

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРОСТОЙКОЙ СТАЛИ ДЛЯ РЕШЁТЧАТЫХ ОПОР ВЛ 110 КВ

НИЛКЭС, ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест»
Касаткин Сергей Петрович, начальник сектора
Бондарева Елизавета Олеговна, инженер

Большинство типовых решётчатых опор воздушных линий электропередачи (ВЛ), массово применяемых в электросетевом строительстве, спроектированы из стали Ст3 уголкового прокатного профиля. Современные технологии металлургического производства позволяют получать элементы уголкового проката, а также трубы квадратного профиля как из стали повышенной прочности, так и из атмосферостойкой стали. Выпуск этих сталей успешно освоили крупнейшие отраслевые предприятия России, такие как ЕВРАЗ и Северсталь.

На сегодняшний день имеется нормативная база, позволяющая применение атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ в металлоконструкциях опор ВЛ. 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 иметь противокоррозионное покрытие, нанесённое методом термодиффузионного цинкования, или должны быть изготовлены из специальной низколегированной стали, стойкой к атмосферной коррозии.

Для внедрения новых сталей в электросетевом строительстве актуальна разработка новых конструкций решётчатых опор для ВЛ 35-500 кВ. Это приведёт к значительному сокращению финансовых затрат при новом строительстве, реконструкции и эксплуатации ВЛ.

Основные предпосылки достижения поставленной цели:

1. Рациональное использование сталей повышенной прочности позволит при сохранении несущей способности, существенно снизить металлоёмкость опор ВЛ и уменьшить стоимость конструкций.

2. Применение фасона квадратного и прямоугольного профиля для опор ВЛ приведёт к максимальному эффекту за счёт использования механических характеристик таких сечений, которые существенно отличаются от уголкового проката большей изгибной жёсткостью и устойчивостью.

3. Использование атмосферостойкой стали позволит отказаться от затрат на оцинковку металлоконструкций, обеспечив защиту от коррозии на весь срок эксплуатации ВЛ.

Для выбора проектных решений и оценки технико-экономического эффекта специалистами Научно-исследовательской лаборатории конструкций электросетевого строительства (НИКЛЭС) в рамках эскизного проектирования выполнены две разработки:

1. Решётчатые опоры ВЛ 110 кВ с применением уголкового профиля из сталей повышенной прочности С390 и атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ (класса прочности 345).

2. Опоры ВЛ 110 кВ с применением квадратного и прямоугольного профилей из стали класса прочности 345 (в том числе атмосферостойкой).

Опоры из элементов уголкового проката повышенной прочности

В первой работе модернизированы наиболее часто используемые и разработанные по требованиям ПУЭ-6 типовые опоры следующих марок:

1. Промежуточная П110-5В, инв. №11520тм-т.1 (рис. 1а);

2. Анкерно-угловая У110-1+9, инв. №3078тм-т.10 (рис. 2а).

При использовании стали С390 подбор сечений элементов решётки без изменения геометрии позволил уменьшить массу металла на 11,3% для промежуточной опоры П110-

5В и на 19,2% для анкерно-угловой У110-1+9. Однако, этого недостаточно ввиду того, что стоимость стали повышенной прочности на 7%, а атмосферостойкой – на 15% дороже конструкционных сталей массового применения. Для существенного снижения металлоёмкости типовых конструкций, разработанных для стали класса прочности 245, в модернизированных опорах ВЛ из высокопрочной стали предложены новые схемы решёток опор. За счёт этого удалось уменьшить поперечное сечение поясов и раскосов, обеспечив их устойчивость при работе на сжатие путём сокращения свободной длины элементов. Для маркировки новых конструкций к индексу типовых опор добавлена буква М (рис. 1б, рис. 2б).

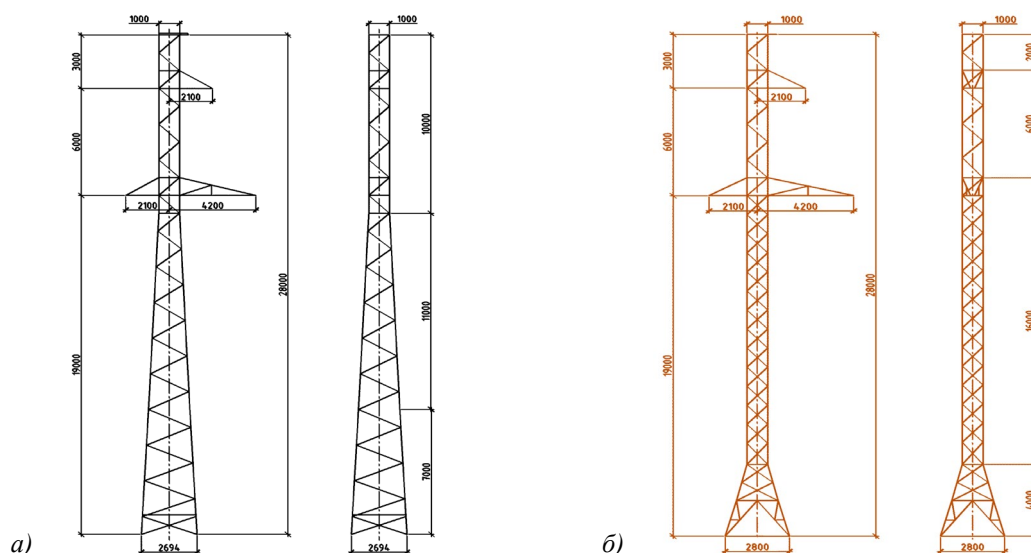


Рисунок 1 – Промежуточные опоры ВЛ 110 кВ:

а – П110-5В типовая, инв. №11520ТМ-Т.1; б – П110-5ВМ с модернизированной решёткой

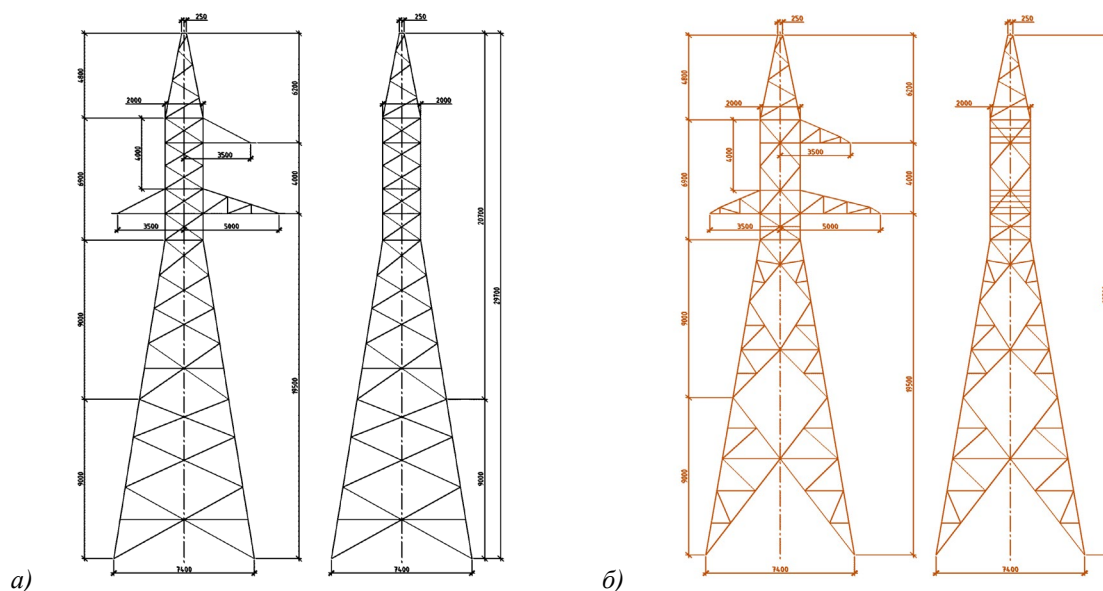


Рисунок 2 – Анкерно-угловые опоры ВЛ 110 кВ:

а – У110-1+9 типовая, инв. №3078ТМ-Т.10; б – У110-1+9М с модернизированной решёткой

При оценке стоимости опор с разными геометрическими схемами, учитывались стоимость металла (уголкового профиля), изготовления конструкций, а также стоимость защиты от коррозии. Результаты сравнения представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Стоимость промежуточных опор ВЛ 110 кВ из уголкового проката

Марка опоры		П110-5В		П110-5ВМ	
Норматив		ПУЭ-5 (6)	ПУЭ-7	ПУЭ-7	
Геометрия решётки		типовая		модернизированная	
Сталь		Ст3	С390	С390	С345-14ХГНДЦ
Масса стальных уголков, кг		2187	1939	1718	1773
Изменение массы, %		–	-11	-21	-19
Стоимость, тыс. руб.	стальных уголков	109	104	92	102
	изготовления металлоконструкций	44	39	34	36
	горячего цинкования	52	46	40	–
Общая стоимость, тыс. руб.		204	188	167	137
Изменение стоимости, %		–	-8	-19	-33

Таблица 2 – Стоимость анкерно-угловых опор ВЛ 110 кВ из уголкового проката

Марка опоры		У110-1+9		У110-1+9М	
Норматив		ПУЭ-5 (6)	ПУЭ-7	ПУЭ-7	
Геометрия решётки		типовая		модернизированная	
Сталь		Ст3	С390	С390	С345-14ХГНДЦ
Масса стальных уголков, кг		6844	5529	4530	4675
Изменение массы, %		–	-19	-34	-32
Стоимость, тыс. руб.	стальных уголков	342	296	242	269
	изготовления металлоконструкций	137	111	91	94
	горячего цинкования	161	130	106	–
Общая стоимость, тыс. руб.		640	537	440	362
Изменение стоимости, %		–	-16	-31	-43

Вследствие изменения геометрической схемы стоимость конструкций из стали С390 снизилась на 19% для промежуточной и на 31% – для анкерно-угловой опор.

В связи с отсутствием затрат на горячее цинкование при использовании атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ класса прочности 345 модернизированные опоры дешевле типовых промежуточных и анкерно-угловых опор на 33 и 43% соответственно.

Эффект по изменению массы опор, изготовленных из сталей класса прочности 345 и 390 незначителен (составляет всего 2%), поэтому унифицированную серию опор целесообразно разрабатывать из сталей класса прочности 345. Тогда решение о способе защиты опор от коррозии может быть принято на этапе проектирования ВЛ. Конструкции могут быть изготовлены как в оцинкованном варианте (например, из стали С345 или 09Г2С), так и в атмосферостойком исполнении (из стали 14ХГНДЦ).

Опоры из профильных труб квадратного и прямоугольного сечения

Новая форма проката впервые рассматривается для изготовления конструкций опор ВЛ. Для новых типов опор из квадратного профиля Департаментом технологического

развития и инноваций ПАО «Россети» поставлена задача разработки вариантов конструкций с подвеской двух групп проводов:

1. Обычных: АС 240/32, АСку 240/32, АСТ 185/29;
2. Высокопрочных: АСВП 258/74, АСВТ 190/55.

Для каждой группы проводов разработаны промежуточные и анкерные двухцепные опоры. Для обычных проводов – П110-2С и У110-2С; для высокопрочных – П110-4С и У110-4С. Схемы опор приведены на рис. 3.

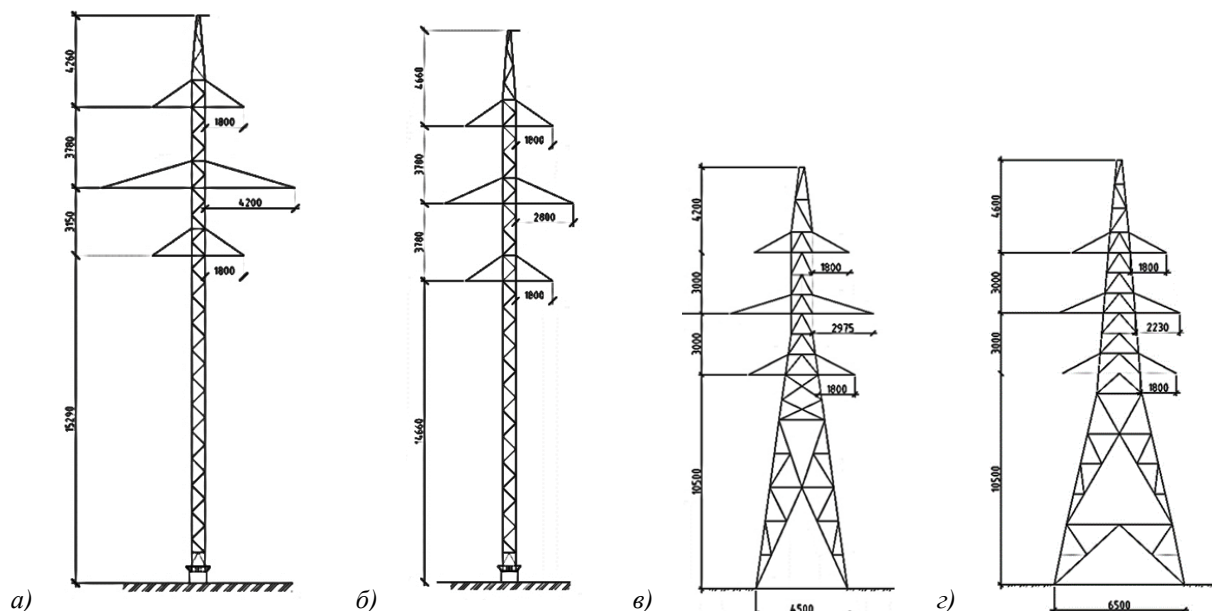


Рисунок 3 – Опоры ВЛ 110 кВ из квадратного профиля: промежуточные для обычных П110-2С (а) и высокопрочных П110-4С (б) проводов; анкерно-угловые для обычных У110-2С (в) и высокопрочных У110-4С (г) проводов

Опоры выполнены из укрупнённых сварных секций, которые изготавливаются на заводе и соединяются на месте установки при помощи болтов. Сравнительно небольшая база промежуточных опор позволяет установить все четыре пояса ствола опоры на один фундамент и соединить с ним при помощи фланцевого соединения. Такое решение, в отличие от обычной установки четырёх грибовидных подножников в копаный котлован, позволяет существенно уменьшить стоимость и временные затраты на изготовление фундаментов под опоры.

Анкерные опоры, воспринимающие значительные нагрузки от тяжения проводов и тросов, разработаны с использованием шпренгельной системы, позволяющей существенно сократить поперечное сечение элементов и массу конструкции в целом.

Для сравнения с новыми промежуточными опорами П110-2С и П110-4С выбраны типовые решётчатые П110-4В и многогранные ПМ110-2Ф конструкции (табл. 3), рассчитанные на те же нагрузки. Анкерная опора У110-2С для обычных проводов сопоставляется с типовой решётчатой У110-2, а У110-4С для высокопрочных проводов – с У220-2 (табл. 4).

Масса новых опор для обеих групп проводов сократилась: для промежуточных конструкций – на 37-43% (для обычных проводов) и 16-21% (для высокопрочных проводов) по отношению к типовым решётчатым и многогранным опорам соответственно. Для анкерных опор новые конструкции из квадратных труб легче типовых решётчатых – на 74 и на 130% для обычных и высокопрочных проводов.

Таблица 3 – Стоимость опор ВЛ 110 кВ для АС 240/32, АСку 240/32, АСТ 185/29

Тип опор	Промежуточные			Анкерно-угловые	
	П110-4В	ПМ110-2Ф	П110-2С	У110-2	У110-2С
Марка опоры	П110-4В	ПМ110-2Ф	П110-2С	У110-2	У110-2С
Геометрия решётки	типовая		новая	типовая	новая
Сталь	С245	С345	С345-14ХГНДЦ	С245	С345-14ХГНДЦ
Масса стали (в том числе метизы), кг	3191	2713	2233	7696	4415
Изменение массы, %	+43	+21	–	+74	–
Стоимость опоры, тыс. руб.	292	376	206	704	408
Изменение стоимости, %	+41	+82	–	+73	–

Таблица 4 – Стоимость опор ВЛ 110 кВ для АСВП 258/74, АСВТ 190/55

Тип опор	Промежуточные			Анкерно-угловые	
	П110-4В	ПМ110-2Ф	П110-4С	У220-2	У110-4С
Марка опоры	П110-4В	ПМ110-2Ф	П110-4С	У220-2	У110-4С
Геометрия решётки	типовая		новая	типовая	новая
Сталь	С245	С345	С345-14ХГНДЦ	С245	С345-14ХГНДЦ
Масса стали (в том числе метизы), кг	3191	2713	2325	17378	6251
Изменение массы, %	+37	+16	–	+130	–
Стоимость опоры, тыс. руб.	292	376	215	1318	578
Изменение стоимости, %	+36	+75	–	+128	–

Заключение

Результаты эскизного проектирования опор ВЛ 110 кВ из сталей повышенной прочности и атмосферостойкой стали показали, что установка на воздушных линиях опор новой конструкции, изготовленных на базе уголкового или квадратного профиля, позволит существенно сократить массу металла и соответственно затраты на строительство линии в целом. Максимальный эффект может быть достигнут при использовании атмосферостойкой стали, которая не требует оцинковки: стоимость 1 км ВЛ в этом случае уменьшается на 0,3-1,0 млн руб., что составляет от 25 до 45% от стоимости материалов.

Для массового внедрения новых опор из атмосферостойких сталей необходима разработка серии унифицированных опор ВЛ 110 кВ и нормативной документации для её применения. Для оперативного внедрения новых конструкций в проекты ВЛ целесообразно использовать опоры, специально разработанные для планируемых условий эксплуатации. Ограниченное число типов опор для конкретных линий потребует меньше времени на их разработку и испытания. Индивидуально разработанные конструкции будут оптимальны по затратам материалов (опор, фундаментов, линейной арматуры) на ВЛ в целом. Они же в дальнейшем могут быть использованы на других объектах.

Научно-исследовательская лаборатория конструкций
электросетевого строительства (НИЛКЭС)
ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест»
Санкт-Петербург, Невский пр. 111/3
8 (812) 309-39-61
info@nilkes.ru
www.nilkes.ru