

**Разработка эскизных проектов
решётчатых опор 110-220 кВ
с применением фасона
из сталей повышенной прочности С390 и С440
и атмосферостойкой стали С345-14ХГНДЦ**

**V международная научно-практическая конференция
«ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ УМНЫХ СЕТЕЙ:
ИННОВАЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ»**

04-06 июля 2018

Касаткин Сергей Петрович – нач. сектора НИЛКЭС

«ЕВРАЗ Холдинг» освоил производство уголкового проката из новых марок стали.

Уголок из стали повышенной прочности **C390 и C440**
на **7%** дороже обычной стали,
но с учётом механических характеристик
позволяет снизить металлоемкость решётчатых опор ЛЭП.

Уголок из атмосферостойкой стали **14ХГНДЦ**
на **15%** дороже обычной стали,
но позволяет сделать решётчатые опоры необслуживаемыми –
отсутствует необходимость в покраске и оцинковке.

Данная продукция имеет все необходимые сертификаты и включена
в нормативно - техническую документацию по проектированию
определенную «Перечнем национальных стандартов и сводов правил»
согласно Постановлению Правительства №1521 от 26.12.2014.

В рамках данной работы решены следующие задачи:

1. Расчёт типовых опор на соответствие требованиям ПУЭ-7

(изначально рассчитанных на ПУЭ-5 и ПУЭ-6)

- из стали С245
- из стали 14ХГНДЦ (класс прочности 345)
- из сталей повышенной прочности С390 (С440)

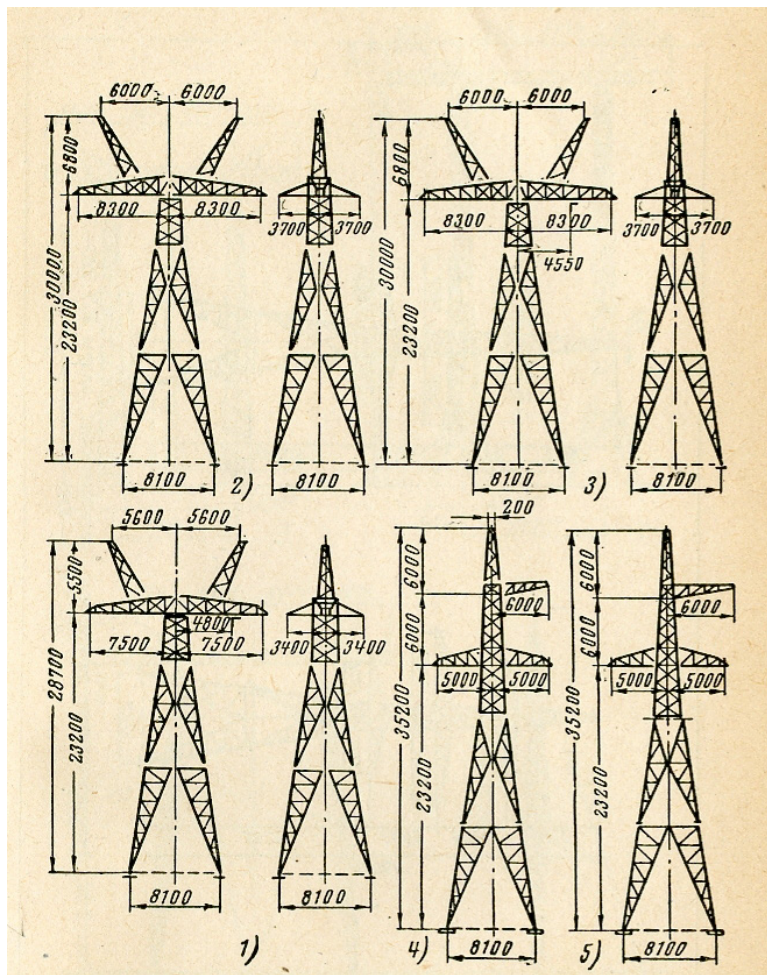
2. Оптимизация геометрии решётки опор с целью минимизации массы конструкции при использовании высокопрочной и атмосферостойкой сталей

- расчёты модернизированных опор из стали С390 и 14ХГНДЦ (6 вариантов геометрических схем)

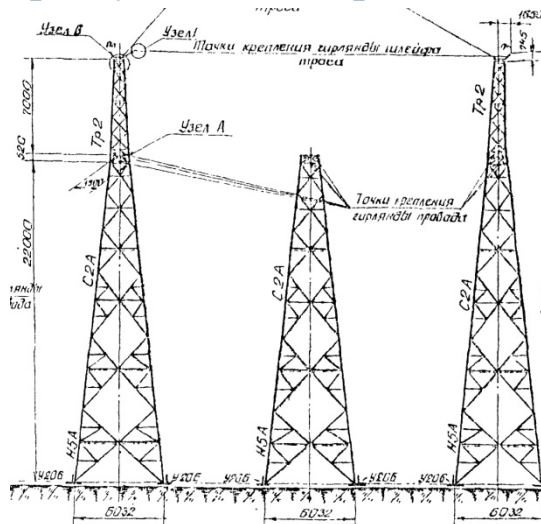
3. Технико-экономическое сравнение вариантов опор

- промежуточные ВЛ 110 кВ
- анкерно-угловые ВЛ 110 кВ
- промежуточные ВЛ 220 кВ

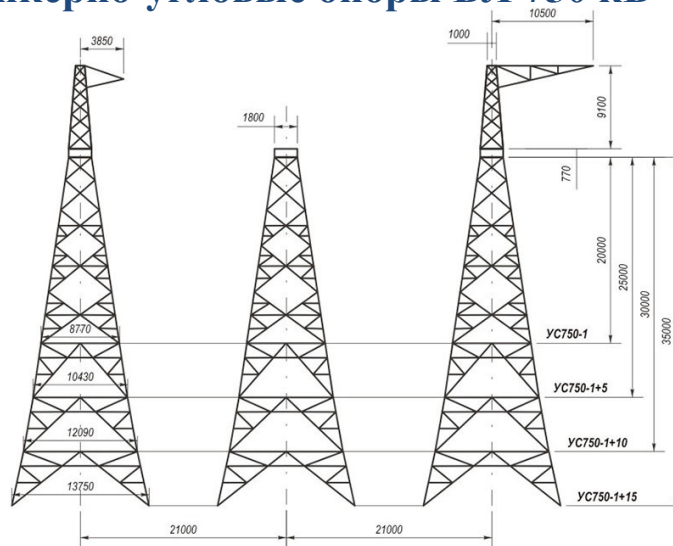
Анкерно-угловые опоры ВЛ 220-330 кВ



Анкерно-угловые опоры ВЛ 500 кВ



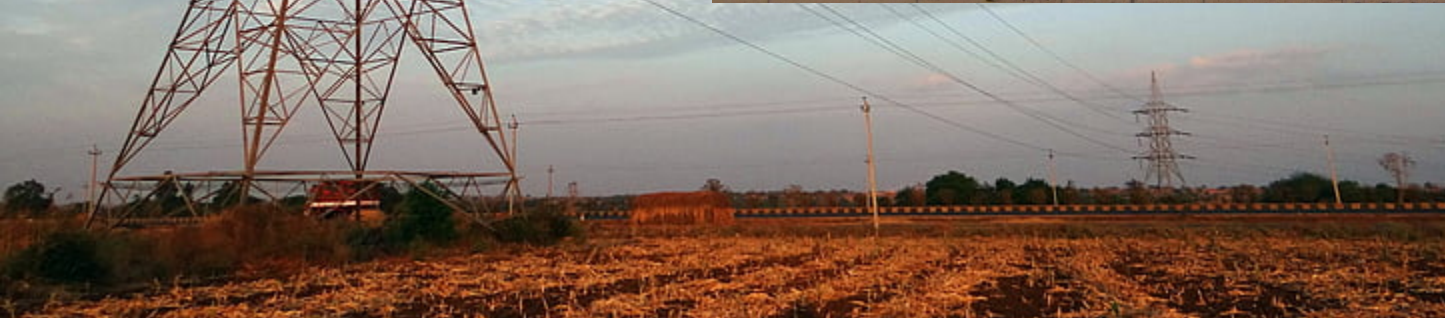
Анкерно-угловые опоры ВЛ 750 кВ



Примеры шпренгельных систем опор ВЛ иностранной разработки



Примеры шпренгельных систем опор ВЛ иностранной разработки

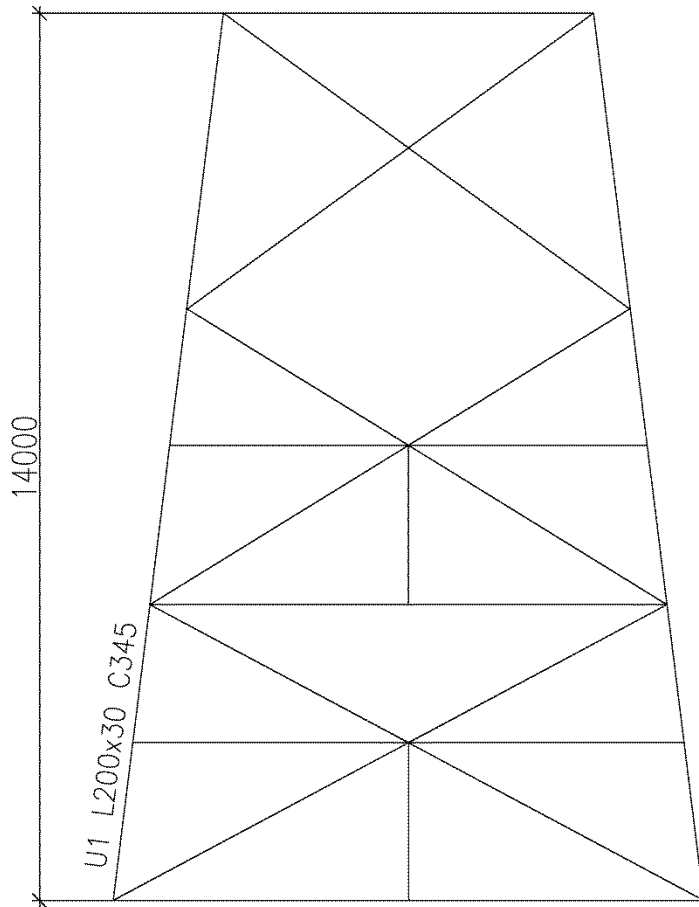


Примеры шпренгельных систем опор ВЛ иностранной разработки



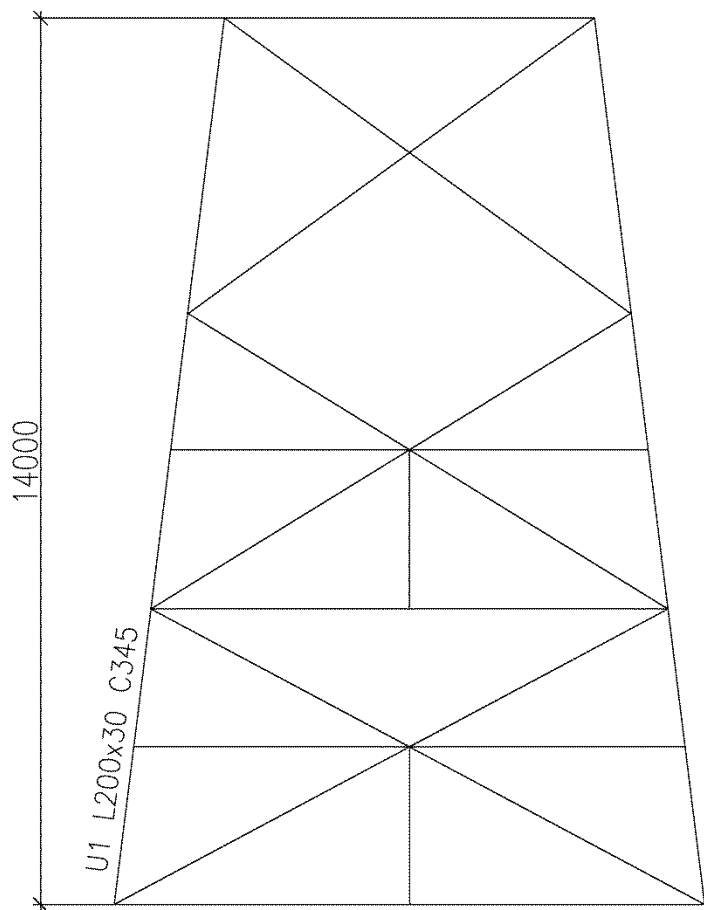
Пример конструкции решётки подставки Н=14 м опоры У330-2+14

Расчетная схема по проекту
3.407-99 СЗ0 "ЭСГ"



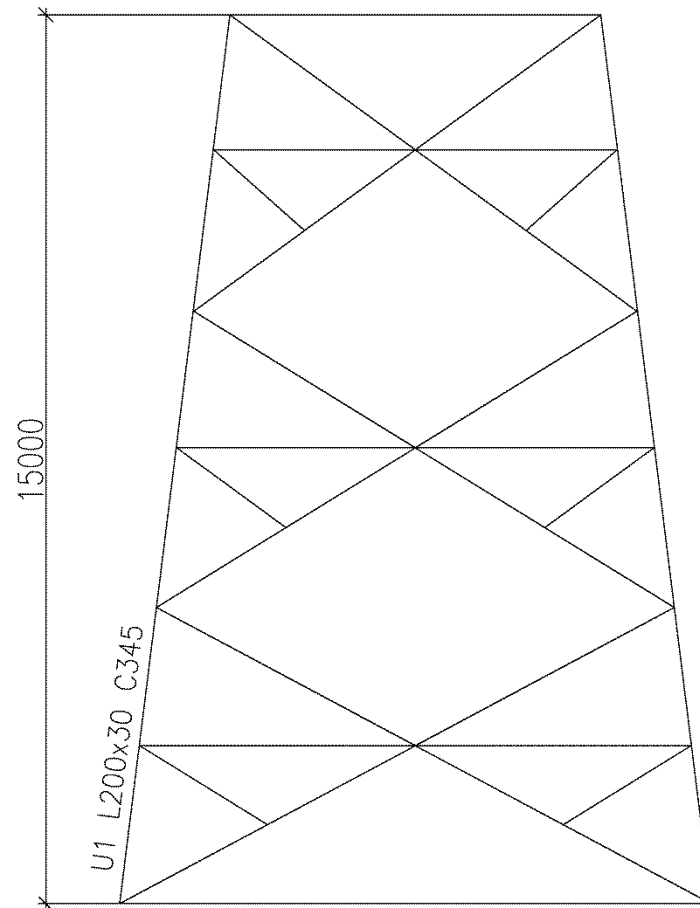
Пример конструкции решётки подставки Н=14 м опоры У330-2+14

Расчетная схема по проекту
3.407-99 С30 "ЭСР"



1970 г.

Расчетная схема по проекту
3.407.2-166.1 С30 "ЭСР"

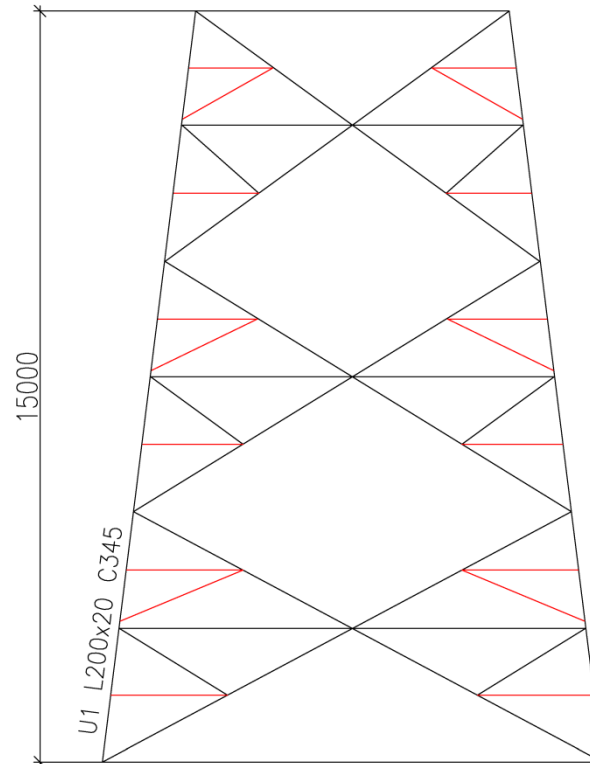
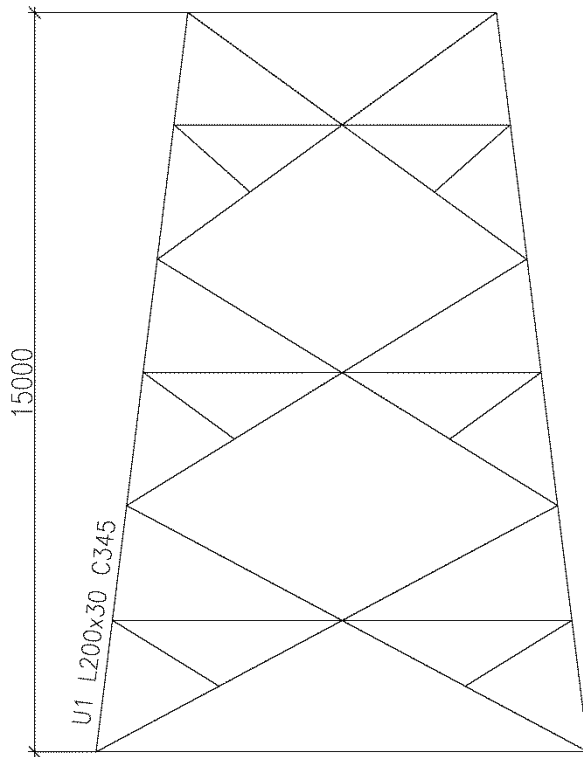


1990 г.

Пример конструкции решётки подставки Н=14 м опоры У330-2+14

Расчетная схема по проекту
3.407.2-166.1 С30 "ЭСП"

Доработанная расчетная схема с
с развитой шпренгельной решеткой



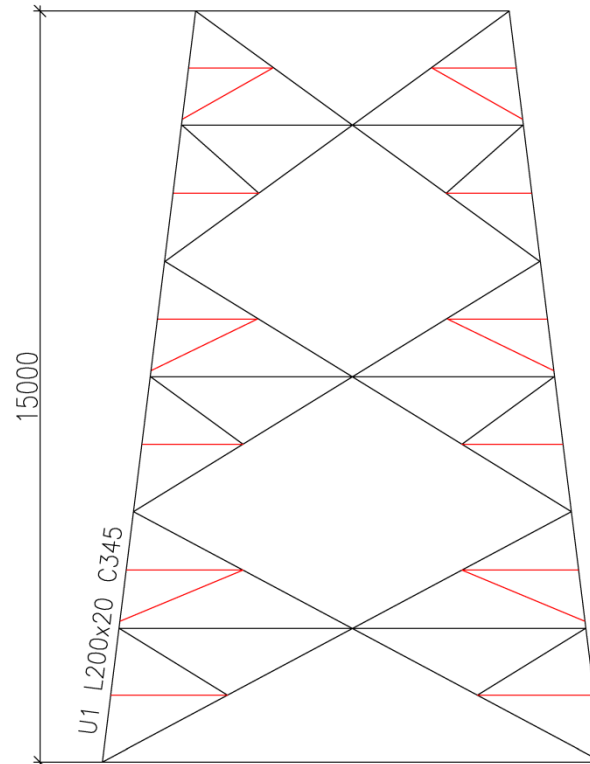
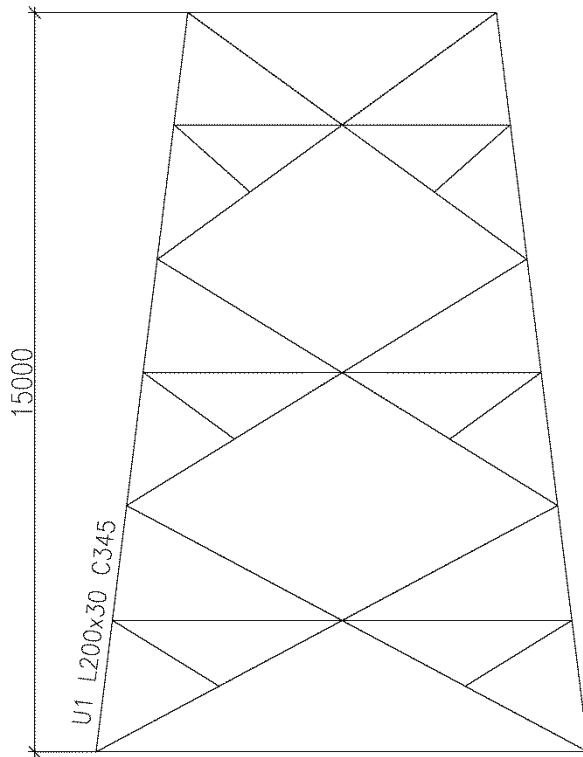
**Уменьшение
массы на 1060 кг**

Пример конструкции решётки подставки Н=14 м опоры У330-2+14

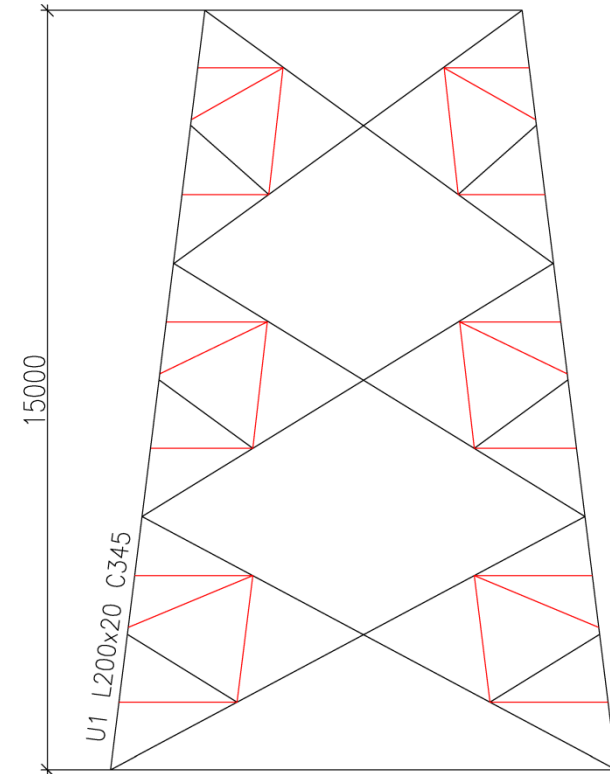
Расчетная схема по проекту
3.407.2-166.1 С30 "ЭСП"

Доработанная расчетная схема с
с развитой шпренгельной решеткой

Доработанная расчетная схема с
с развитой шпренгельной решеткой

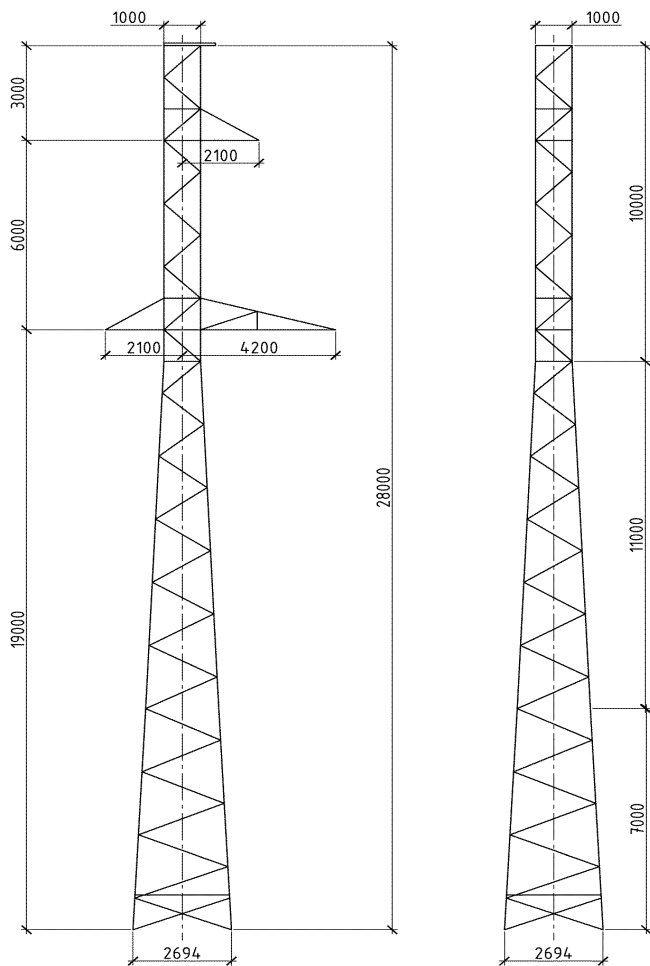


**Уменьшение
массы на 1060 кг**

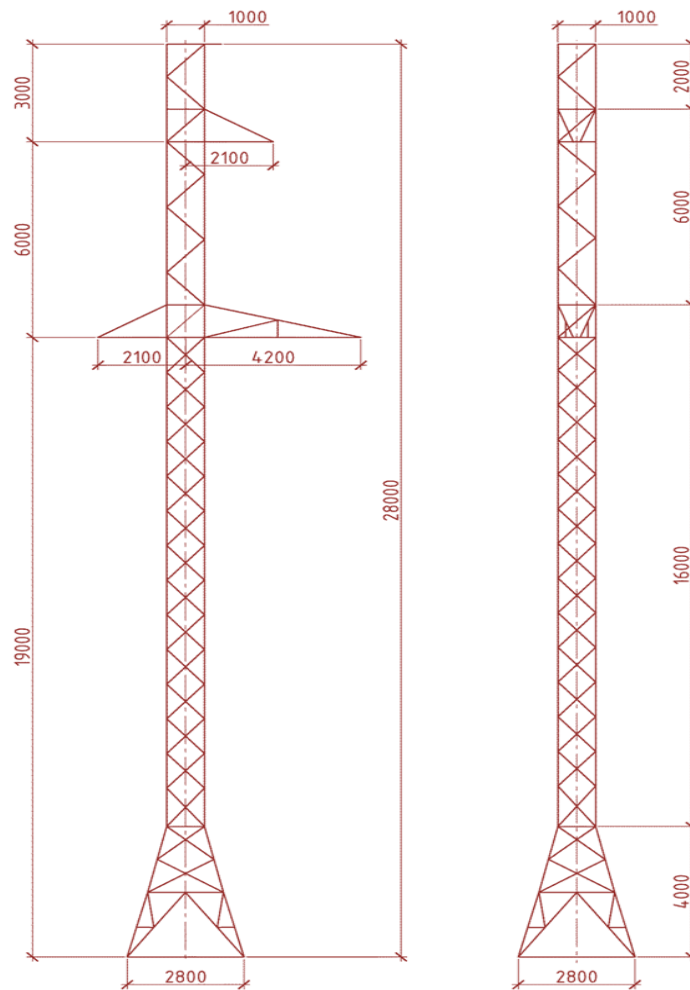


**Уменьшение
массы на 2445 кг**

Промежуточные опоры ВЛ 110 кВ

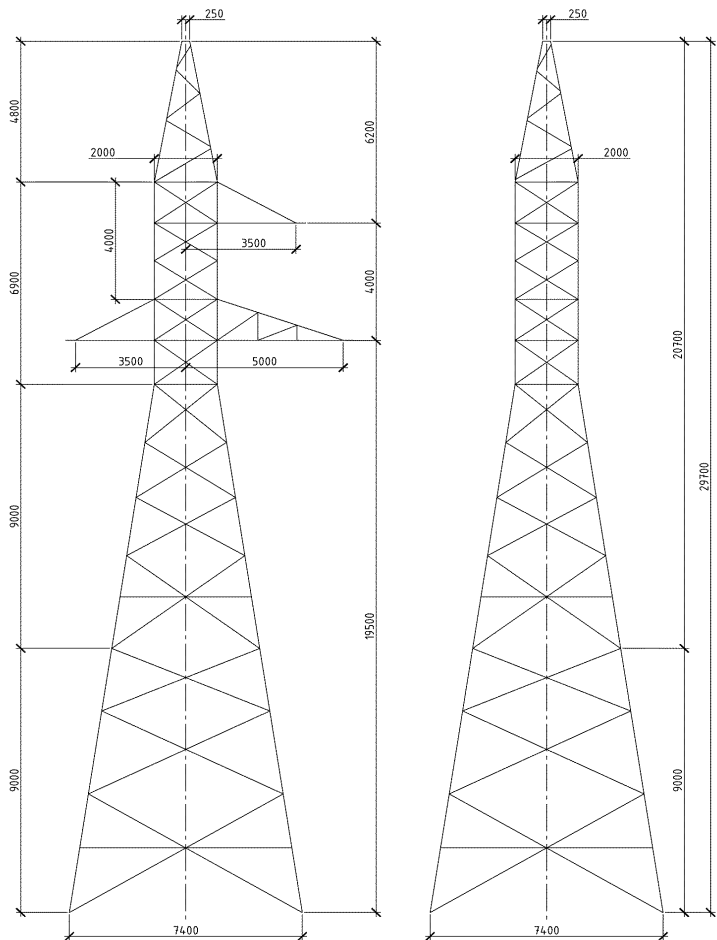


П110-5В типовая,
инв № 11520ТМ-Т.1

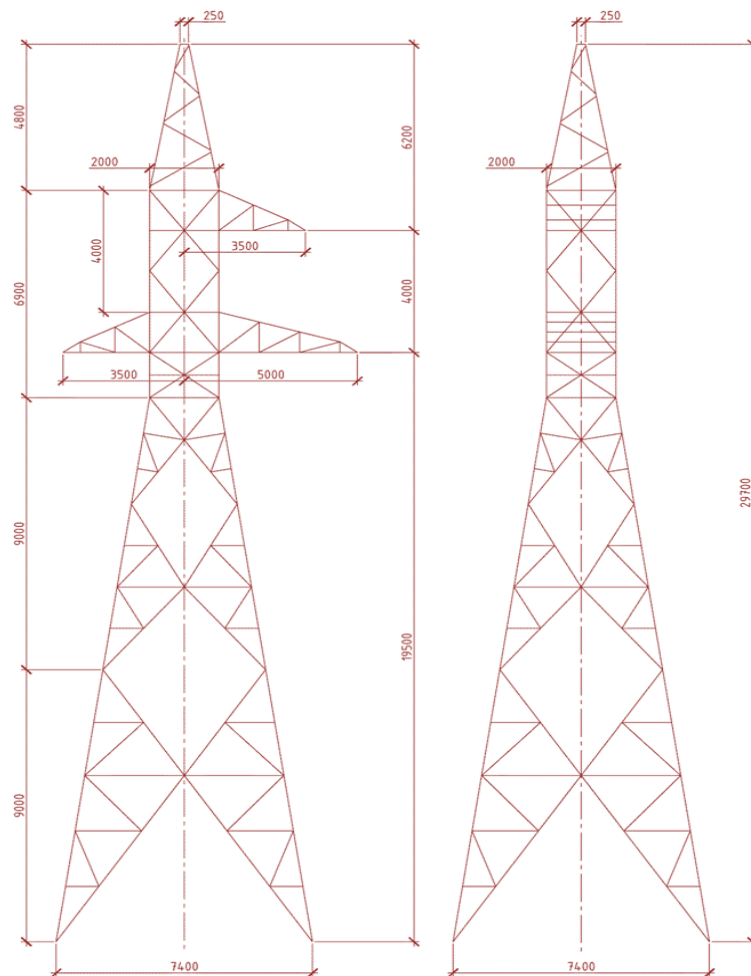


П110-5ВМ
с модернизированной решёткой

Анкерно-угловые опоры ВЛ 110 кВ

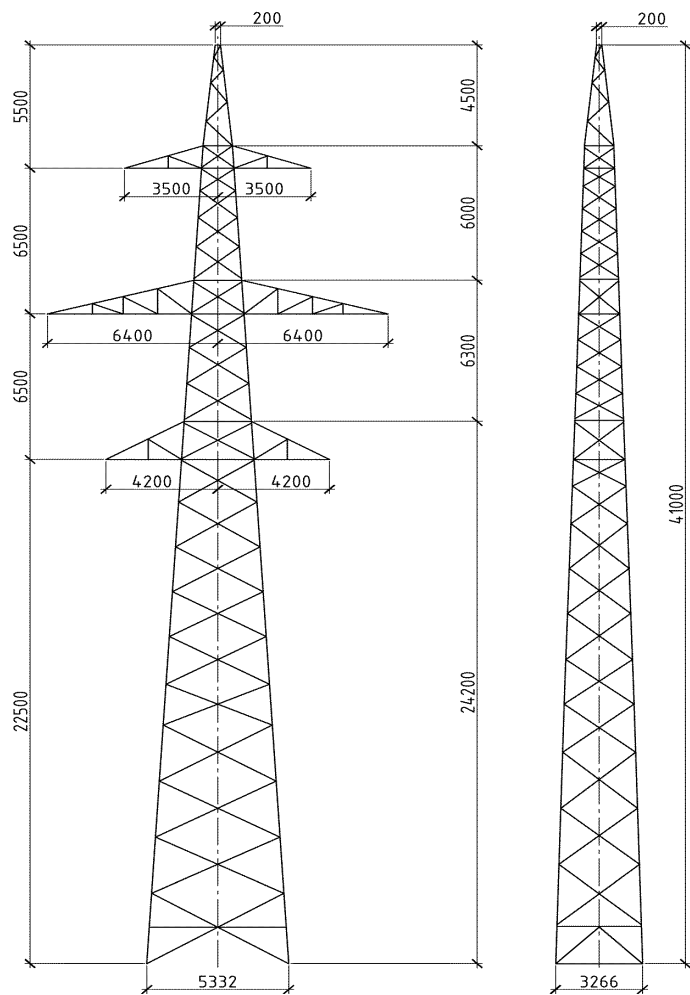


Типовая **У110-1+9**
инв. № 3078ТМ-Т.10

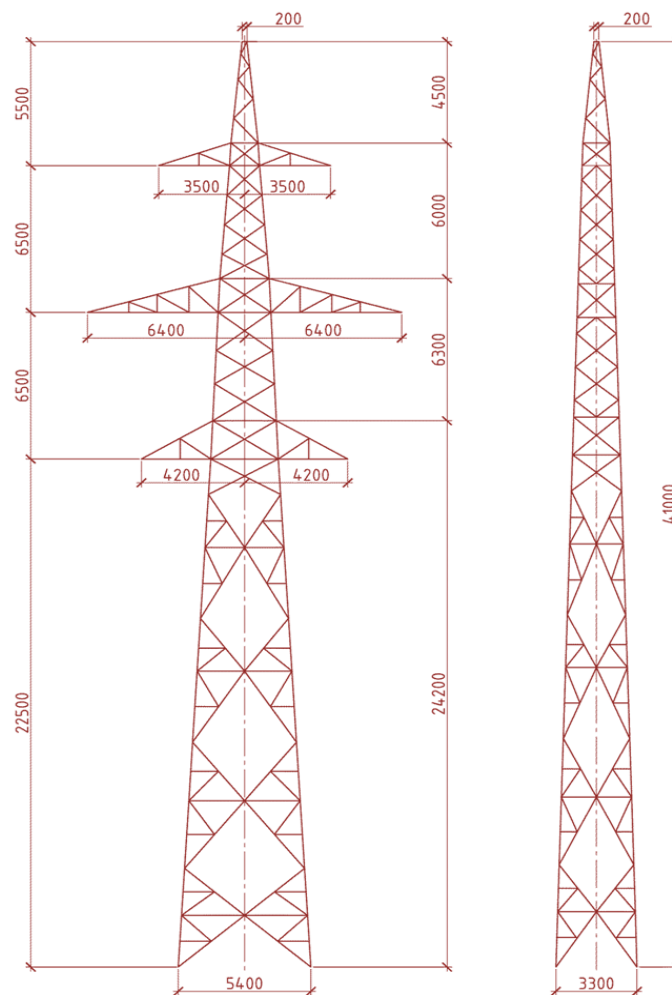


У110-1+9М
с модернизированной решёткой

Промежуточные ВЛ 220 кВ



Типовая П220-2
инв № 3080тм – т.6



П220-2М
с модернизированной решёткой

Сравнительный анализ типовых и модернизированных опор

Исходные данные:

1. Стоимости приняты на основании анализа текущих цен на интернет-ресурсах.
 - Уголок из стали Ст3 и С245 – 50 тыс. руб./т.
 - Уголок из стали С390 – $50 \times 1,07 = 53,5$ тыс. руб./т.
 - Уголок из атмосферостойкой стали С345 (14ХГНДЦ) – $50 \times 1,15 = 57,5$ тыс. руб./т.
 - Изготовление металлоконструкций – 20 тыс. руб./т.
 - Горячее цинкование – 23,5 тыс. руб./т.

2. Объёмы внедрения модернизированных опор 110 кВ – порядка 1160 км в год
(на основании «Инвестиционной программы ПАО «Россети» на период 2016-2020 гг.»)

Сравнительный анализ 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, % | - | -8,4% | -11,3% | -21,4% | -18,9% |
| 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 | 204 | 187 | 188 | 167 | 137 |
| Изменение стоимости, тыс.руб. | | - | -17 | -16 | -38 | -67 |
| Изменение стоимости, % | | - | -8,4% | -8% | -18,5% | -32,8% |

Сравнительный анализ 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, % | - | -15,8% | -19,2% | -33,8% | -31,7% |
| 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 | 640 | 539 | 537 | 440 | 362 |
| Изменение стоимости, тыс.руб. | | - | -101 | -103 | -200 | -278 |
| Изменение стоимости, % | | - | -15,8% | -16,2% | -31,3% | -43,4% |

Сравнительный анализ опор П220-2 и П220-2М

| Марка опоры | | П220-2 | | | П220-2М | |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 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 | 5242 | 5000 | 4746 | 4466 | 4526 |
| | изменение массы, % | - | -4,6% | -9,5% | -16,7% | -15,5% |
| Стоимость, тыс. руб. | стальных уголков | 262 | 250 | 254 | 239 | 260 |
| | изготовления металлоконструкций | 105 | 100 | 95 | 89 | 91 |
| | горячей оцинковки | 123 | 118 | 112 | 105 | не требуется |
| | итоговая | 490 | 468 | 460 | 433 | 351 |
| Изменение стоимости, тыс.руб. | | - | -23 | -30 | -57 | -140 |
| Изменение стоимости, % | | - | -4,6% | -6,1% | -11,6% | -28,4% |

Экономический эффект от использования модернизированных опор 110 кВ

| Нормы для расчёта | | ПУЭ-5 (6) | по действующим нормам – ПУЭ-7 | | | |
|---|--|------------|-------------------------------|----------------|-------------------|------------------------------|
| Геометрия решётки | | типовая | | | модернизированная | |
| СТОИМОСТЬ МК из уголков, тыс. руб. | Сталь | Ст3 | С245 | С390 | С390 | атмосферостойкая С345 |
| | 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 |
| ЭКОНОМИЯ в сравнении с типовыми опорами | на 1 км ВЛ, тыс. руб. | - | 104 | 104 | 216 | 335 |
| | на 1 км ВЛ, % | - | 11,6% | 11,6% | 24,1% | 37,5% |
| | на объектах ПАО «Россети» (1160 км/год), тыс. руб. | - | 121 000 | 120 000 | 250 000 | 389 000 |

Выводы по результатам оптимизации

1. Модифицированные опоры из стали С390 легче типовых опор на 17-34%. За счёт этого их стоимость ниже на 12-31%.
2. Модифицированные опоры из атмосферостойкой стали С345 (14ХГНДЦ) легче типовых опор на 16-32%, при этом отсутствуют затраты на горячее цинкование. За счёт этого их стоимость ниже на 28-43%.
3. Использование стали 14ХГНДЦ в существующих типовых опорах сокращает стоимость их изготовления на 17-20%.
4. Сталь С440 целесообразно использовать при увеличении нагрузок на опоры и необходимости усиления конструкций, запроектированных из стали С390.
5. Применение модернизированных опор на строящихся ВЛ 110 кВ показывает экономию до 37,5% (до 335 тыс. руб. на 1 км ВЛ).
6. Годовой экономический эффект от применения модернизированных опор на объектах ПАО «Россети» (1160 км/год) может составлять 390 млн. рублей.

Для реализации получения экономического эффекта от новых опор ВЛ 110 кВ необходимо:

Разработать серию решётчатых промежуточных и анкерно-угловых опор с оптимизированными габаритными размерами, а также оптимальной шпренгельной решёткой.

На лёгкие, тяжёлые, а также современные высокопрочные провода должны быть разработаны отдельные конструкции.

Для анкерно-угловых опор целесообразно разработать несколько модификаций, например:

- концевая и на угол 40-60 град;
- На угол 0-20 град;
- На угол 20-40 град.