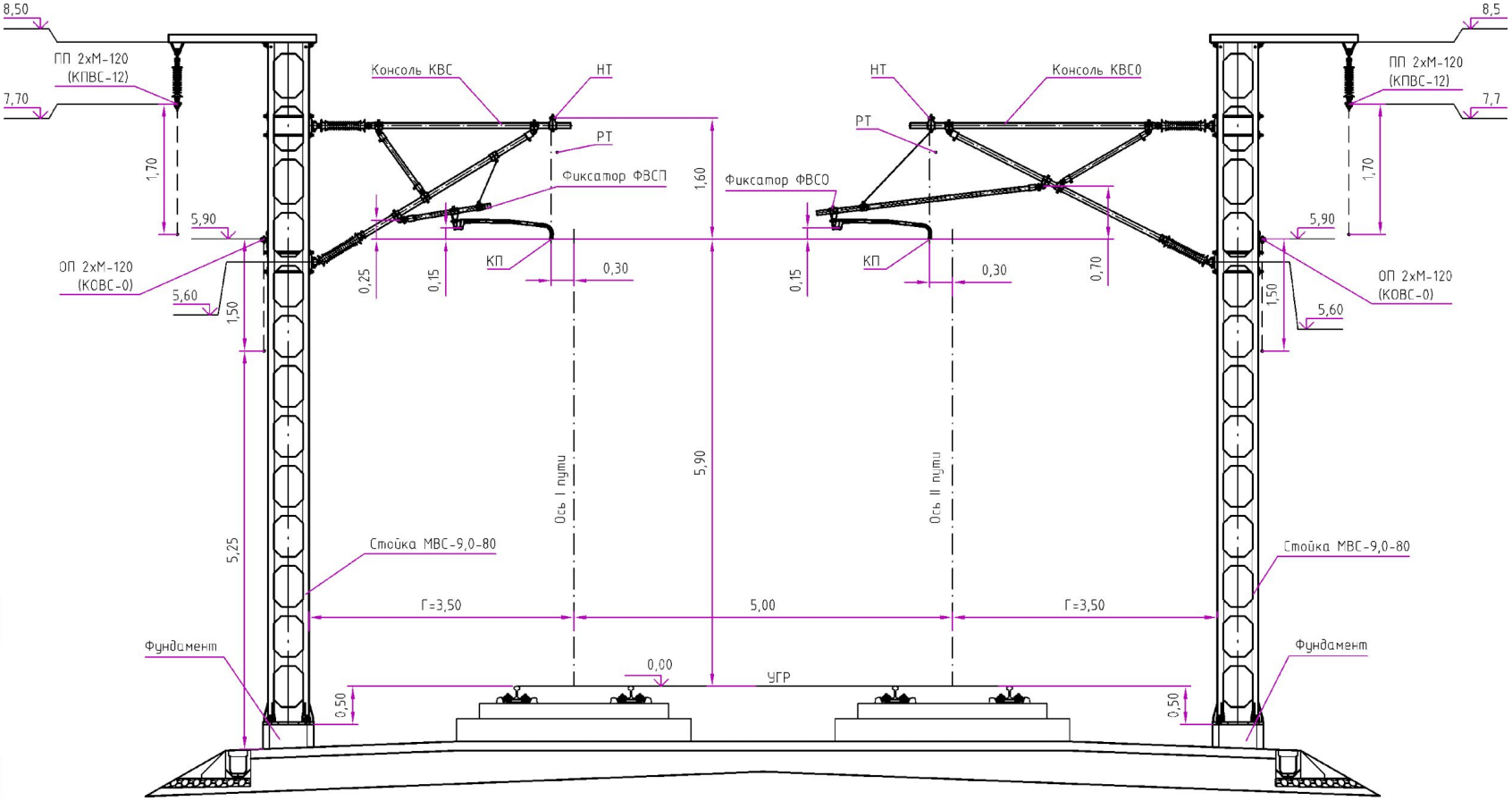
Параметры продольной регулировки контактной подвески приняты для диапазона температур 130 °С (–50...+80 °С).





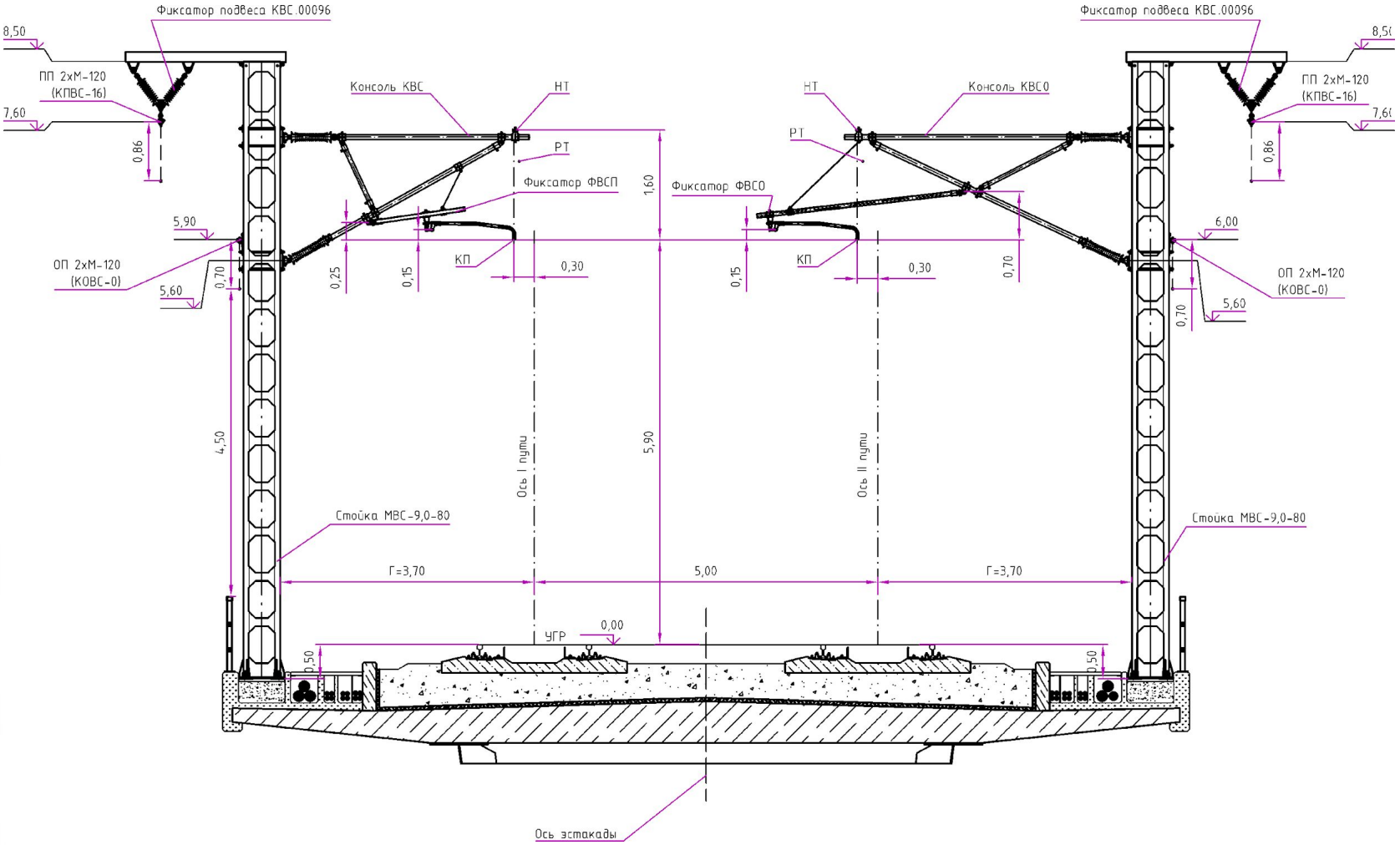


Армировки опор контактной сети КС-400: перегоны, зем. полотно

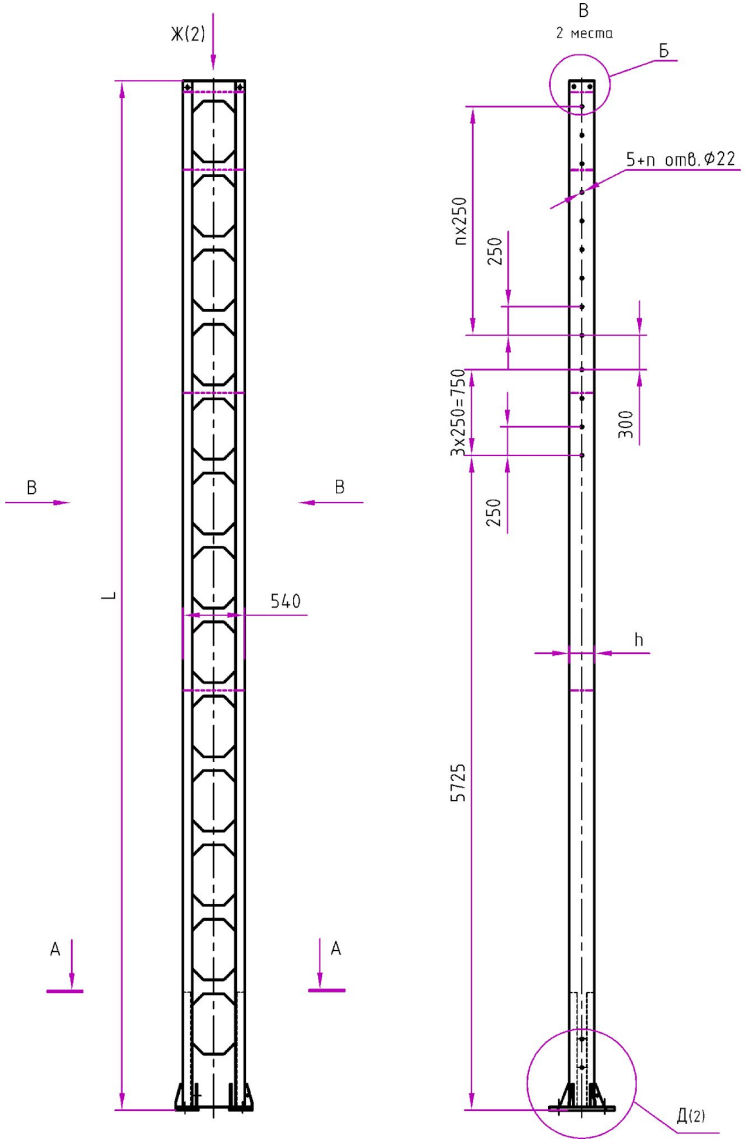


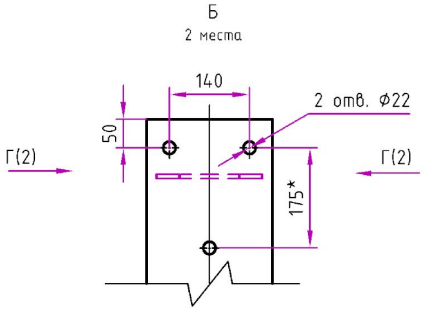
Кроме контактной подвески на опорах подвешивается питающий провод системы 2х25 кВ (ПП), а также обратный провод (ОП), который выполняет, в том числе, функцию заземления.

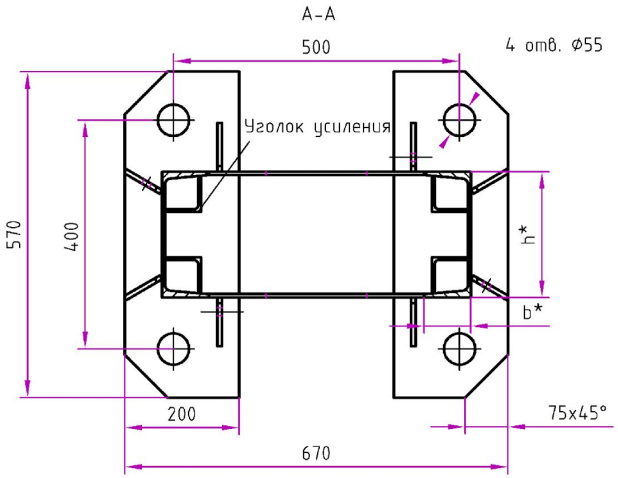
Армировки опор контактной сети КС-400: перегоны, эстакада



Стойки опор – двухшвеллерные







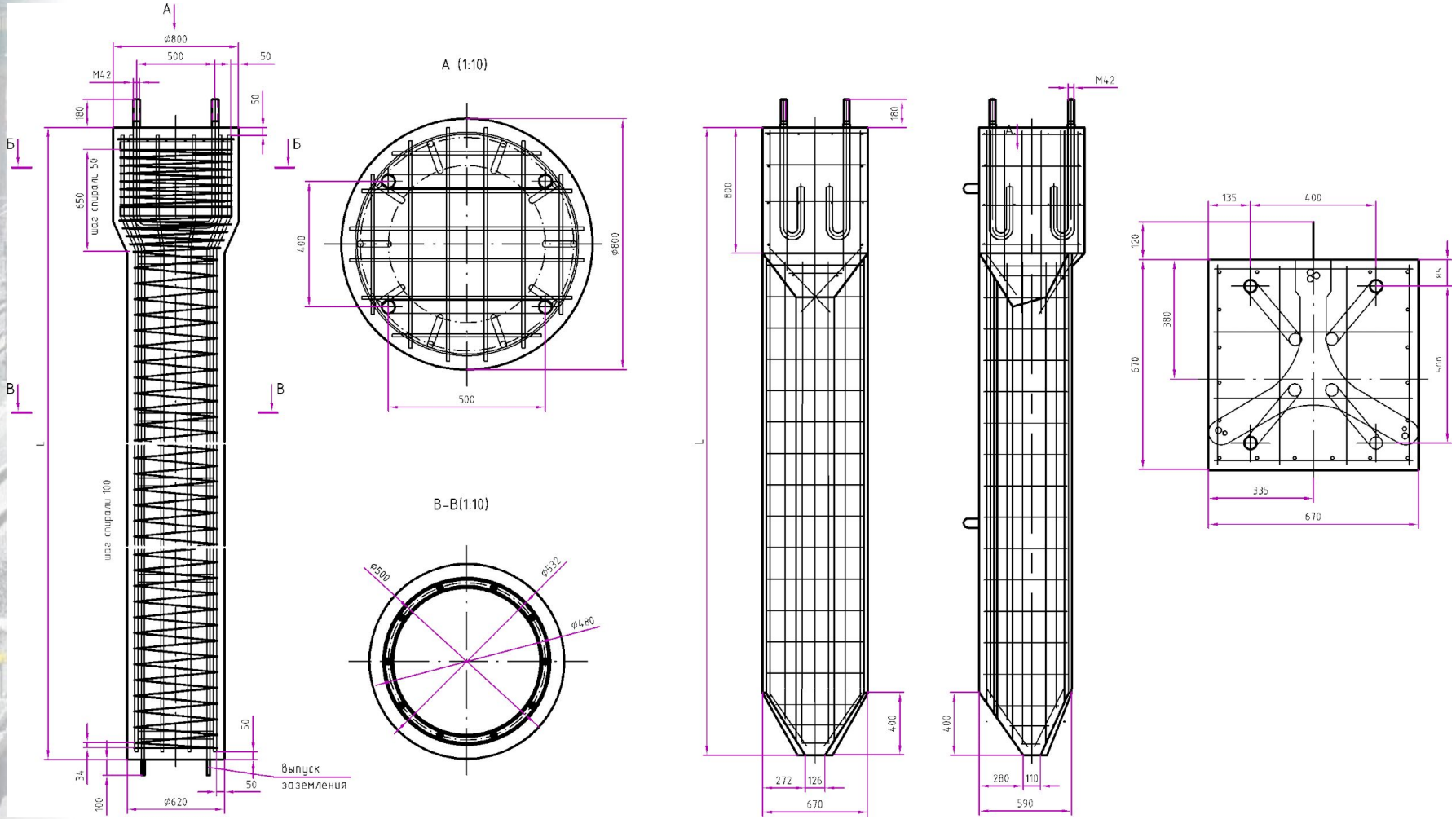
Допустимый прогиб на уровне контактного провода: 40 мм

Исполнения по высоте:
от 8,5 до 12 м с шагом 0,5 м

Исполнения по несущей способности:
от 80 до 150 кНм.

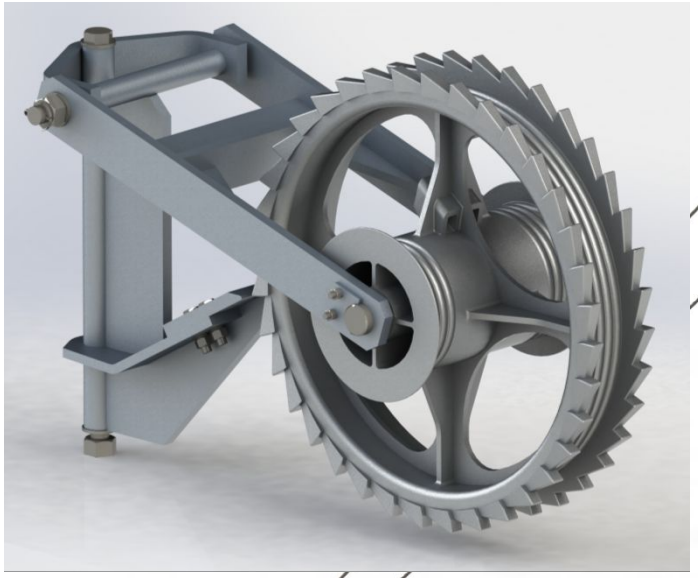
Фундаменты опор

Основной вариант для высокоскоростного участка – буронабивные сваи длиной 5,0, 5,5 или 6,0 м.
На участках постоянного тока и станционных путях – вибропогружаемые трехлучевые.
Расположение анкерных болтов – по российскому ГОСТ 400х500 мм.



Анкеровка контактной подвески

Компенсаторы – барабанного типа

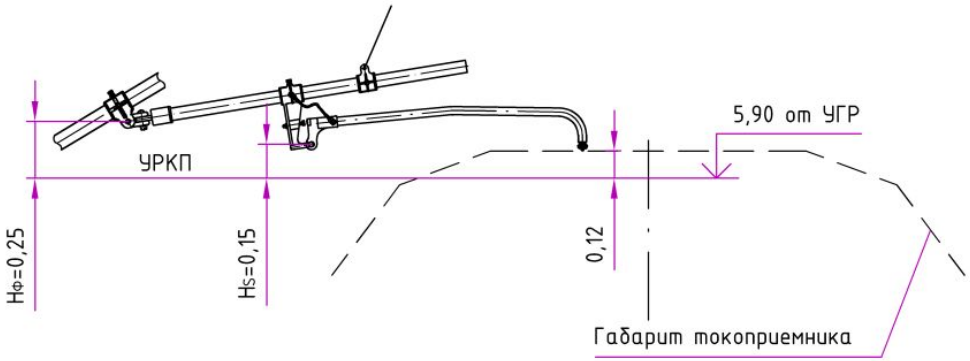


Усиленная оттяжка из штанг Ø24 мм

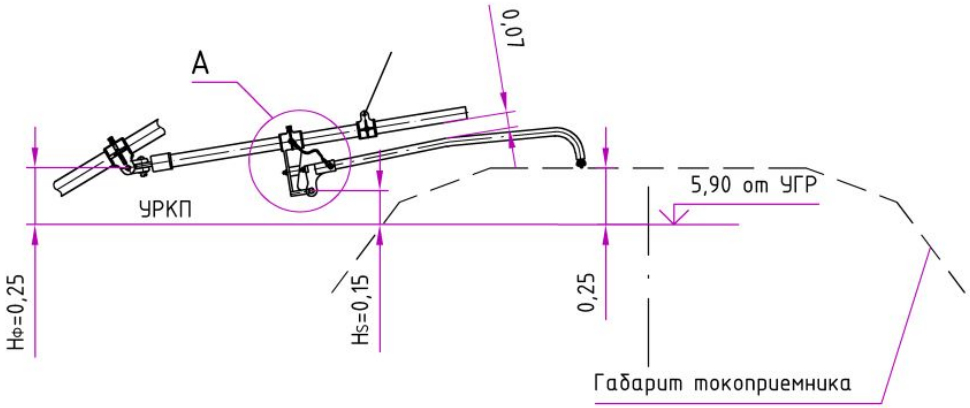
Поддерживающие и фиксирующие конструкции

Фиксаторный узел

Максимальное рабочее отжатие



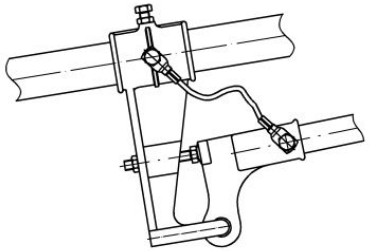
Максимально допускаемое отжатие



Ограничитель подъема срабатывает при отжатии контактного провода 250 мм.

A

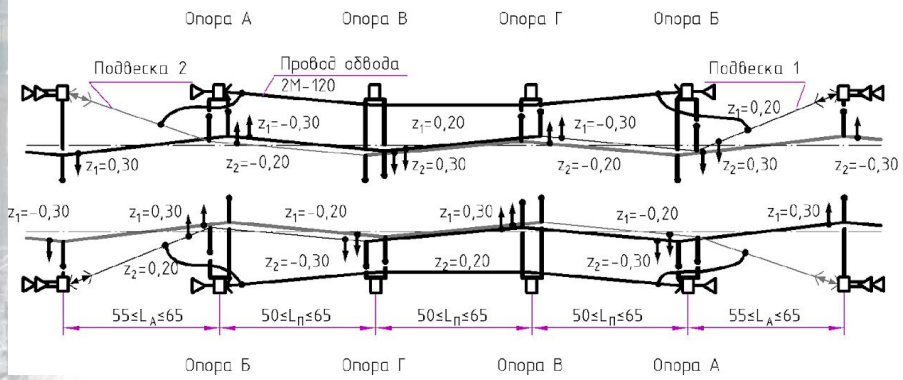
Срабатывание ограничителя подъема



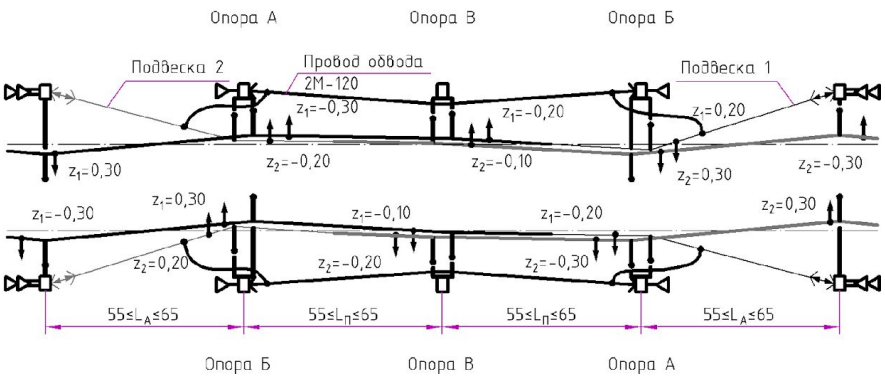
Сопряжения анкерных участков

Неизолирующие сопряжения анкерных участков – пятипролетные (основной вариант).
В стесненных условиях допускаются четырехпролетные сопряжения.

5-и пролетное неизолирующее сопряжение на прямой

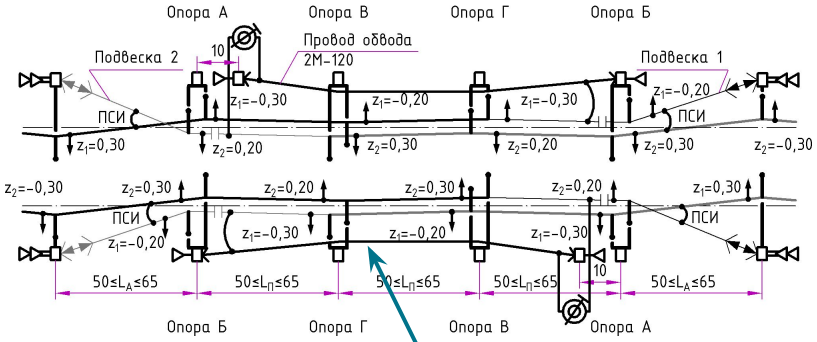


4-х пролетное неизолирующее сопряжение на прямой



Изолирующие сопряжения – пятипролетные

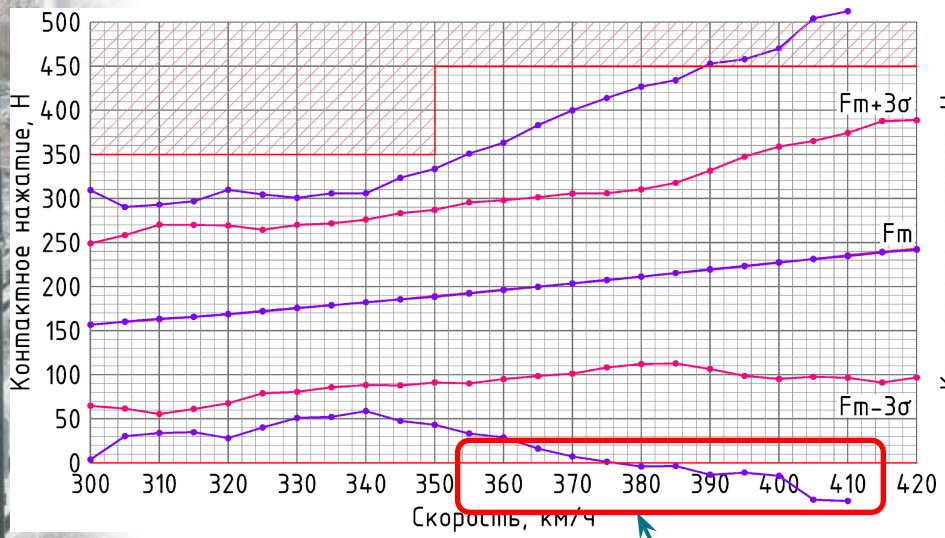
5-и пролетное изолирующее сопряжение на прямой



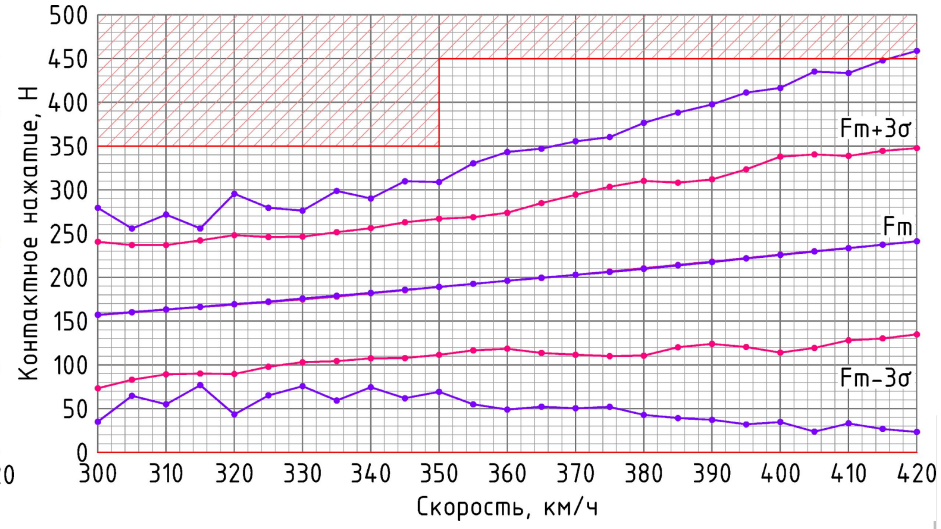
Для реализации схем плавки гололеда на сопряжениях устраивается специальный провод обвода. По нему возвращается электрический ток, который протекает последовательно по двум подвескам в переходных пролетах, нагревая их до одинаковой температуры.

Моделирование взаимодействия токоприемников и контактной подвески в зоне сопряжений

3-х пролетное сопряжение
(длины пролетов 65 м)



5-ти пролетное сопряжение
(длины пролетов 65 м)

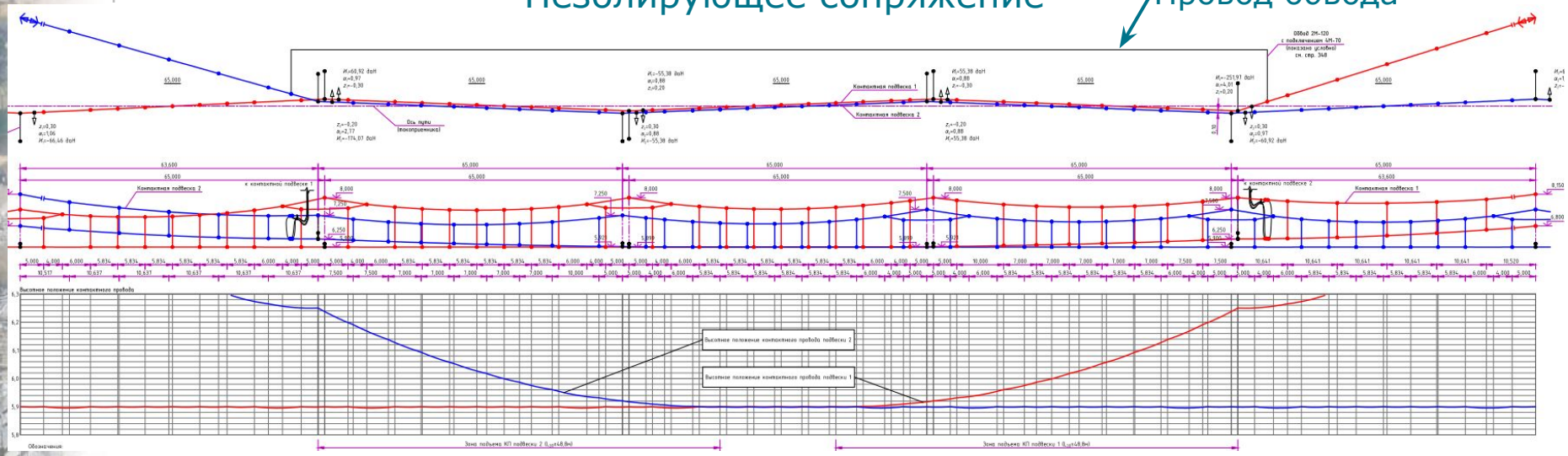


При уточненных параметрах подвижного состава и токоприемников имеется ухудшение качества токосъема при скоростях свыше 370 км/ч

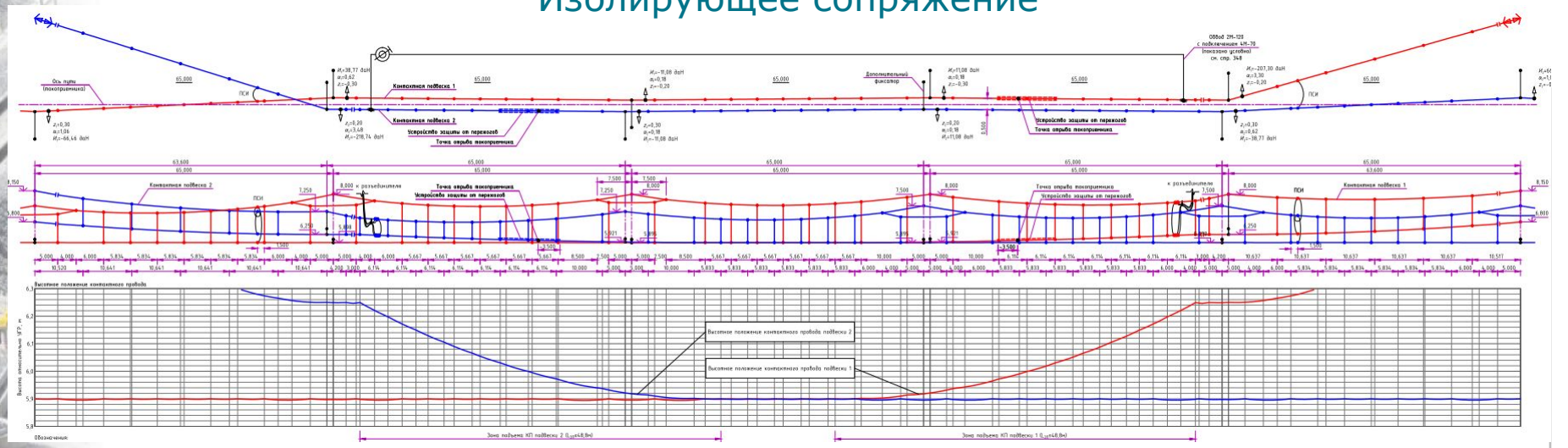
Схемы контактных подвесок на сопряжениях

Незолирующее сопряжение

Провод обвода

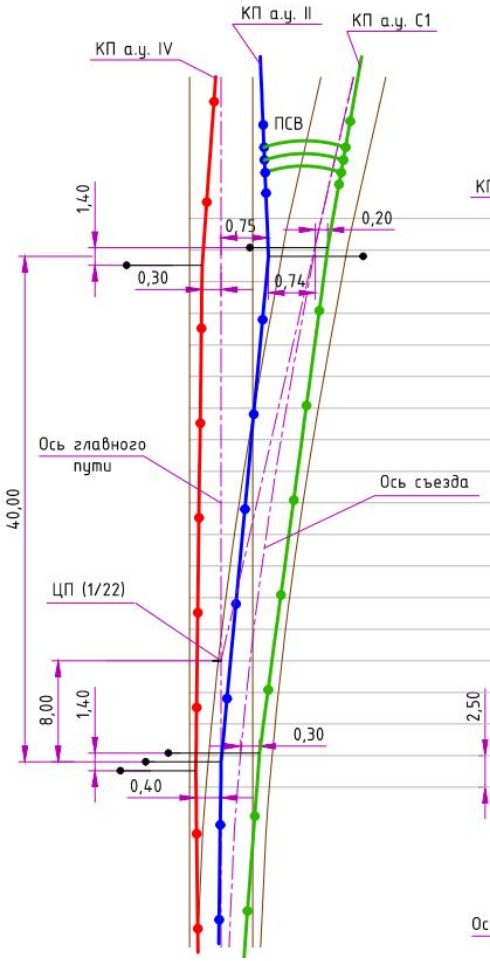


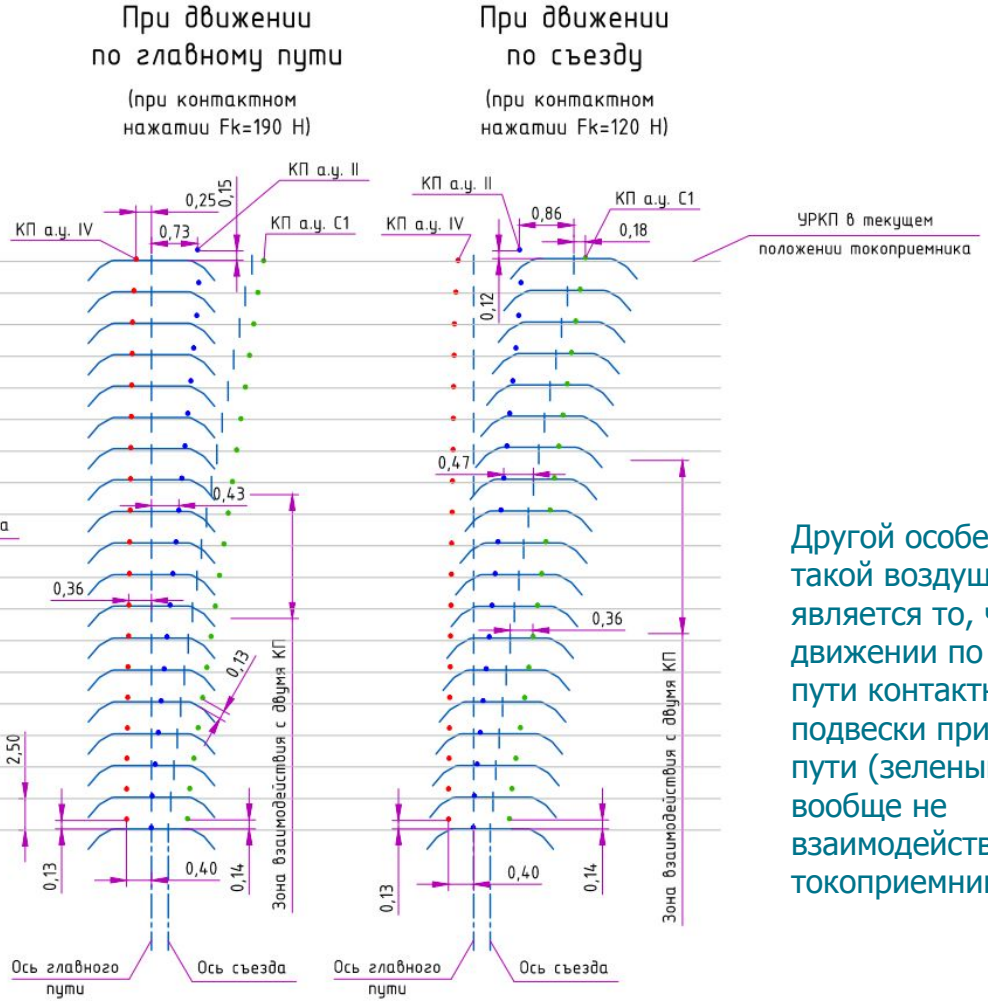
Изолирующее сопряжение



Воздушные стрелки

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.

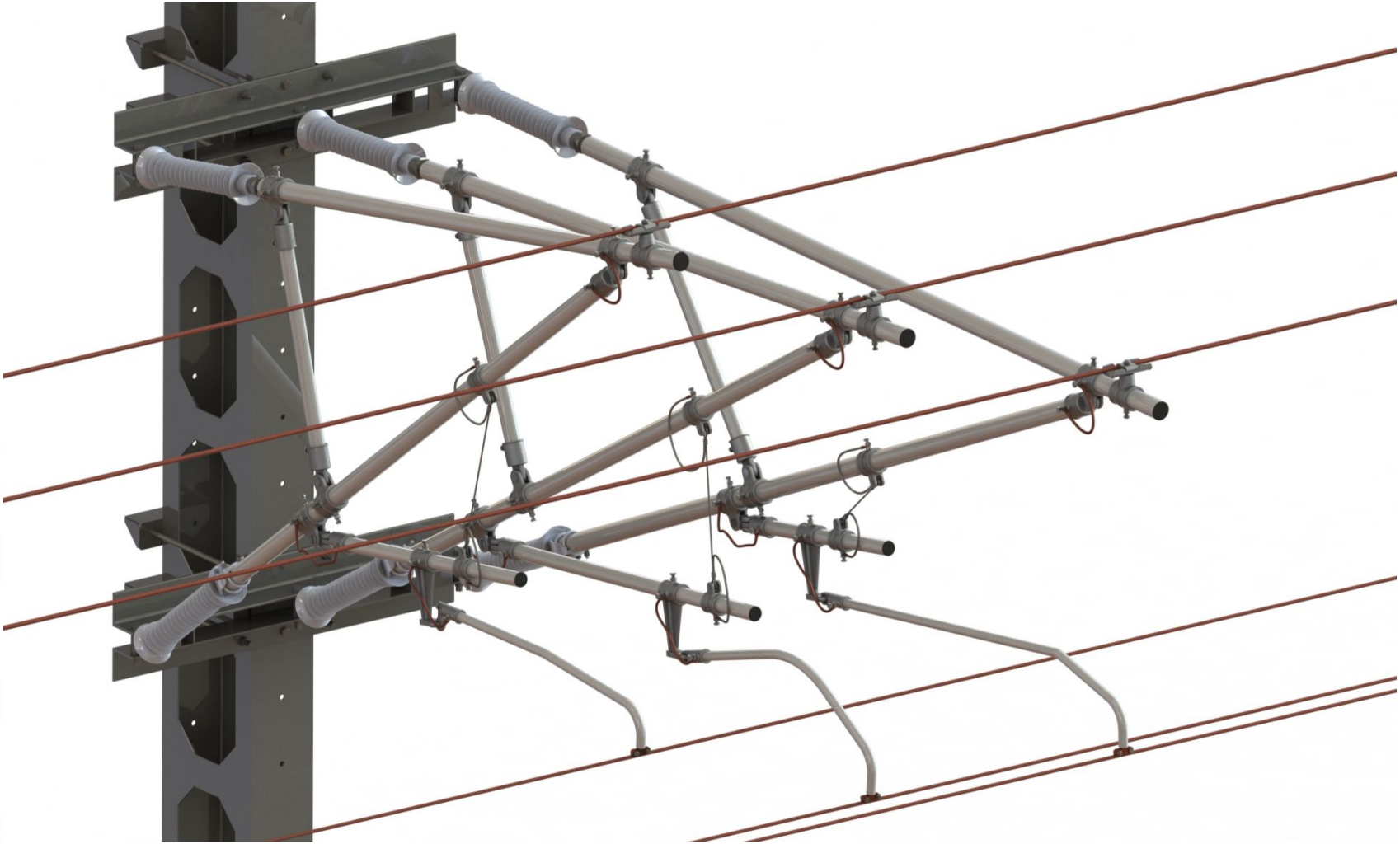




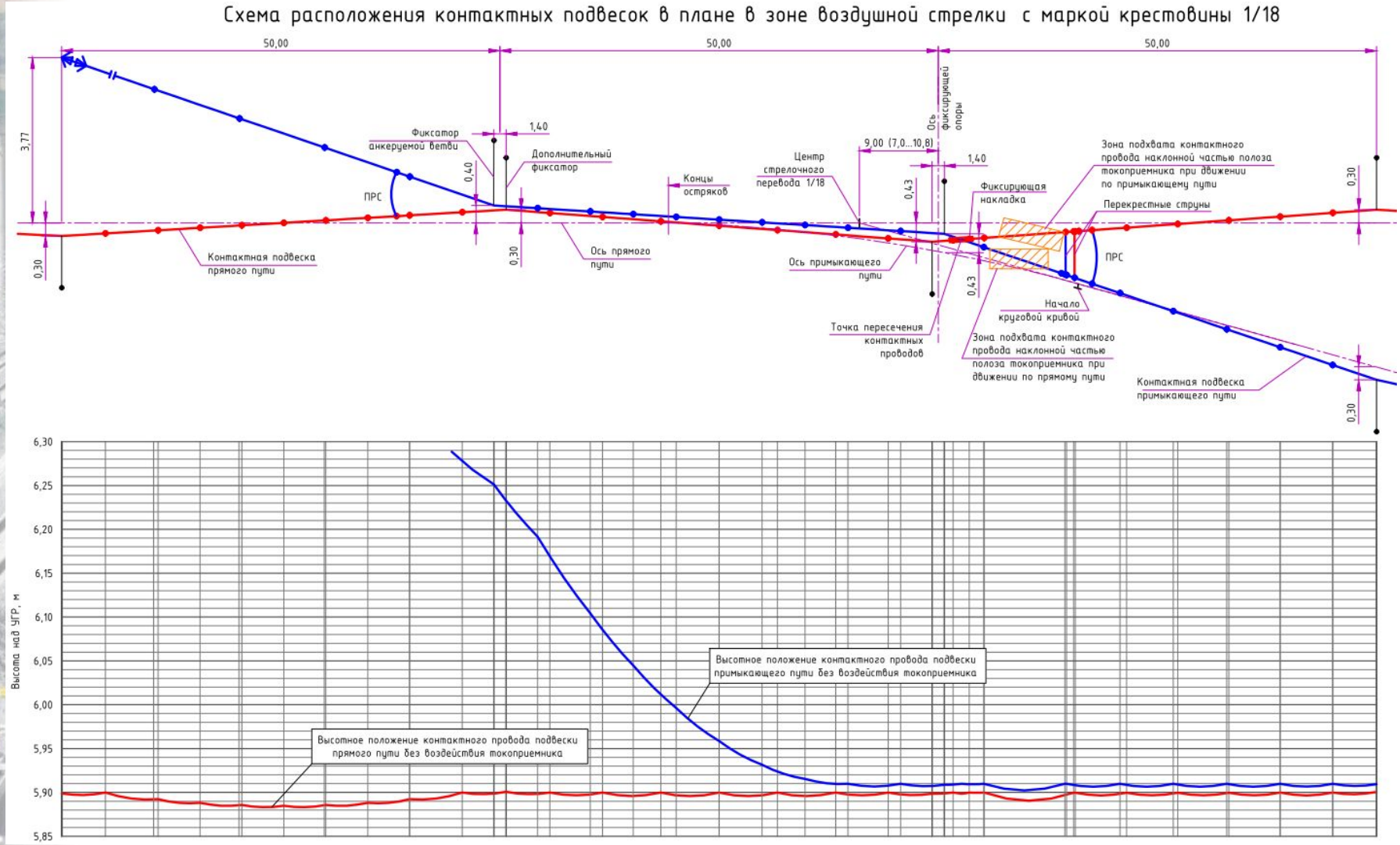
Другой особенностью такой воздушной стрелки является то, что при движении по главному пути контактный провод подвески примыкающего пути (зеленый на схеме) вообще не взаимодействует с токоприемником.

Консоли на воздушной стрелке

Воздушные стрелки с тремя подвесками приводят к определенному усложнению контактной сети на станциях. В частности, появляются опоры с одновременной установкой трех консолей на траверсе.

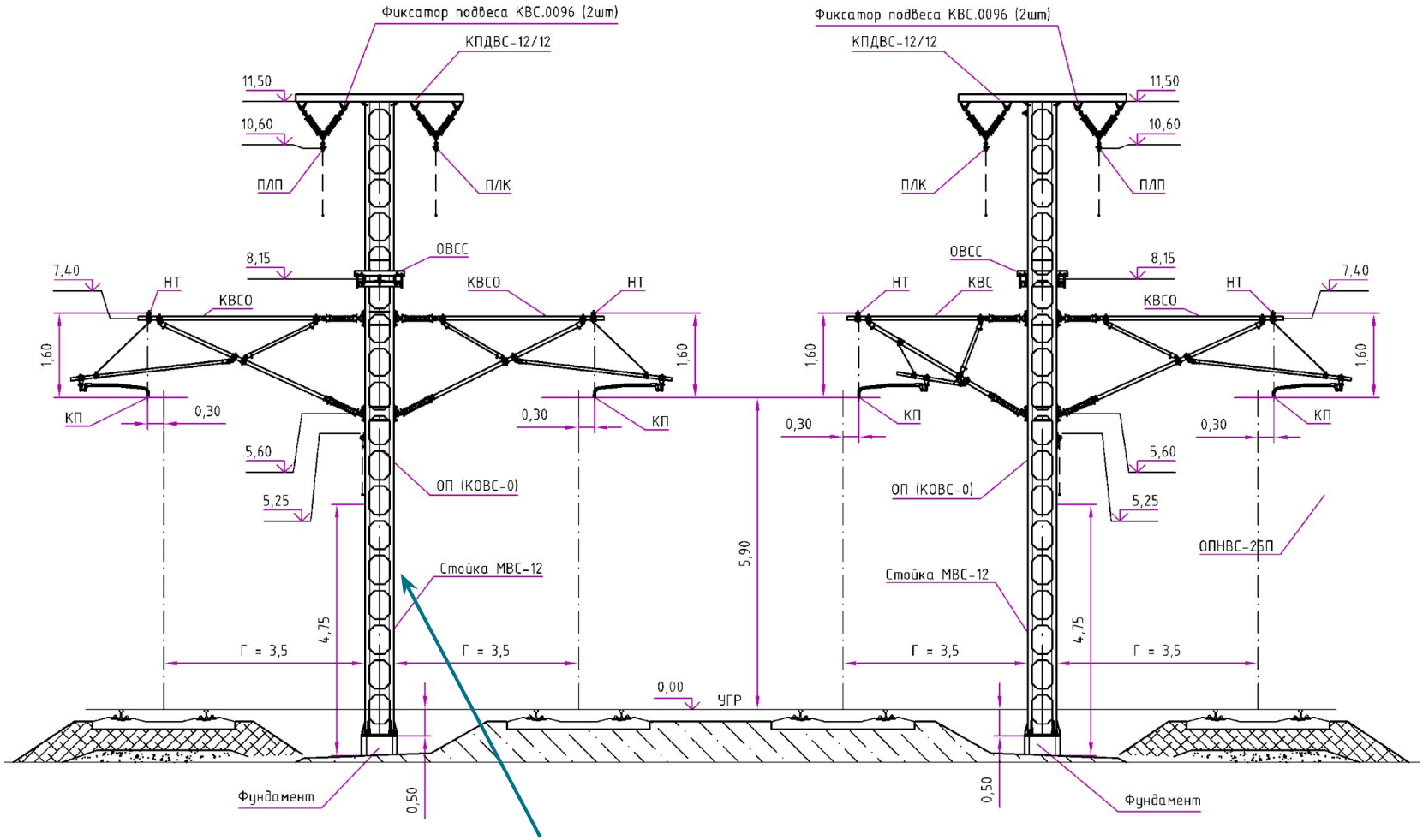


Воздушные стрелки на второстепенных путях и участке постоянного тока – с пересечением проводов



Армировки опор: станции

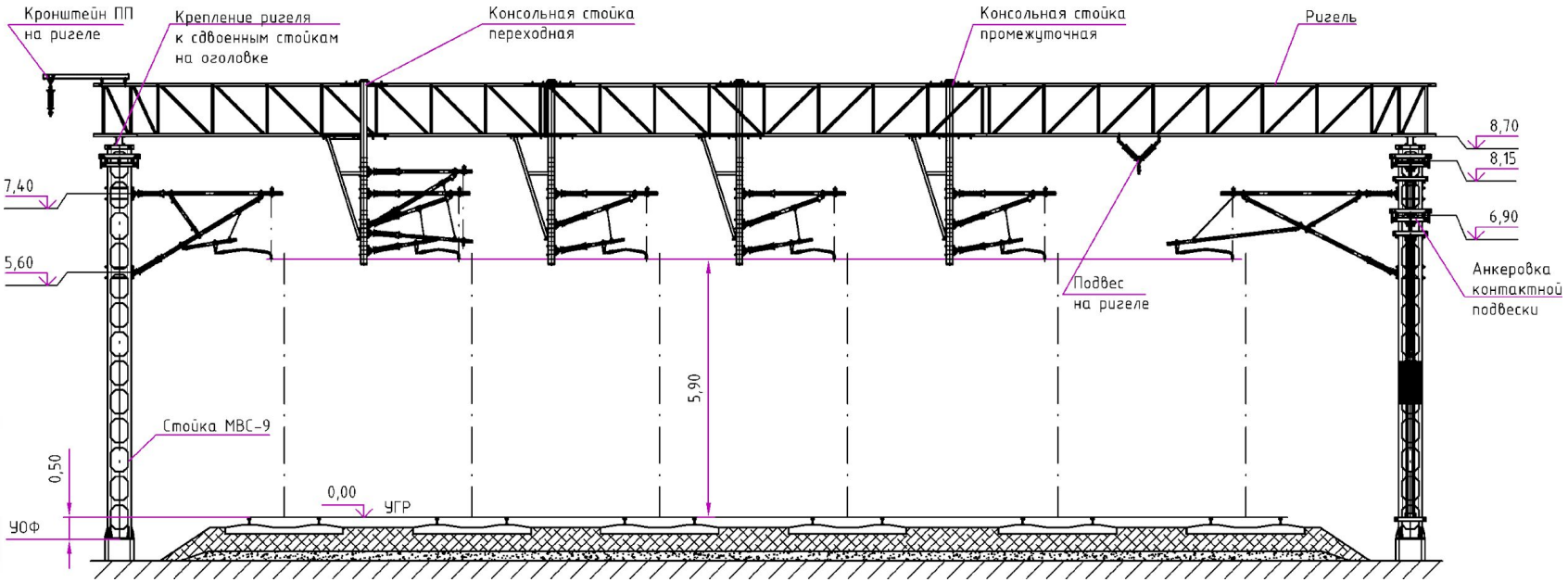
Опоры в средней части станции



Подвески главных и станционных путей фиксируются не с одной, а с разных опор, располагающихся рядом – одна за другой.

Жесткие поперечины

Балочного типа проекту 5254 ЦНИИС.



Подключения ТП, АТП, АТП-ПС

Принципиальная схема подключения к контактной сети питающих линий АТП-ПС при наличии схем плавки гололеда или профилактического подогрева

(Примеры узлов)

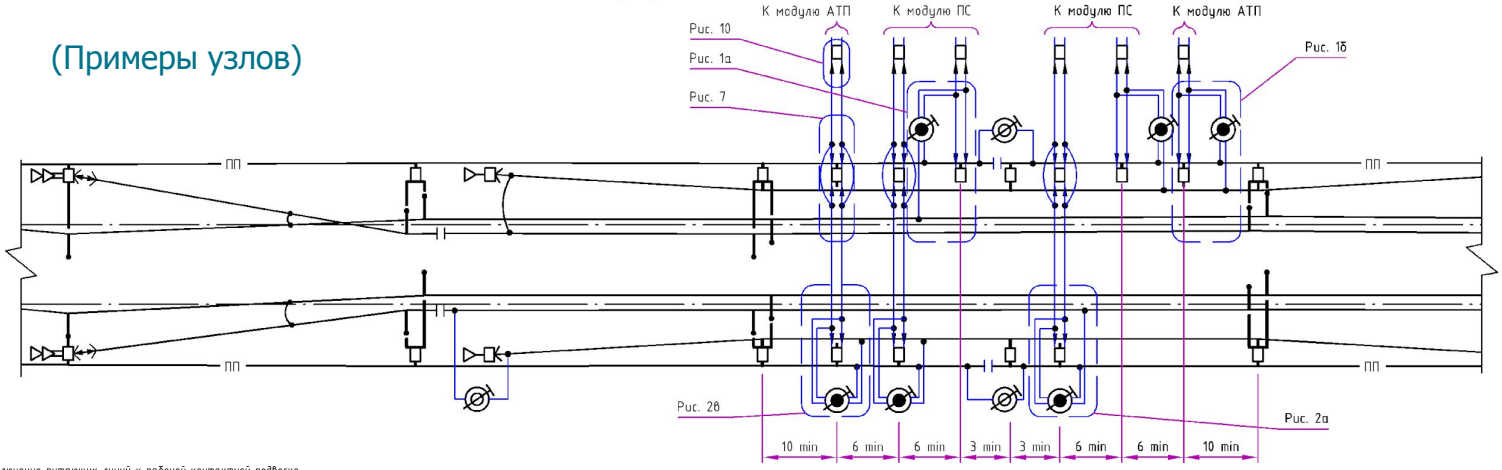


Рис. 1а. Подключение питающих линий к рабочей контактной подвеске и питающему проводу

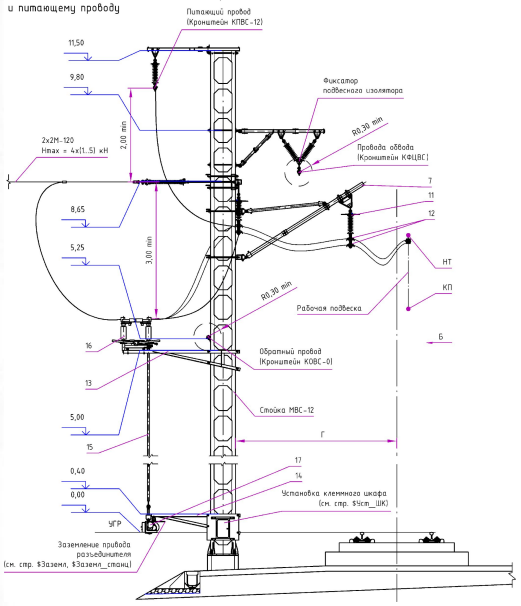


Рис. 8. Концевая опора двух питающих линий ТП

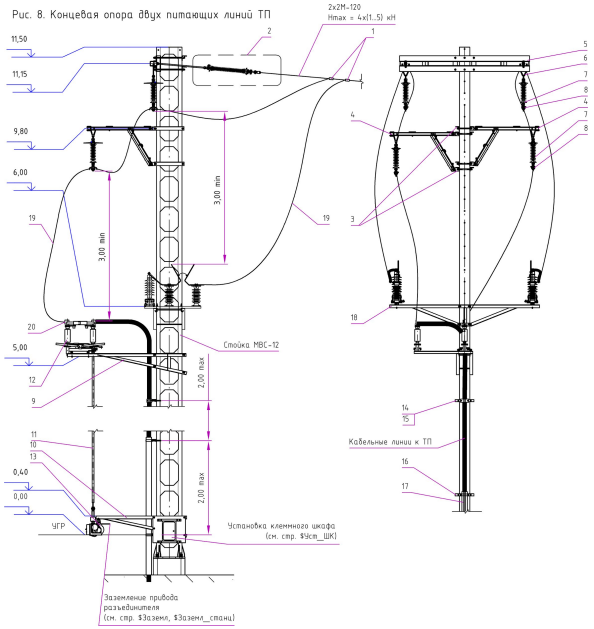
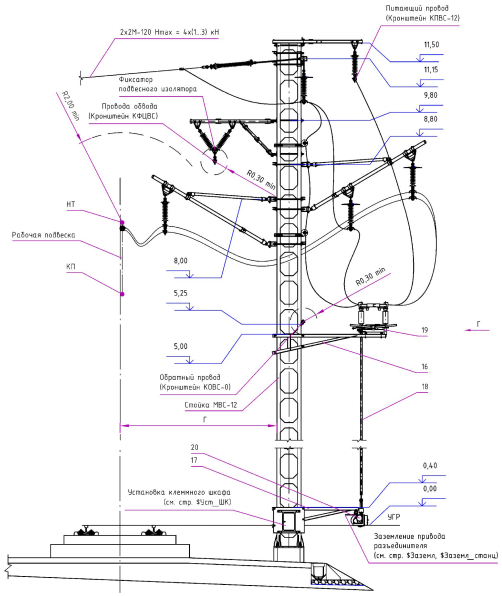


Рис. 2а. Подключение питающих линий к рабочей контактной подвеске и питающему проводу



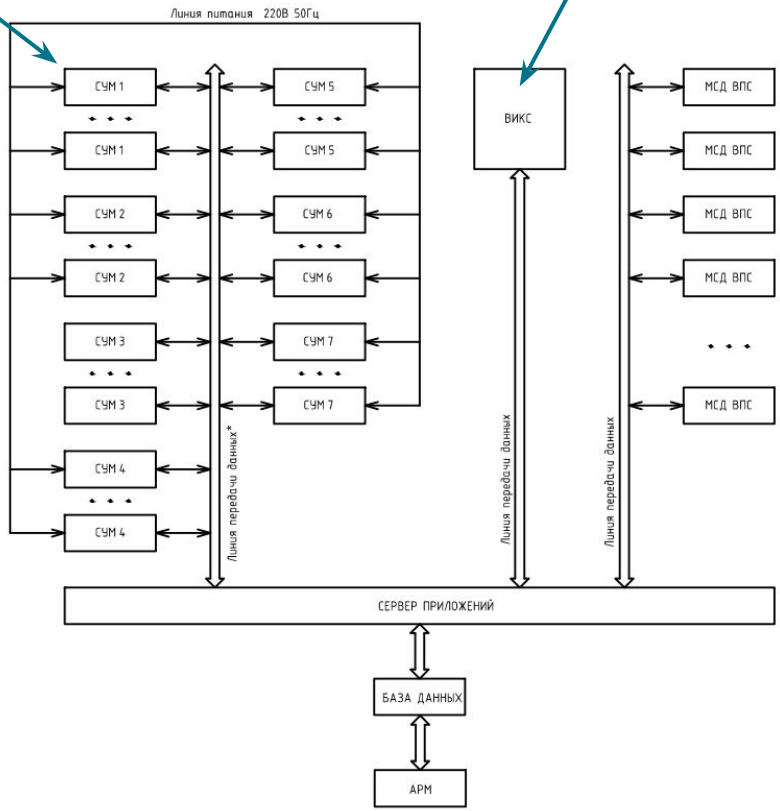
Система мониторинга и диагностики КС

Контактная сеть ВСМ проектируется как малообслуживаемая техническая система. Для контроля за параметрами контактной сети и выявления предотказных состояний предусматривается комплексная система мониторинга и диагностики, состоящая из следующих основных компонентов:

1. Стационарные устройства мониторинга, распределенные по линии.

2. Мобильные диагностические комплексы (аналог ВИКС, возможно в составе комплексных диагностических поездов).

Структурная схема системы диагностики и мониторинга контактной сети

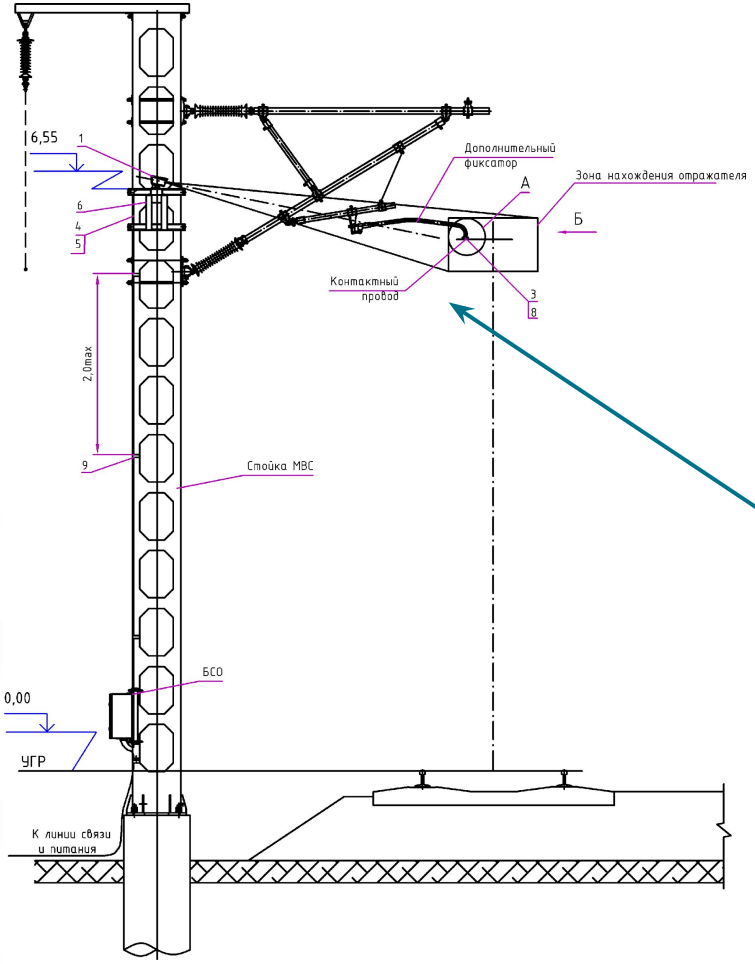


3. Диагностические средства на высокоскоростном подвижном составе (как минимум – видеокамеры, нацеленные на токоприемники).

4. Единая система сбора и анализа информации.

Система мониторинга и диагностики КС

Стационарные устройства



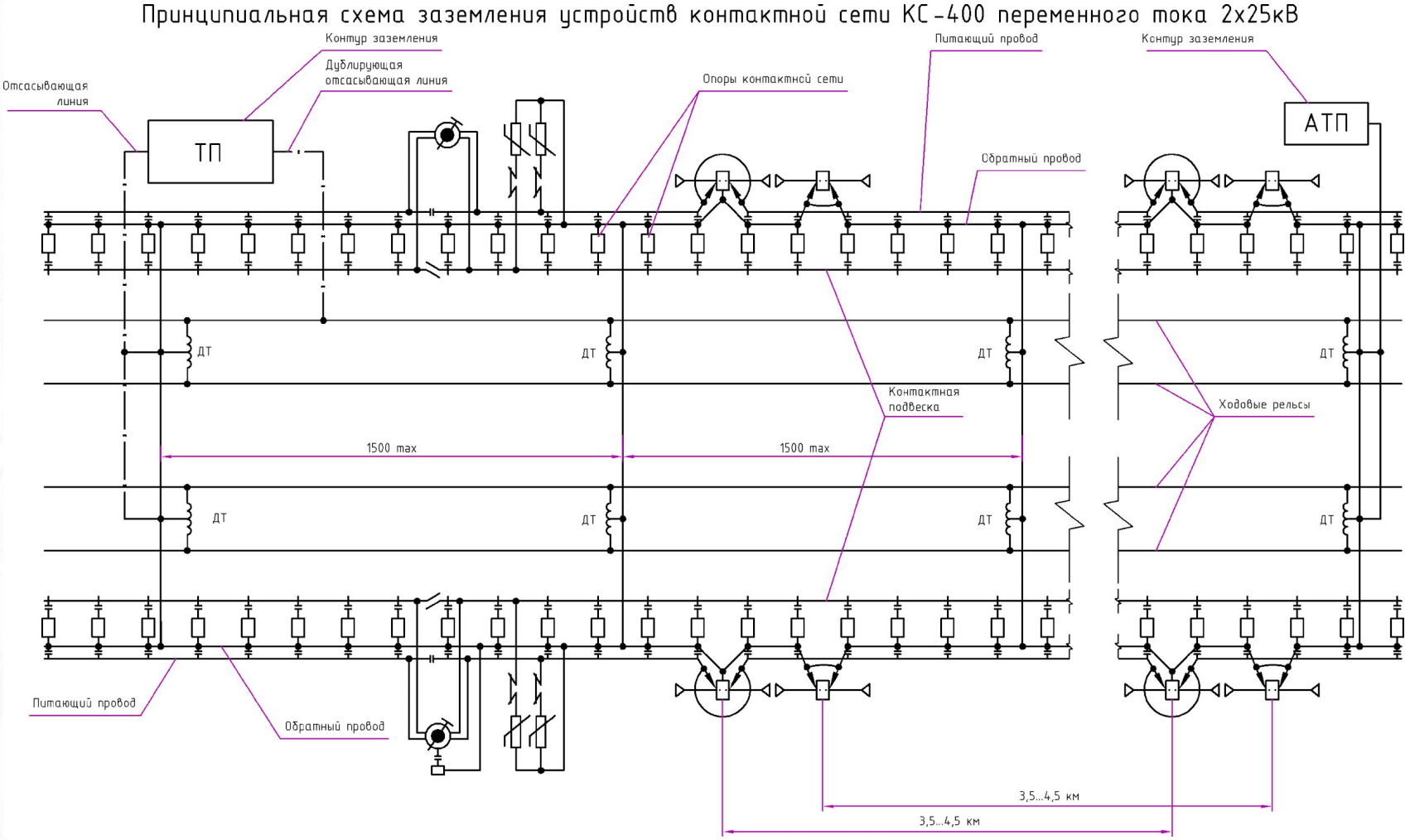
Параметры мониторинга:

1. Натяжение проводов контактной подвески.
2. Перемещения грузов компенсирующих устройств.
3. Температура контактных проводов в точках с максимальной плотностью тока.
4. Вибрация и наклон опор контактной сети.
5. Условия образования гололеда.
6. Отжатие контактного провода при проходе ВПС.

Стационарные устройства мониторинга необходимо учесть на стадии проектирования.

Часть устройств предполагается к установке только в некоторых местах на период опытной эксплуатации.

Реализация обратной тяговой сети и системы заземления контактной сети (вариант)



Предложения по изменению СТУ-15

Предложения по изменению положений СТУ-15, связанные с уточнениями требований к контактной сети ВСМ, выявленными в процессе разработки схемных и конструктивных решений

№ п/п	Пункт или раздел СТУ-15	Предложение по изменению	Обоснование
1	3.3.8 ... Секции главных и второстепенных путей станций должны получать питание по отдельным питающим линиям.	Убрать выделенное предложение.	Требование ведет к неоправданному усложнению контактной сети и тяговых подстанций. Если выполнить это требование, у каждой станции появляется большое число дополнительных питающих линий, размещение которых, как правило, невозможно реализовать на опорах контактной сети, т.е. появляются большое число дополнительных опор с отдельными питающими линиями. На тяговых подстанциях потребуется делать минимум по 7 выходов. При этом выигрыш в надежности работы и гибкости обслуживания станций более чем сомнителен.
2	3.8.2.2 Минимальный допускаемый вертикальный габарит контактного провода принимается по существующей национальной норме 5620 мм от уровня головок рельсов (УГР). Данный габарит должен быть выдержан с учетом всех возможных климатических и механических воздействий на контактную сеть, а также погрешностей сооружения пути и контактной подвески.	Заменить цифру 5620 на 5570 мм	Согласно новым национальным стандартам ГОСТ 32679-2014 и СП 224.1326000.2014 минимально допустимая высота подвеса контактного провода на участках переменного тока составляет 5570 мм от УГР (норма для искусственных сооружений). Уменьшение указанной нормы с 5620 до 5570 мм позволило бы реализовать бóльшие длины пролетов в тяжелых гололедных условиях, а также упростить проход контактной сети в существующих искусственных сооружениях на входах в крупные города.
3	3.8.2.3 Номинальная высота рабочего контактного провода у опор контактной сети на перегонах должна составлять 5900 мм от УГР. В исключительных случаях при проходе линии высокой скорости (от 200 до 400 км/ч) через существующие железнодорожные сооружения допускается понижение высоты с уклонами в соответствии с действующими нормативными документами.	Изменить выделенное предложение: *...В исключительных случаях при проходе линии через существующие железнодорожные искусственные сооружения при скоростях движения до 250 км/ч допускается понижение высоты с уклонами в соответствии с действующими нормативными документами.*	В соответствии с действующими России «Правилами устройства и технической эксплуатации контактной сети» уклоны допускаются при скоростях 200 км/ч и менее. В соответствии с документом МЭК 60913 – уклоны допускаются при скоростях 250 км/ч и менее, а при скорости более 250 км/ч уклонов быть не должно. Т.е. в текущей редакции второе предложение данного пункта СТУ не имеет смысла. Предлагается разрешить уклоны по нормам МЭК.

(всего 22 пункта)

Спасибо за внимание!

В презентации использованы фотографии контактной сети
ВСМ Мадрид – Вальядолид (Испания) в период строительства