

# Перспективы использования атмосферостойкой стали для решётчатых опор ВЛ

VIII Международная научно-практическая конференция  
**ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ УМНЫХ СЕТЕЙ:  
ИННОВАЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

6-8 июля 2021

**Касаткин Сергей Петрович,**  
начальник сектора НИЛКЭС  
[s.p.kasatkin@nilkes.ru](mailto:s.p.kasatkin@nilkes.ru)

## Атмосферостойкая сталь

**COR-TEN – тип сталей, легированных медью**

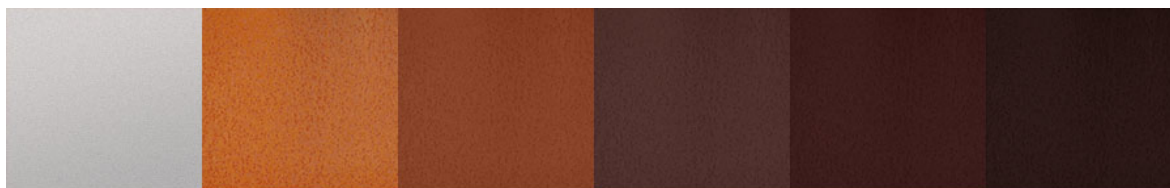
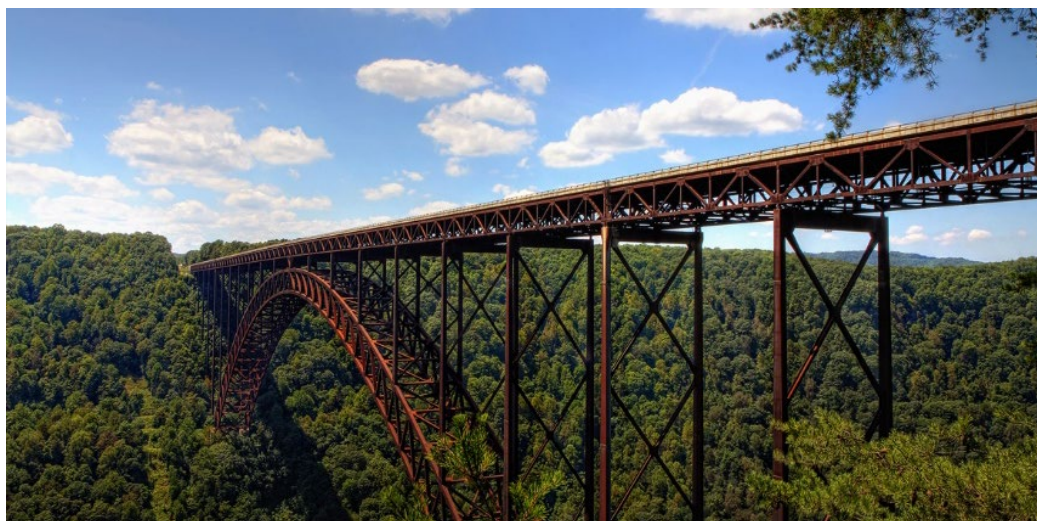
**(до 10 легирующих элементов) – патент 1933 года, США**

**Плотный защитный слой оксидов железа – защищает сталь от коррозии**

**Не требует дополнительной защиты в эксплуатации**

### Область применения:

- мостовые конструкции
- опоры ВЛ
- столбы освещения
- опоры контактной сети
- дымоходы
- резервуары для воды
- шасси грузовиков
- в декоративных целях



1 день

2 года

5 лет

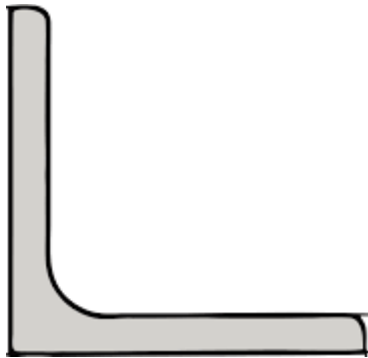
25 лет

40 лет

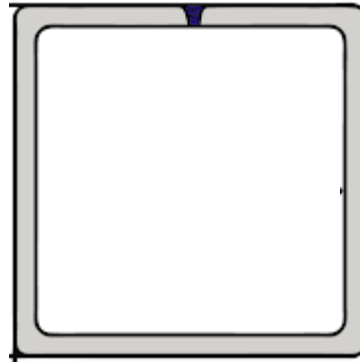
50 лет

**Мост через ущелье Нью-Ривер (США), 1977**

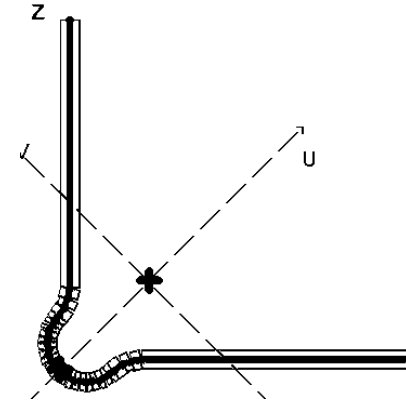
## Металлопрокат из атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ



Уголок



Профилированная труба



Гнутый Л-профиль

- Сталь марки 14ХГНДЦ внесена в ГОСТ Р 55374-2012
- В конструкциях из стали 14ХГНДЦ допускается контакт со сталями по ГОСТ 19281-89
- Технология сварки таких металлоконструкций описана в СТО АВТОДОР 2.19-2015.
- Метизы должны быть :
  - защищены при помощи термодиффузионного цинкования или
  - изготовлены из атмосферостойкой стали

**Задача разработчиков – снижение металлоемкости опор ВЛ  
( типовые опоры разработаны для стали класса прочности 245)**

**Атмосферостойкая сталь – класс прочности 345  
на 15% дороже обычной стали**

**Новые продукты из атмосферостойкой стали:**

- **Уголок из прокатного профиля**
- **Уголок из гнутого профиля (в том числе Л-профиля)**
- **Фасон квадратного и прямоугольного сечения**

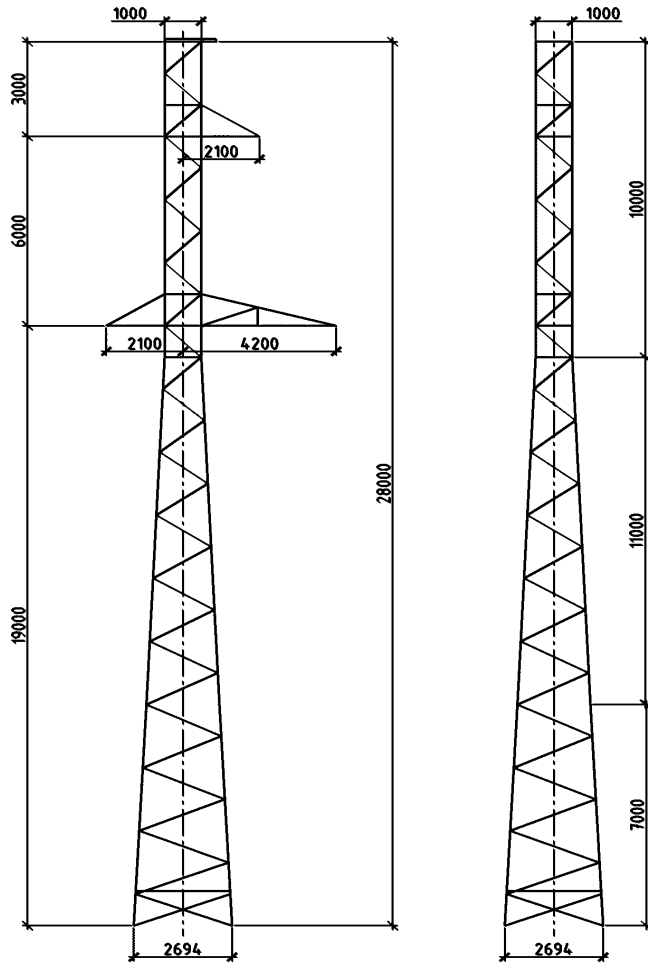
**Пути экономии при строительстве и эксплуатации:**

- **Отказ от оцинковки – сокращение стоимости до 30%**
- **Новые схемы опор – сокращение массы на 20 – 40%**

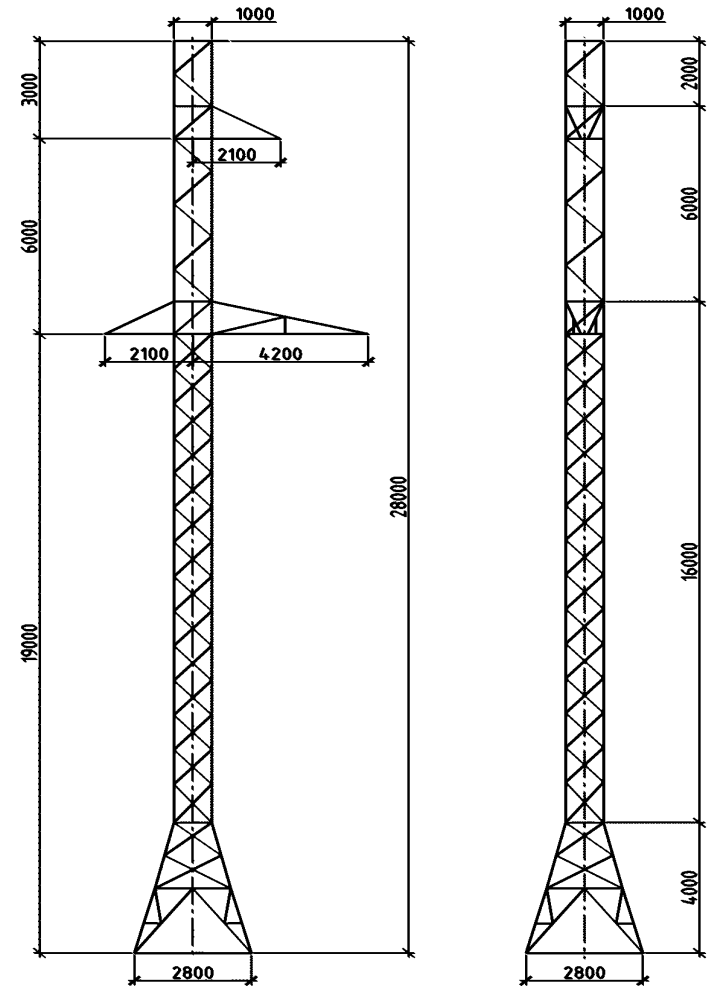
## Разработка опор ВЛ 110 кВ из высокопрочной и атмосферостойкой сталей **уголкового профиля** (Евраз)

- 1. Расчёт типовых опор на соответствие требованиям ПУЭ-7  
(изначально рассчитанных на ПУЭ-5 и ПУЭ-6)**
  - \* из стали Ст3
  - \* из стали С245
  - \* из сталей повышенной прочности С390 (С440)
- 2. Оптимизация геометрии опор для минимизации массы  
конструкции при использовании высокопрочной стали**
  - \* расчеты модернизированных опор из стали С390, С345
- 3. Технико-экономическое сравнение вариантов**
  - \* модернизированных опор с типовыми конструкциями

## Промежуточные опоры ВЛ 110 кВ

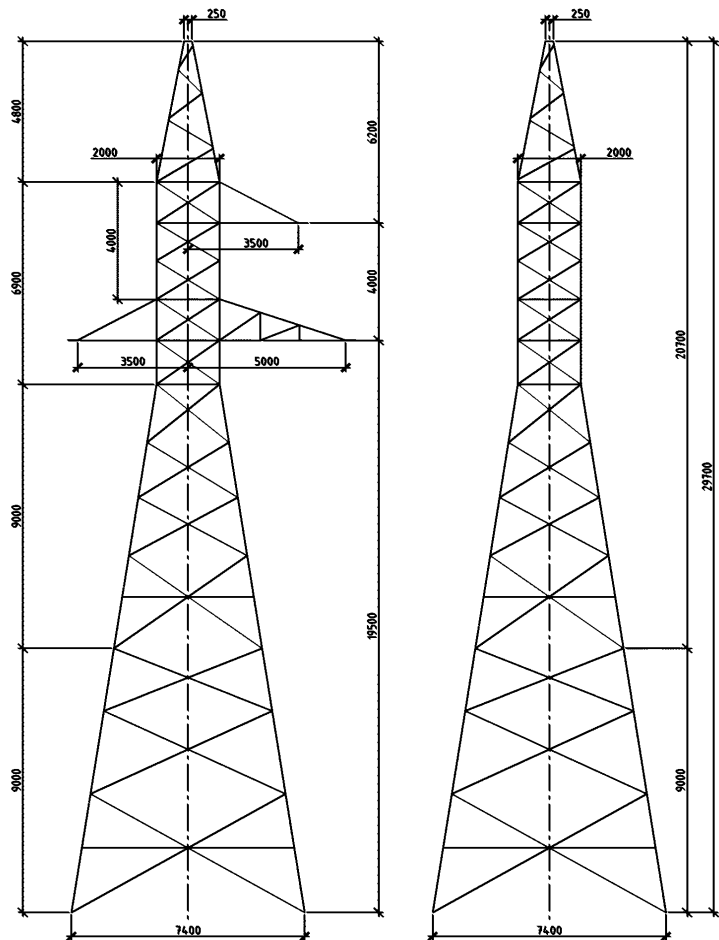


**PI110-5B** типовая,  
инв № 11520ТМ-Т.1

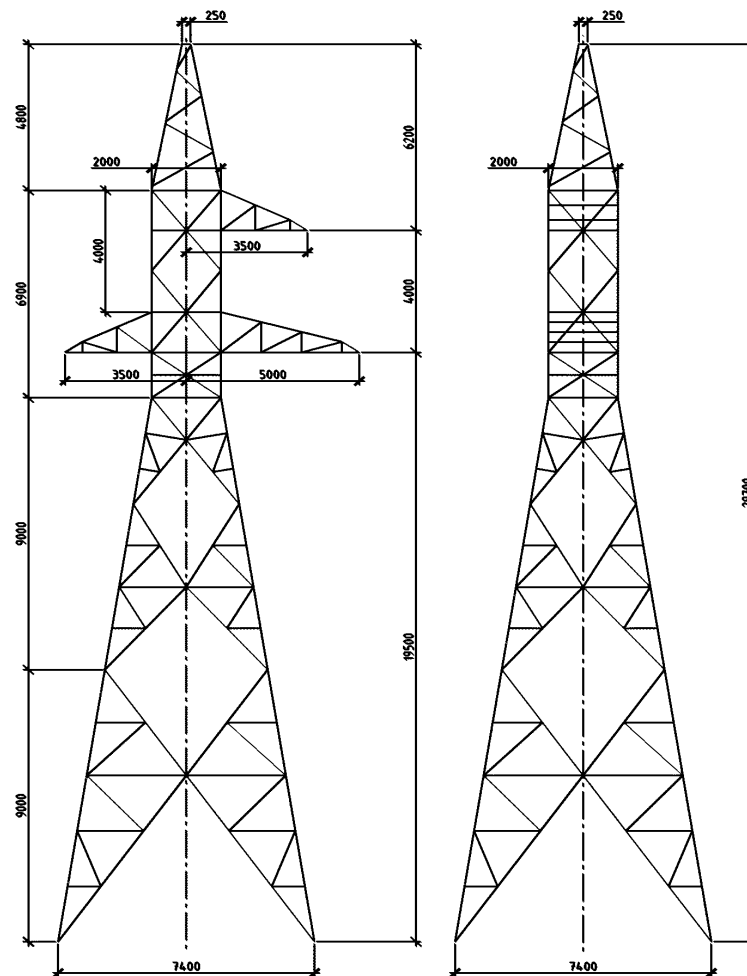


**PI110-5BM**  
с модернизированной решёткой

## Анкерно-угловые опоры ВЛ 110 кВ



Типовая **У110-1+9**  
инв № 3078ТМ-Т.10



**У110-1+9М**  
с модернизированной решёткой





## Сравнительный анализ промежуточных опор П110-5В и П110-5ВМ

Марка опоры		П110-5В			П110-5ВМ	
Нормы для расчёта		ПУЭ-5 (6)	по действующим нормам – ПУЭ-7			
Геометрия решётки		типовая			модернизированная	
Сталь		Ст3	С245	С390	С390	атмосферостойкая С345
Масса	стальные уголки, кг	2187	2003	1939	1718	1773
	изменение массы, %	-	<b>-8,4%</b>	<b>-11,3%</b>	<b>-21,4%</b>	<b>-18,9%</b>
Стоимость, тыс. руб.	стальных уголков	109	100	104	92	102
	изготовления металлоконструкций	44	40	39	34	36
	горячей оцинковки	52	47	46	40	не требуется
	итоговая	<b>204</b>	<b>187</b>	<b>188</b>	<b>167</b>	<b>137</b>
Изменение стоимости, тыс.руб.		-	-17	-16	-38	-67
Изменение стоимости, %		-	<b>-8,4%</b>	<b>-8%</b>	<b>-18,5%</b>	<b>-32,8%</b>





## Сравнительный анализ анкерных опор У110-1+9 и У110-1+9М

Марка опоры		У110-1+9			У110-1+9М	
Нормы для расчёта		ПУЭ-5 (6)	по действующим нормам – ПУЭ-7			
Геометрия решётки		типовая			модернизированная	
Сталь		Ст3	С245	С390	С390	атмосферостойкая С345
Масса	стальные уголки, кг	6844	5759	5529	4530	4675
	изменение массы, %	-	<b>-15,8%</b>	<b>-19,2%</b>	<b>-33,8%</b>	<b>-31,7%</b>
Стоимость, тыс. руб.	стальных уголков	342	288	296	242	269
	изготовления металлоконструкций	137	115	111	91	94
	горячей оцинковки	161	135	130	106	не требуется
	итоговая	<b>640</b>	<b>539</b>	<b>537</b>	<b>440</b>	<b>362</b>
Изменение стоимости, тыс.руб.		-	-101	-103	-200	-278
Изменение стоимости, %		-	<b>-15,8%</b>	<b>-16,2%</b>	<b>-31,3%</b>	<b>-43,4%</b>

## Экономический эффект от использования модернизированных опор 110 кВ

Нормы для расчёта		ПУЭ-5 (6)	по действующим нормам – ПУЭ-7			
Геометрия решётки		типовая			модернизированная	
<b>СТОИМОСТЬ</b> МК из уголков, тыс. руб.	Сталь	<b>Ст3</b>	<b>С245</b>	<b>С390</b>	<b>С390</b>	<b>атмосферо- стойкая С345</b>
	для анкерной опоры	639,9	538,5	536,6	439,4	362,3
	для промежуточной опоры	204,5	187,4	188,1	166,7	137,4
	на анкерный участок (1,63 км)	1457,9	1288,1	1289	1106,2	911,9
	на 1 км ВЛ	894,4	790,2	790,8	678,7	559,4
<b>ЭКОНОМИЯ</b> в сравнении с типовыми опорами	на 1 км ВЛ, тыс. руб.	-	<b>104</b>	<b>104</b>	<b>216</b>	<b>335</b>
	на 1 км ВЛ, %	-	<b>11,6%</b>	<b>11,6%</b>	<b>24,1%</b>	<b>37,5%</b>
	на объектах ПАО «Россети» (1160 км/год), тыс. руб.	-	121 000	120 000	250 000	389 000

## Технико-экономическое обоснование разработки новых опор ВЛ 110 кВ из уголкового профиля

1. Модифицированные опоры из стали С390 легче типовых опор на **21-34%**. За счёт этого их стоимость ниже на **19-31%**
2. Модифицированные опоры из атмосферостойкой стали С345 (14ХГНДЦ) легче типовых опор на **19-32%**, при этом отсутствуют затраты на горячее цинкование. За счёт этого их стоимость ниже на **33-43%**
3. Применение модернизированных опор на строящихся ВЛ 110 кВ позволяет экономить до **37,5%**

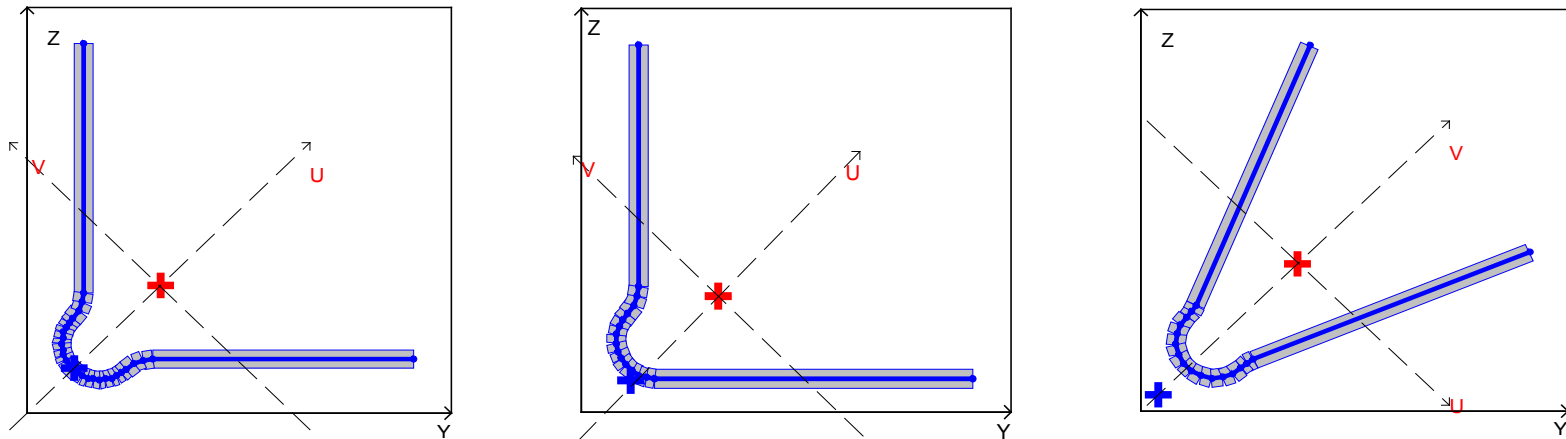
Стали С345 и С390 имеют сопоставимый эффект по изменению массы, поэтому новые опоры ВЛ целесообразно разрабатывать из стали **С345 в оцинкованном или атмосферостойком исполнении**

## Гнутый уголковогой профиль с развитым обушком – $\Lambda$ -профиль (Северсталь)

Более развитый обушок у гнутых профилей ведет к увеличению характеристик уголка в направлении наименьшей жесткости (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко)

Опора ЛЭП выполненная из гнутых элементов имеет массу на 5% ниже, чем аналогичная конструкция из прокатных элементов.

Дополнительная экономия – за счет новых схем опор

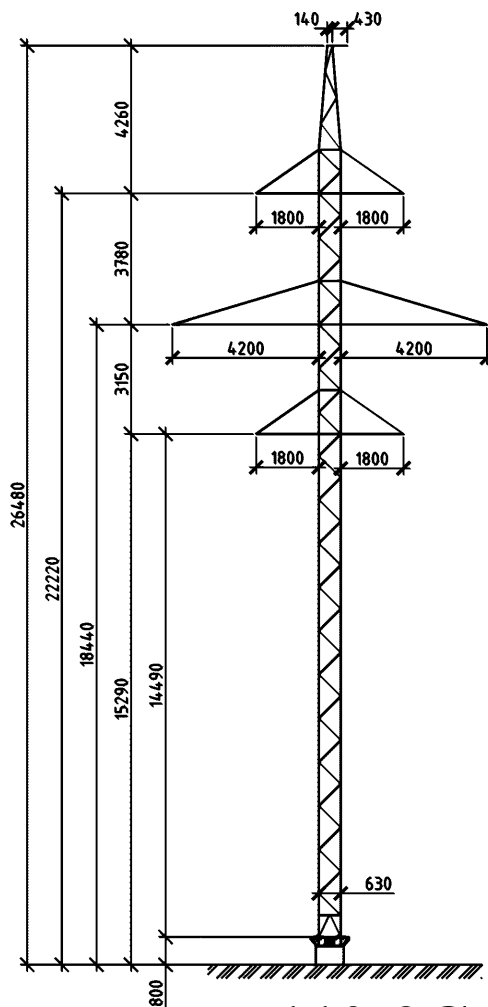


$\Lambda$ -профиль. Общий вид

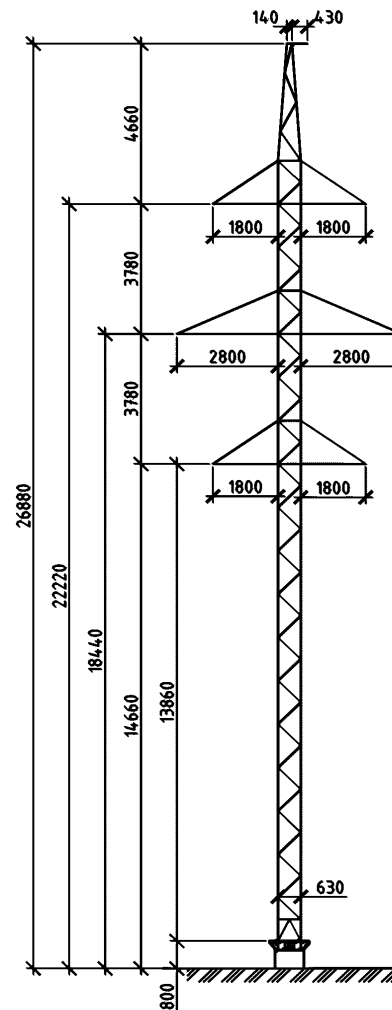
## Разработка опор ВЛ 110 кВ из высокопрочной и атмосферостойкой стали **квадратного профиля** (Северсталь)

- 1. Эскизная разработка двух линеек промежуточных и анкерных двухцепных опор**  
на условия: ветер - 2й район, гололед – 3й район.  
\* - для проводов «обычной» прочности  
АС240/32, АСку 240/32, АСТ 185/29 – опоры П110-2С и У110-2С  
\* - для высокопрочных проводов  
АСВП 258/74 П, АСВТ 190/55 П – опоры П110-4С и У110-4С
- 2. Выбор оптимальной геометрии опор для минимизации массы металла на 1 км ВЛ:**  
для разных вариантов высоты подвески выбранных типов проводов определены пролеты, собраны нагрузки, определены усилия, вычислена масса опор
- 3. Технико-экономическое сравнение**  
новых опор с решетчатыми и многогранными типовыми конструкциями

## Промежуточные опоры ВЛ 110 кВ

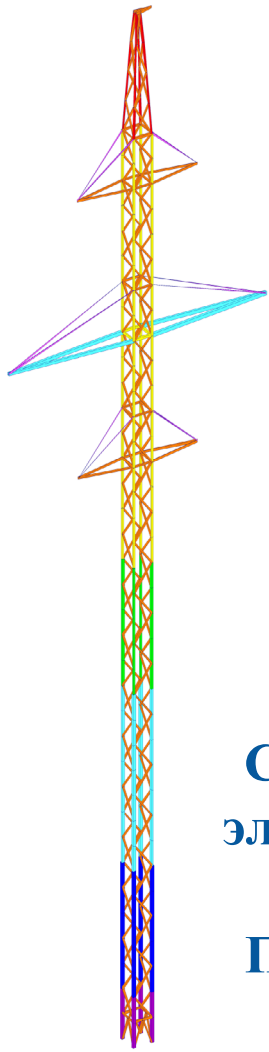


**П110-2С**



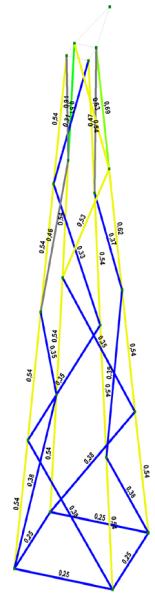
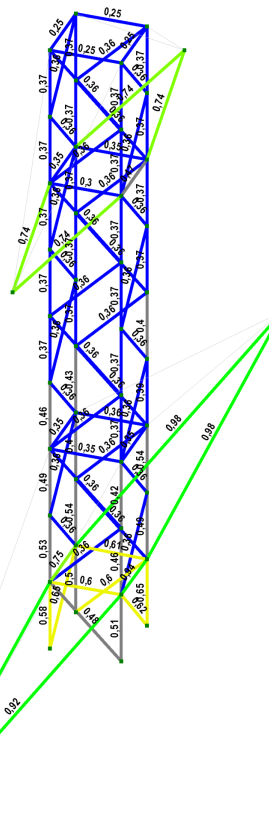
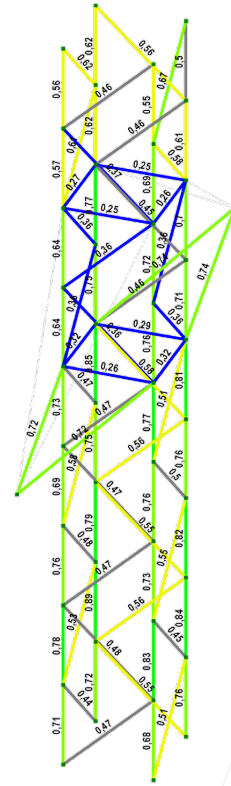
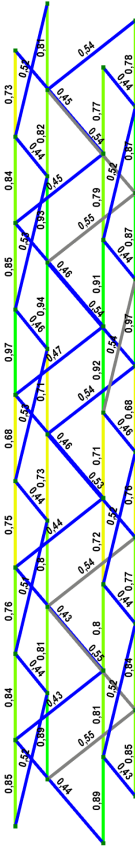
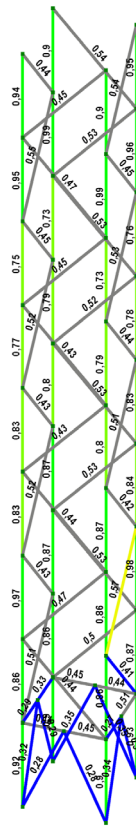
**П110-4С** для высокопрочных проводов

# Расчёт промежуточных опор



- 1. 100x7
- 2. 90x6
- 3. 80x5
- 4. 70x4
- 5. 60x4
- 6. 50x4
- 7. 45x4
- 8. 16.0

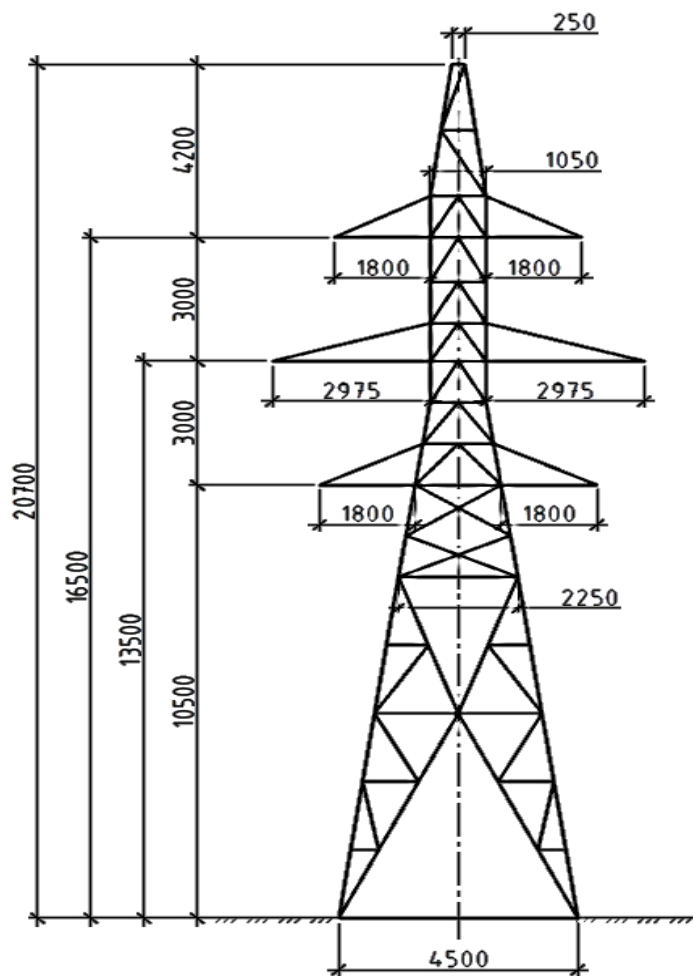
## Сечения элементов опоры П110-2С



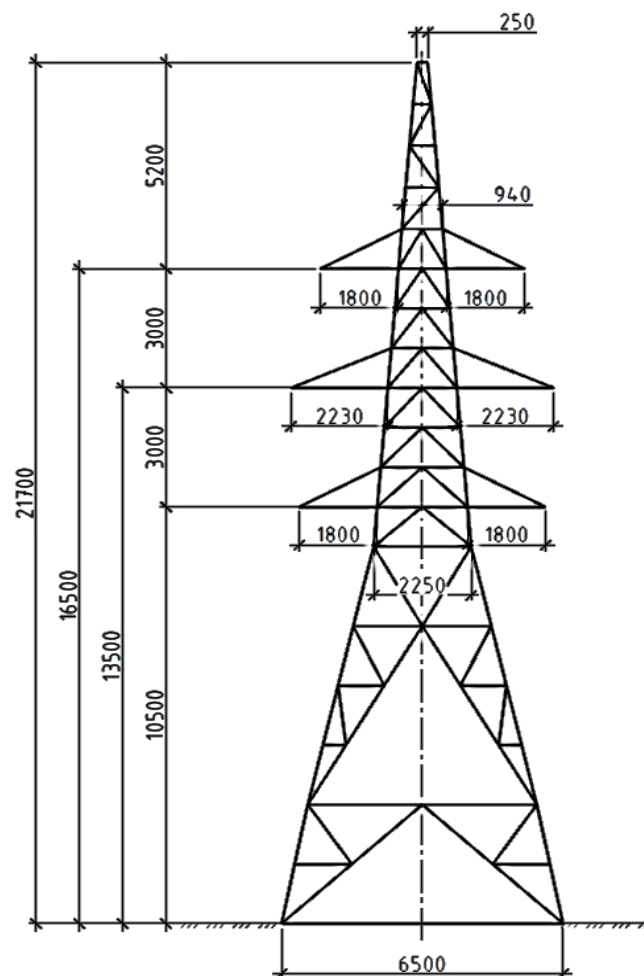
## Коэффициенты использования сечений опоры П110-2С



## Анкерно-угловые опоры ВЛ 110 кВ

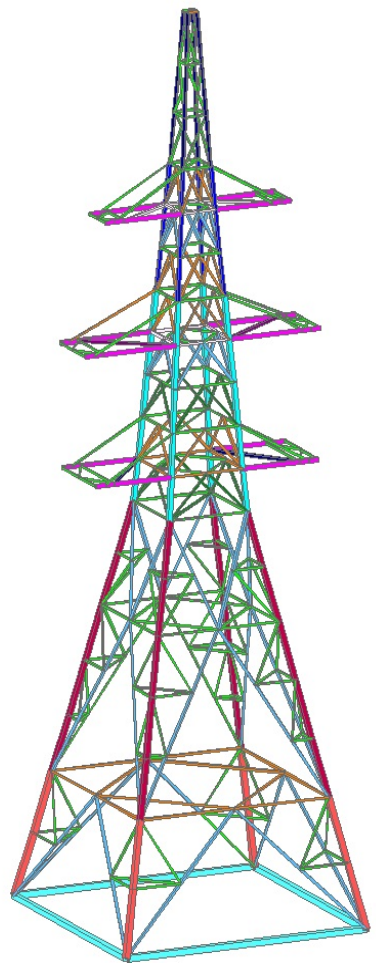


**У110-2С**



**У110-4С** для высокопрочных проводов

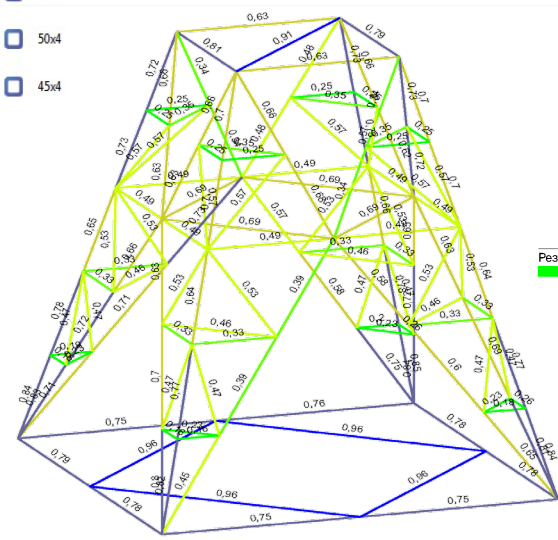
# Расчёт анкерно-угловых опор



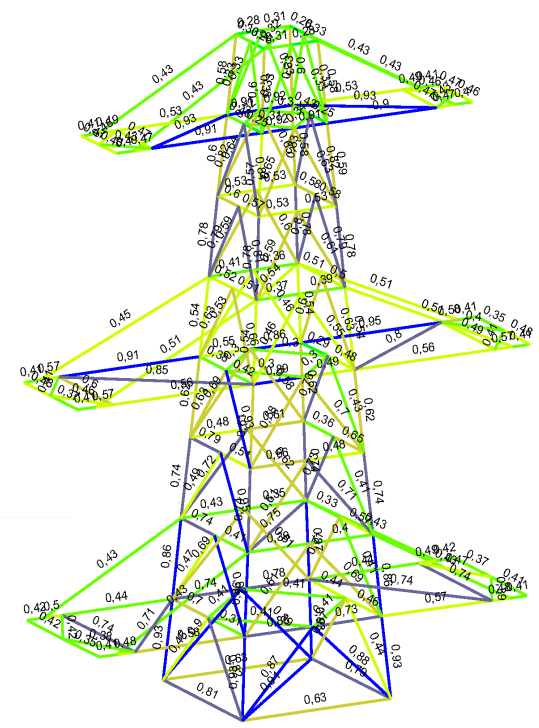
**Сечения элементов опоры У110-4С**

- 1. ■ □ 140x8
- 2. ■ □ 140x6
- 3. ■ □ 120x9
- 4. ■ □ 110x6
- 5. ■ □ 100x60x5
- 6. ■ □ 80x5
- 7. ■ □ 70x5
- 8. ■ □ 70x4
- 9. ■ □ 60x5
- 10. ■ □ 60x4
- 11. ■ □ 50x5
- 12. ■ □ 50x4
- 13. ■ □ 45x4

## Коэффициенты использования сечений опоры У110-4С



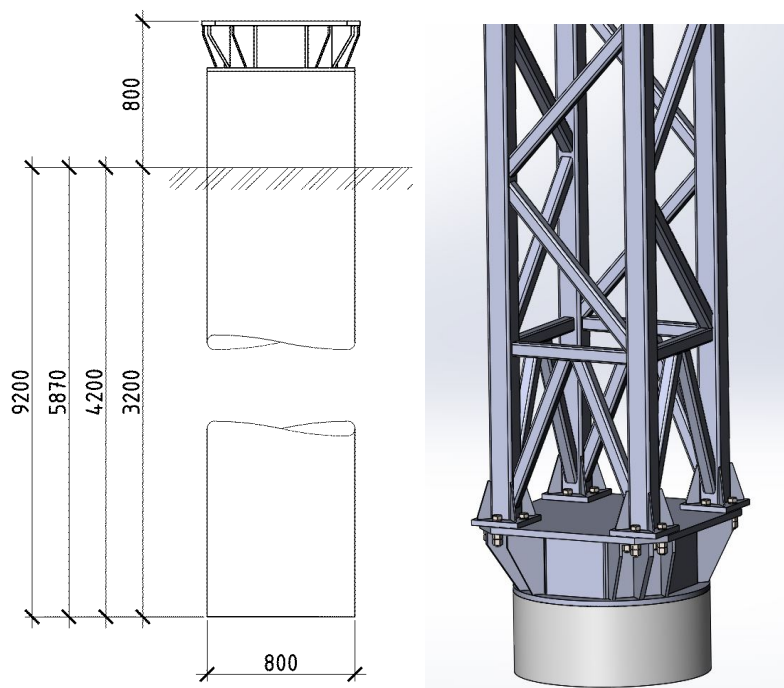
Результаты экспертизы Критический фактор Kmax  
■ 0.16 ■ 0.3 ■ 0.3 ■ 0.44 ■ 0.58 ■ 0.58 ■ 0.71 ■ 0.71 ■ 0.85 ■ 0.85 ■ 0.99



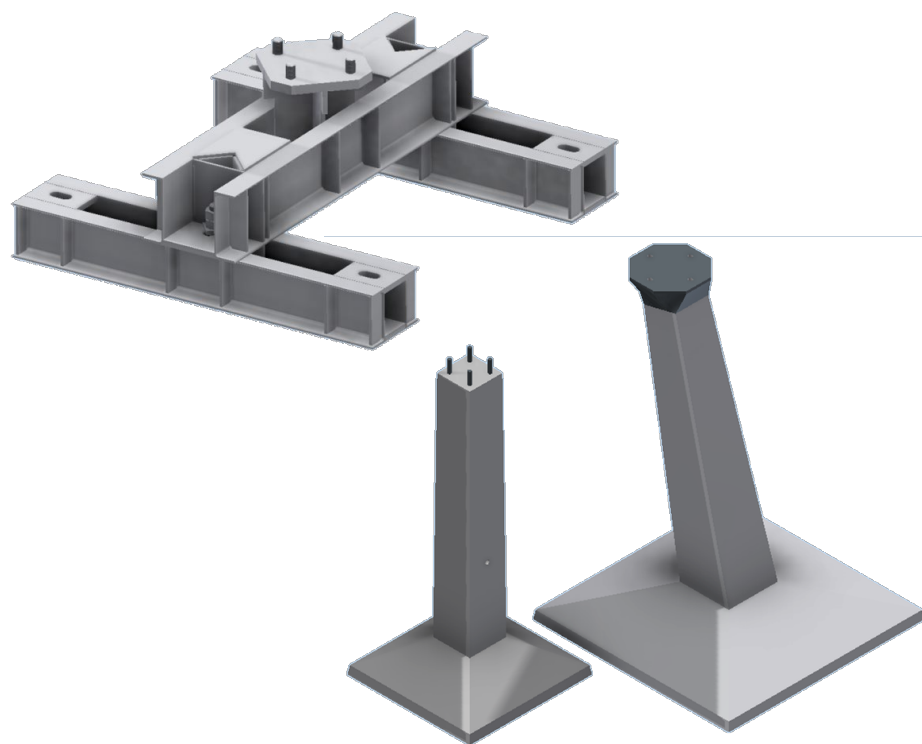
Результаты экспертизы Критический фактор Kmax  
■ 0.16 ■ 0.3 ■ 0.3 ■ 0.44 ■ 0.58 ■ 0.58 ■ 0.71 ■ 0.71 ■ 0.85 ■ 0.85 ■ 0.99

## Фундаменты

Для промежуточных опор:  
свая-оболочка



Для анкерно-угловых опор:  
грибовидные подножки  
и свайные основания



## Транспортировка

Разбивка опор на секции  
сделана таким образом, чтобы  
однотипные элементы могли  
соединяться между собой  
и вкладываться друг в друга  
для компактной погрузки  
элементов в автотранспорт  
(13,6 × 2,5 м)

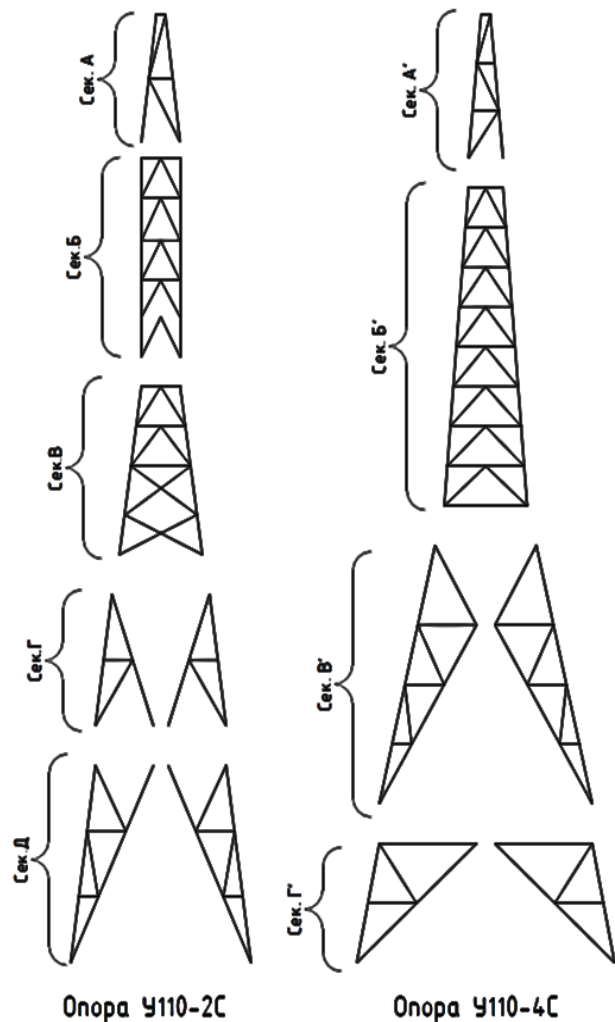
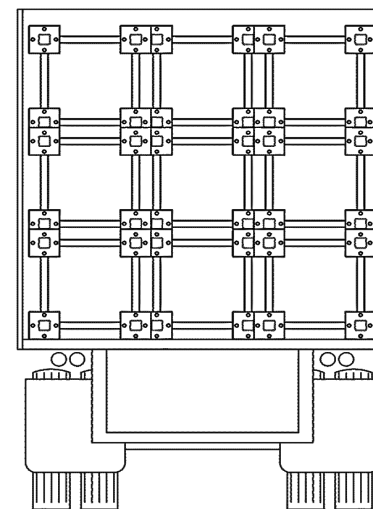
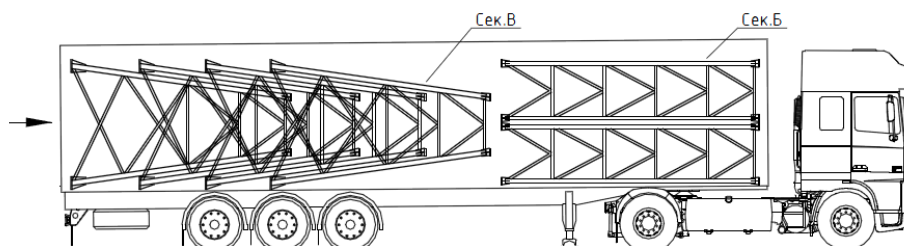
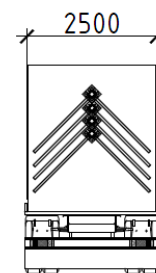
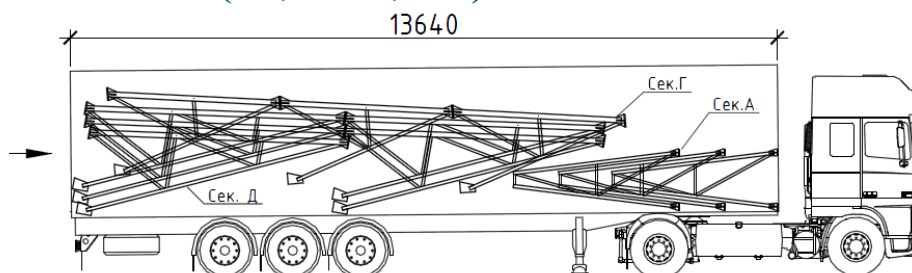


Схема разбивки тел опор



Вид А



Вид Б

## Сравнительный анализ опор для проводов АС240/32, АСку 240/32, АСТ 185/29

Тип опоры		промежуточные			анкерно-угловые	
Марка опоры		П110-4В	ПМ110-2Ф	П110-2С	У110-2	У110-2С
Геометрия решётки		типовая	многогран.	новая	типовая	новая
Сталь		С245	С345	14ХГНДЦ класс 345	С245	14ХГНДЦ класс 345
Масса	сталь (в т.ч. метизы), кг	3191	2713	2233	7696	4415
	изменение массы, %	143	121	100	174	100
Защита от коррозии		цинк	цинк	не требуется	цинк	не требуется
Стоимость, тыс. руб.		291,8	376,3	206,3	704,2	407,9
Изменение стоимости, тыс.руб.		+85,5	+170,0	–	+296,3	–
Стоимость, %		<b>141%</b>	<b>182%</b>	<b>100%</b>	<b>173%</b>	<b>100%</b>

В расчётах принята следующая стоимость:

1. Труба профильная из атмосферостойкой стали С345 (14ХГНДЦ) –54,4 тыс. руб./т.
2. Изготовление металлоконструкций – 38,0 тыс. руб./т.

Стоимости типовых опор приняты на основании анализа текущих цен на Интернет-ресурсах



## Сравнительный анализ опор для высокопрочных проводов АСВП 258/74 II, АСВТ 190/55 II

Тип опоры		промежуточные			анкерно-угловые	
Марка опоры		П110-4В	ПМ110-2Ф	П110-4С	У220-2	У110-4С
Геометрия решётки		типовая		новая	типовая	новая
Сталь		С245	С345	14ХГНДЦ класс 345	С245	14ХГНДЦ класс 345
Масса	сталь (в т.ч. метизы), кг	3191	2713	2325	14378	6251
	изменение массы, %	137	116	100	230	100
Защита от коррозии		цинк	цинк	не требуется	цинк	не требуется
Стоимость, тыс. руб.		291,8	376,3	214,8	1318,3	577,6
Изменение стоимости, тыс.руб.		+77,0	+161,5,5	–	+740,7	–
Стоимость, %		<b>136%</b>	<b>175%</b>	<b>100%</b>	<b>228%</b>	<b>100%</b>

В расчётах принята следующая стоимость:

1. Труба профильная из атмосферостойкой стали С345 (14ХГНДЦ) –54,4 тыс. руб./т.
2. Изготовление металлоконструкций – 38,0 тыс. руб./т.

Стоимости типовых опор приняты на основании анализа текущих цен на Интернет-ресурсах



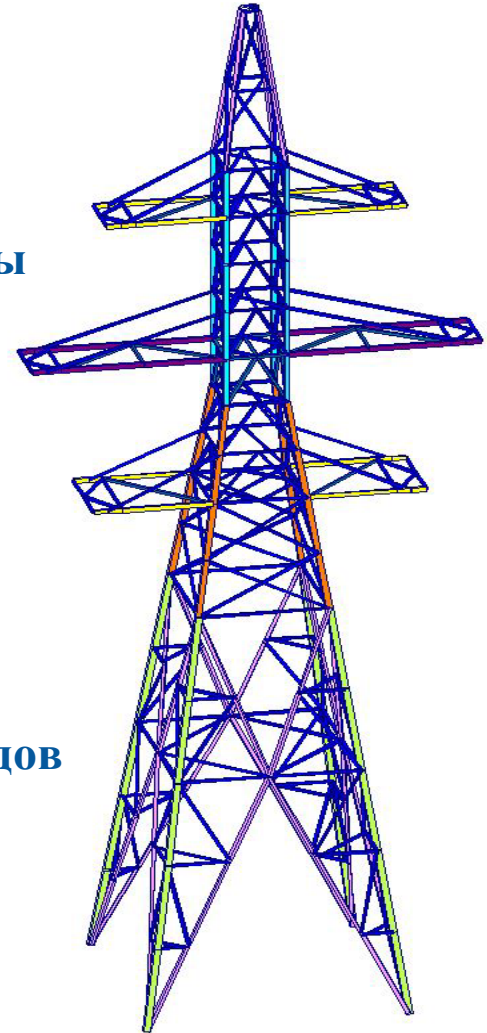
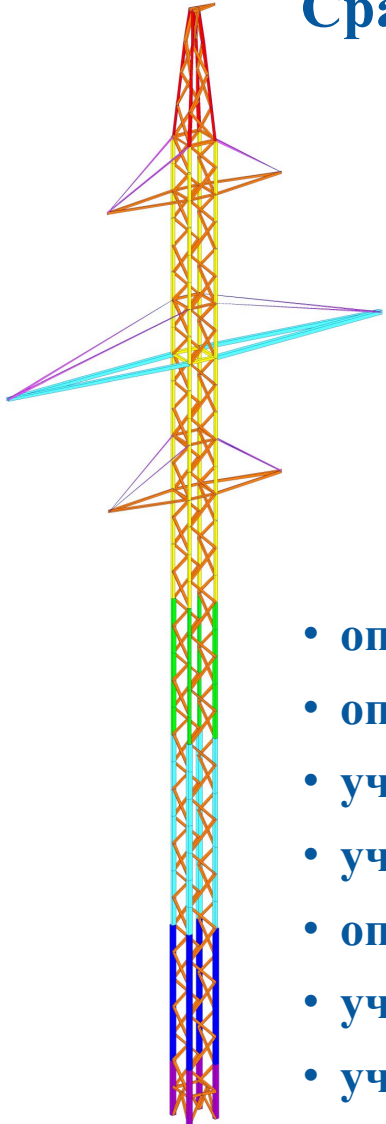


## Сравнение стоимости одного километра ВЛ для выбранных типов проводов

Для оценки стоимости 1 км ВЛ  
рассматривается анкерный участок,  
состоящий из одной анкерно-угловой опоры  
и пяти промежуточных

Для каждого типа провода:

- определены расчетные пролеты
- определены длины анкерных участков
- учтены затраты на монтаж опоры
- учтена стоимость линейной арматуры и проводов
- определены типы фундаментов
- учтена стоимость конструкции фундаментов
- учтена стоимость установки фундаментов





## Сравнительный анализ стоимости участка ВЛ с проводом АС240/32

Тип опор	Решётчатые		Многогранные		Из профильных труб	
Марки опор	П110-4В	У110-2	ПМ110-2Ф	У110-2	П110-2С	У110-2С
Пролёт, м	295	240	295	240	245	215
Длина анкерного участка, м	1715		1715		1440	
Стоимость опоры, т.р.	291,8	704,2	376,3	704,2	206,3	407,9
Стоимость монтажа опоры, т.р.	52	125	6	125	6	52
Стоимость линейной арматуры, т.р.	63	150	63	150	63	150
Стоимость провода, т.р./км	156,4					
Тип фундамента	Ф4-2	Ф4-А	СО720.12-5	Ф4-А	СЦФ50.80.4-1	Ф4-А
Стоимость фундаментов, т. р.	138,2	244,0	166,0	244,0	83	244,0
Установка фундаментов, т.р.	42	63	21	63	21	63
Стоимость анкерного участка, т.р.	5025,9		5252,4		3489,0	
Стоимость 1 км ВЛ, т.р.	2930,5		3062,6		2423,0	
<b>Изменение стоимости 1 км ВЛ,%</b>	<b>+ 21%</b>		<b>+ 26%</b>		<b>0,0</b>	

**Стоимость строительства 1 км ВЛ 110 кВ**  
**с использованием опор из квадратного профиля**  
**в зависимости от используемых проводов**

Марка провода	Стоимость 1 км ВЛ, тыс.руб.	Разница в стоимости 1 км ВЛ, в %
<b>АС240/32</b>	2423,0	<b>+ 3,0%</b>
<b>АСку 240/32</b>	2351,3	—
<b>АСТ 185/29</b>	2577,2	<b>+9,6%</b>
<b>АСВП 258/74 II</b>	2403,5	<b>+2,2%</b>
<b>АСВТ 190/55 II</b>	2380,2	<b>+1,2%</b>

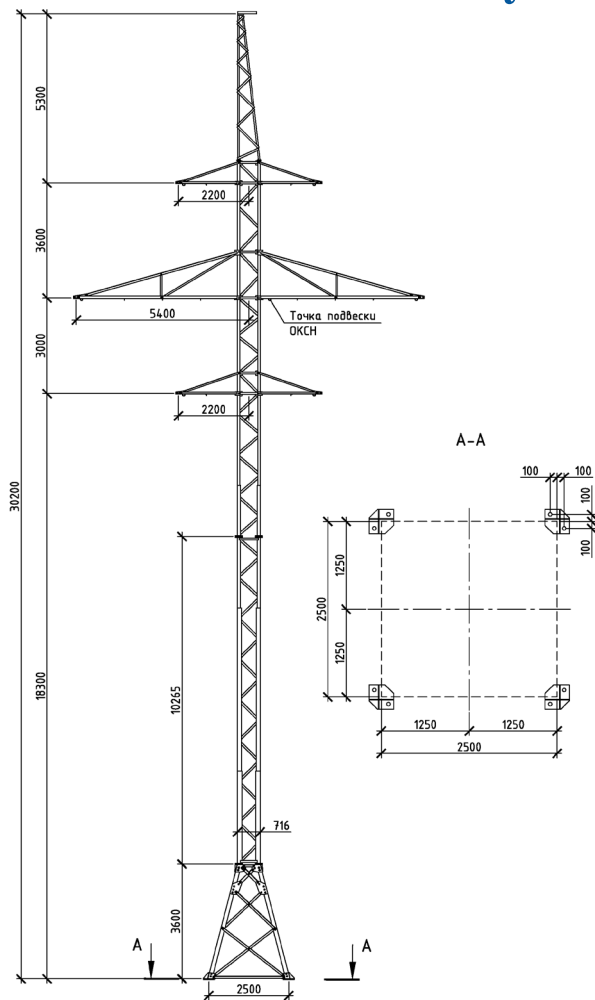
## Результаты оптимизации опор ВЛ 110 кВ из квадратного профиля

1. Впервые разработан эскизный проект промежуточных и анкерных опор ВЛ 110 кВ из квадратного профиля в сварном варианте
2. Для расчетов опор выбраны инновационные провода, обладающие сопоставимой пропускной способностью с проводом АС240/32
3. Анкерные и промежуточные опоры разработаны для подвески двух линеек проводов: обычной и повышенной прочности
4. На основании серии расчетов нескольких вариантов схем опор в сочетании с выбранными проводами произведен выбор оптимальных шпренгельных конструкций, масса и стоимость которых на 1 км минимальна
5. Узкобазые промежуточные опоры устанавливаются на один трубчатый фундамент. Широкобазые анкерные – на четыре фундамента
6. Размеры сварных секций обеспечивают возможность их компактной перевозки и быстрой сборки на пикете
7. Конструкции могут изготавливаться из обычной и атмосферостойкой стали класса прочности С345. Горячая оцинковка в случае использования стали 14ХГНДЦ не требуется

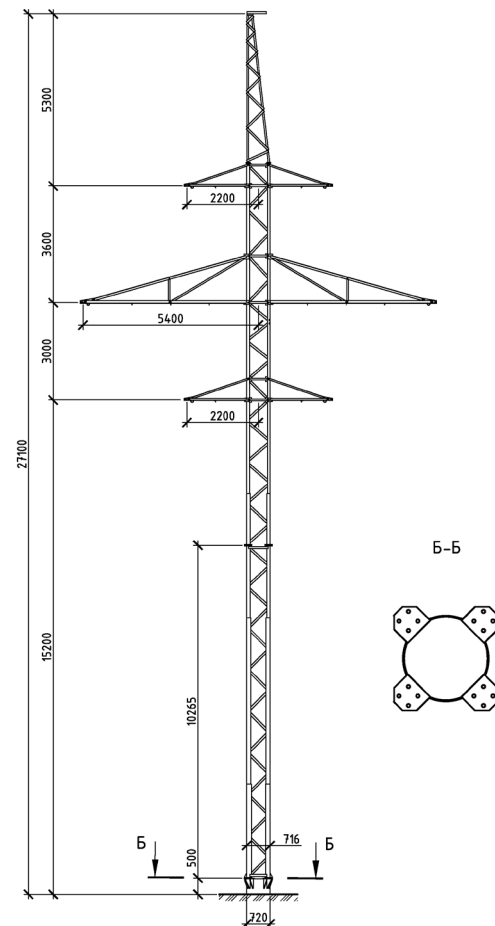
## Технико-экономическое обоснование разработки новых опор ВЛ 110 кВ из квадратного профиля (сравнение с опорами из уголкового и многогранного профиля)

1. Масса новых промежуточных опор сократилась в **1,2 – 1,4** раза
2. Масса новых анкерных опор сократилась в **1,7 – 2,3** раза
3. Стоимость 1 км ВЛ на новых опорах из атмосферостойкой стали для всех марок проводов сокращается в **1,24 - 1,46** раза
4. Стоимость 1 км ВЛ при использовании проводов обычной и повышенной прочности **сопоставима**

## Схемы промежуточных опор ВЛ 110 кВ для нужд нефтегазовой компании



**П110-2Р+3,6**



**П110-2Р**

## Сравнительный анализ опор ВЛ напряжением 110 кВ

Тип опоры	промежуточные		
Марка опоры	1П110-6У	П110-2Р	П110-2Р+3,6
Геометрия решётки	типовая	новая	новая
Сталь	С345	14ХГНДЦ класс 345	14ХГНДЦ класс 345
Масса стали, кг	4136	2130	2810
Защита от коррозии	цинк	не требуется	не требуется
Стоимость, тыс. руб.	579	277	365
Изменение стоимости опор, %	<b>+109%</b>	<b>0,0</b>	<b>+32%</b>

В расчётах принята следующая стоимость:

1. Сталь С345 80,0 тыс. руб./т
2. Атмосферостойкая сталь 14ХГНДЦ – 92,0 тыс. руб./т
3. Изготовление металлоконструкций опоры 1П110-6У – 25,0 тыс. руб./т
4. Изготовление металлоконструкций опоры 1П110-6У – 38,0 тыс. руб./т
5. Горячее цинкование – 35,0 тыс. руб./т

## Сравнительный анализ разницы стоимости участка ВЛ

Марки опор	1П110-6У	П110-2Р	П110-2Р+3,6
Пролёт, м	255	185	220
Кол-во опор на 1 км	3,92	5,41	4,55
Стоимость опоры, тыс. руб.	579,0	276,9	365,3
Стоимость монтажа опоры, тыс. руб.	74	21	32
Тип фундамента	8 219×8×12	СО720.9-6	8 219×8×11
Масса стали на фундамент, кг	4400	1100	4024
Стоимость фундаментов, тыс. р.	396,0	110	362,2
Стоимость установки фундаментов, т. р.	62	26	58
Стоимость 1 км ВЛ, тыс. руб.	4355	2347	3720
Изменение стоимости 1 км ВЛ, %.	<b>+ 85%</b>	<b>0,0</b>	<b>+ 60%</b>

В расчётах принята следующая стоимость:

1. Фундаменты из забивных труб – 90 тыс. руб./т
2. Фундамент из сваи-оболочки с учётом антикоррозионного покрытия – 100 тыс. руб./т
3. Стоимости монтажных работ приняты экспертно



## Экономическая эффективность разработки новых опор ВЛ 110 кВ

Напряжение ВЛ	Профиль стали	Экономия на 1 км ВЛ, руб.
110 кВ	уголковый	335 000
	квадратный	450 000 – 1 100 000

Для массового внедрения новых опор в энергетическое строительство необходима разработка  
**новых опор ВЛ 110 кВ**  
**из атмосферостойких сталей современных профилей**

## Сочетание уголкового и квадратного профиля в конструкциях



**По всем интересующим Вас вопросам,  
ОБРАЩАЙТЕСЬ К НАШИМ СПЕЦИАЛИСТАМ!**

**Касаткин Сергей Петрович,**

**начальник сектора**

**[s.p.kasatkin@nilkes.ru](mailto:s.p.kasatkin@nilkes.ru)**



**Научно-исследовательская лаборатория конструкций  
электросетевого строительства (НИЛКЭС)**

**Санкт-Петербург**

**8 (812) 309-39-61**

**[www.nilkes.ru](http://www.nilkes.ru)**