

Перспективы использования сталей повышенной прочности и атмосферостойкой стали для решетчатых опор ВЛ

УДК 621.315.668.2

Статья посвящена оценке возможности снижения металлоемкости опор ВЛ при использовании высокопрочных сталей. В работе рассматриваются результаты эскизных проектов промежуточных и анкерных опор, геометрическая схема которых разработана с использованием шпренгельных элементов. Показано, что предложенные схемы опор, изготовленные из сталей класса прочности 345, в сравнении с типовыми решениями для одноцепных и двухцепных ВЛ позволяют сократить массу конструкций на 16–32%. При использовании атмосферостойкой стали и отказе от цинкования затраты на изготовление конструкций снижаются на 28–43%. Сделан вывод, что для массового внедрения новых решений целесообразна разработка серии унифицированных решетчатых промежуточных и анкерно-угловых опор из стали класса прочности 345 с оптимизированными габаритными размерами и шпренгельной решеткой из уголкового профиля.

Качановская Л.И.,
к.т.н., заведующая НИЛКЭС
ООО «ПО «Энерго-
железобетонинвест»

Касаткин С.П.,
начальник сектора НИЛКЭС
ООО «ПО «Энерго-
железобетонинвест»

Металлургическая промышленность страны освоила изготовление уголкового проката из сталей повышенной прочности С390, С440 и атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ (класса прочности 345). К настоящему времени накоплен опыт использования атмосферостойкой стали в конструкциях мостов и для опор контактной сети электрифицированных железных дорог [1].

Основная масса типовых решетчатых опор линий электропередачи, эксплуатируемых в России, запроектирована из стали С245 (Ст3). Использование сталей повышенной прочности позволит уменьшить поперечное сечение элементов, сохранив их несущую способность, и тем самым снизить металлоемкость опор ВЛ. А использование атмосферостойкой стали даст возможность отказаться от затрат на оцинковку, обеспечив защиту от коррозии на весь срок эксплуатации ВЛ. Максимальный эффект может быть достигнут в наиболее массовых изделиях — решетчатых опорах ВЛ 110–750 кВ, так как затраты на опоры и фундаменты составляют до 70% затрат от стоимости материалов на строительство ВЛ.

В ходе рабочего совещания в ПАО «Россети» был рассмотрен вопрос о необходимости разработки типовой линейки опор ВЛ для получения существенной выгоды за счет использования последних достижений в области производства металлопроката. Первый этап, посвященный поиску основных технических решений для оптимального использования новых сталей, был поручен научно-исследовательской лаборатории конструкций электросетевого строительства (НИЛКЭС), силами которой был разработан «Эскизный проект решетчатых опор 110–220 кВ из сталей повышенной прочности С390, С440 и атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ».

Актуальность задачи анализа конструктивных особенностей решетчатых опор обоснована необходимостью определения зоны наиболее выгодного применения сталей повышенной прочности, так как их стоимость на 7%, а атмосферостойкость на 15% выше стоимости конструкционных сталей массового применения.

В рамках эскизного проекта ВЛ 110–220 кВ были решены следующие задачи:

Ключевые слова:
решетчатые опоры ВЛ,
стали повышенной прочности,
атмосферостойкая сталь,
оптимизация геометрической
схемы с использованием
шпренгельной системы

1. Проведены расчеты типовых опор (определены усилия в элементах и подобраны их сечения для случаев использования сталей С245, С390 и С440. В каждом варианте определена масса конструкций с учетом требований современных Правил устройства электроустановок в 7 редакции (изначально эти конструкции запроектированы с учетом ПУЭ-5 и ПУЭ-6). Решетка опор во всех случаях оставалась неизменной.

2. Разработаны варианты геометрии решетки промежуточных и анкерных опор ВЛ 110 кВ и ВЛ 220 кВ с целью минимизации массы конструкции при использовании высокопрочной и атмосферостойкой сталей (проведены расчеты шести вариантов новых геометрических схем опор). Новые опоры с оптимизированными по массе металла схемами рассчитаны на те же нагрузки и ту же высоту подвески, что и типовые опоры, что позволяет провести объективное сравнение предлагаемых вариантов.

3. Выполнено технико-экономическое сравнение рассмотренных вариантов опор для ВЛ 110 кВ и ВЛ 220 кВ.

К рассмотрению выбраны следующие наиболее часто используемые марки типовых опор, изначально разработанные на требованиях ПУЭ-6 (рисунок 1).

Уменьшение массы опор только за счет использования высокопрочных сталей в типовых решетках не позволяет получить явную выгоду за счет более высокой стоимости новых сталей.

Для существенного снижения массы опор необходимо изменить геометрическую схему типовых опор, которая была оптимальной для унифицированных конструкций при использовании стали марки Ст3. Так как определяющим фактором при выборе поперечного сечения элементов в башенных опорах является требование обеспечения устойчивости элементов, то сократить массу (поперечное сечение) элементов опоры можно уменьшая свободную длину элементов, работающих на сжатие. Для этого

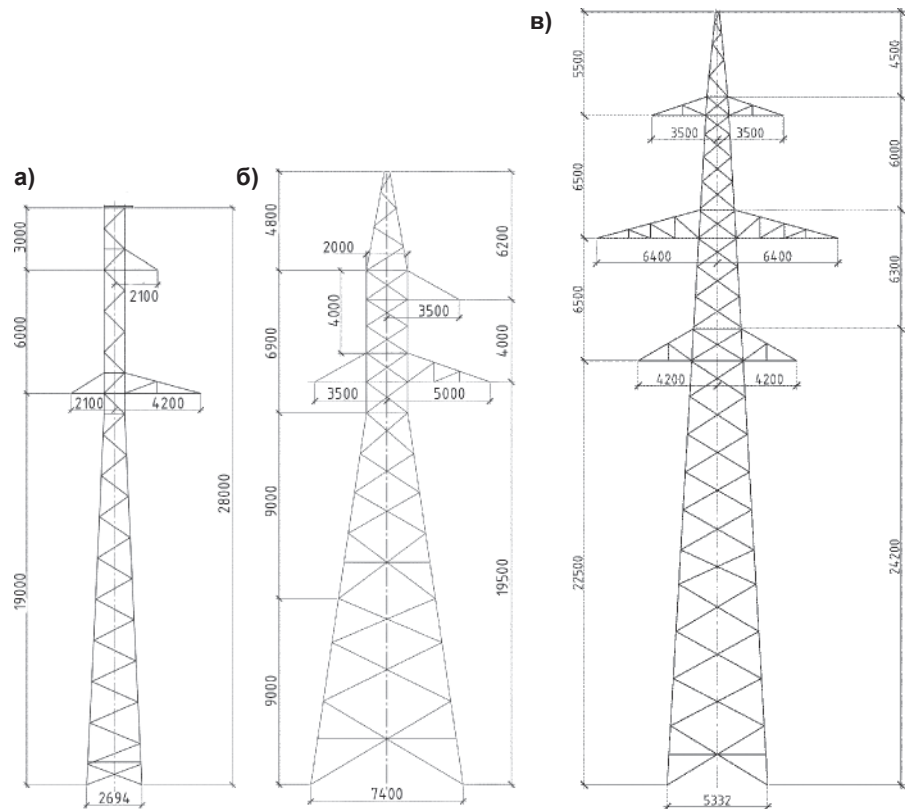


Рис. 1. Типовые опоры, принятые для сравнения: а) промежуточная П110-5В инв. № 11520мм-т.1; б) анкерно-уголовая У110-1+9 инв. № 3078мм-т.10; в) промежуточная П220-2 инв. № 3080мм-т.6

необходимо подобрать геометрическую схему опоры, используя возможность установки шпренгелей [2].

В нашей стране шпренгельная схема использовалась при создании сильно нагруженных опор ВЛ 220–750 кВ.

За рубежом высокопрочные стали, в том числе и атмосферостойкие, давно нашли широкую нишу для применения. Примеры использования шпренгельных систем в опорах ВЛ в нашей стране и за рубежом приведены на рисунке 2.



Рис. 2. Использование шпренгельных систем в нашей стране и за рубежом

В процессе поиска геометрической схемы опоры, имеющей минимальный вес при заданном уровне нагрузок, было рассмотрено (расчитано) несколько вариантов конструктивных решений для промежуточных опор 110, 220 кВ и анкерной опоры 110 кВ. В результате для окончательного сравнения были выбраны схемы опор, дающие максимальный эффект в части минимизации массы конструкций. Отметки подвески нижнего провода для старых и новых опор приняты одинаковыми. Для маркировки вновь разработанных (уже оптимизированных) опор к индексу типовых конструкций была добавлена буква М: П110-5ВМ, У110-1+9М, П220-2М (рисунок 3).

При сравнении стоимости опор разных геометрических схем, выполненных из обычных и высокопрочных сталей принята в расчет стоимость металла (уголкового профиля), стоимость изготовления и стоимость защиты от коррозии. Информация о стоимости принята в современном уровне цен по данным заводов изготовителей:

- уголок из стали С245, С390 и 14ХГНДЦ — 50, 53,5 и 57 тыс. руб./т;
- изготовление металлоконструкций — 20 тыс. руб./т;
- горячее цинкование — 23,5 тыс. руб./т.

Результаты анализа расчетов типовых схем опор П110-5В, У110-1+9, П220-2, выполненных из сталей С245 и С390 с учетом требований ПУЭ-7 (таблицы 1, 2 и 3) показали следующее:

- только лишь за счет оптимизации сечений элементов типовой опоры из стали С245 возможно сократить массу элементов уголкового проката на 8,4, 15,8 и 4,6% соответственно;
- подбор сечений элементов при использовании стали С390 дает уменьшение массы уголков на 11,3,

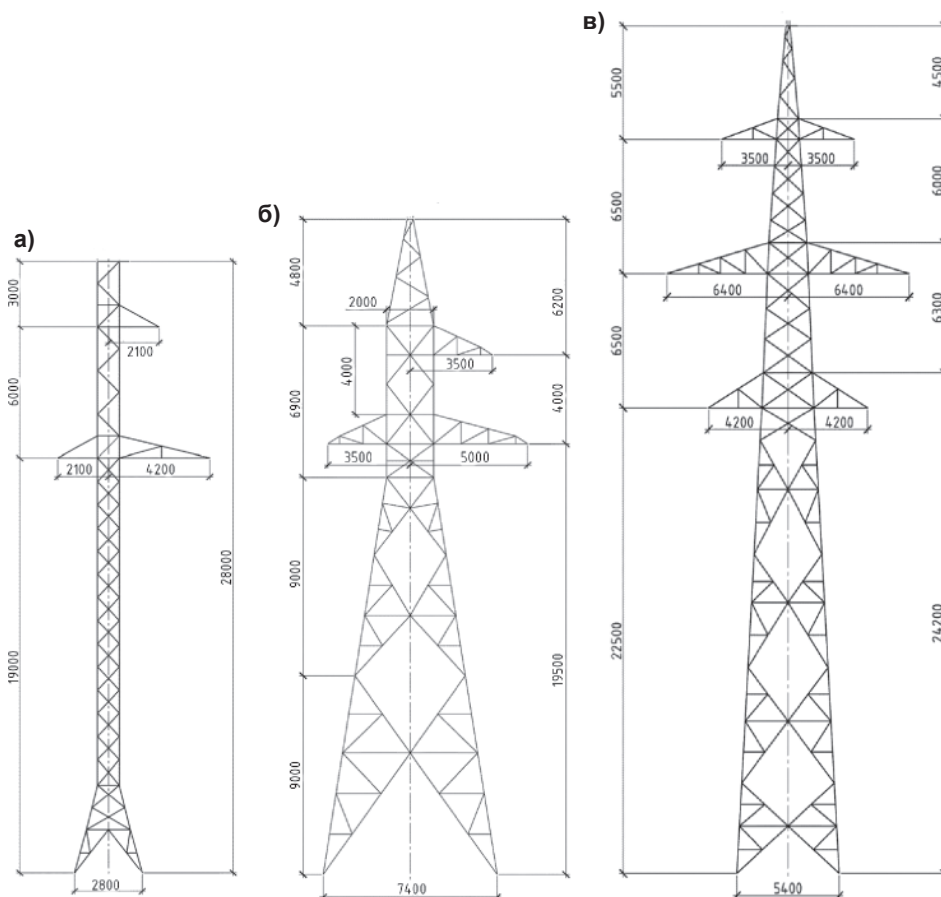


Рис. 3. Оптимизированные опоры — аналоги типовых конструкций:
а) П110-5ВМ, б) У110-1+9М, в) П220-2М

19,2 и 9,5% относительно массы указанных типовых опор.

Однако это сокращение металла в пересчете на стоимость единицы массы опоры будет не столь значительна, если учесть цены на стали повышенной прочности. Существенную выгоду может принести только использование модифицированных

опор, решетка которых подобрана специально для высокопрочных сталей.

Сравнительный анализ стоимости типовых опор с оптимизированными позволил сделать следующие выводы:

1. Модифицированные опоры из стали С390 легче типовых опор

Табл. 1. Результаты анализа расчетов типовых схем опор П110-5В и П110-5ВМ

Марка опоры		П110-5В			П110-5ВМ	
Нормы для расчета		ПУЭ-5 (6)		по действующим нормам — ПУЭ-7		
Геометрия решетки		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%	–18,5%	–32,8%

на 17–34%. За счет этого их стоимость ниже на 12–31%.

2. Модифицированные опоры из атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ (класс прочности 345) легче типовых опор на 16–32%, при этом отсутствуют затраты на горячее цинкование. За счет этого их стоимость ниже на 28–43%.

Расчет модернизированных схем опор для стали С440 показал, что ее использование в конструкциях при заданном уровне нагрузок не дает дополнительной выгоды по массе.

Стали класса прочности 345 и 390 имеют сопоставимый эффект по изменению массы (разница в 2%), поэтому унифицированную серию опор ВЛ целесообразно разрабатывать из сталей класса 345. В этом случае появляется возможность использования этих конструкций как в оцинкованном варианте (при изготовлении их, например, из стали 09Г2С), так и в атмосферостойком исполнении (из стали 14ХГНДЦ).

Для оценки возможного годового экономического эффекта от применения оптимизированных опор, использующих сталь С390 и атмосферостойкую сталь 14ХГНДЦ, на объектах ПАО «Россети» была определена

Табл. 2. Результаты анализа расчетов типовых схем опор У110-1+9 и У110-1+9М

Марка опоры		У110-1+9			У110-1+9М	
Нормы для расчета		ПУЭ-5 (6)		по действующим нормам — ПУЭ-7		
Геометрия решетки		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%

Табл. 3. Результаты анализа расчетов типовых схем опор П220-2 и П220-2М

Марка опоры		П220-2			П220-2М	
Нормы для расчета		ПУЭ-5 (6)		по действующим нормам — ПУЭ-7		
Геометрия решетки		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, %		–	–4,8%	–6,1%	–11,6%	–28,4%

Табл. 4. Расчет стоимости строительства 1 километра ВЛ напряжением 35–110 кВ

Нормы для расчета		ПУЭ-5 (6)	по действующим нормам — ПУЭ-7			
Геометрия решетки		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), млн руб.	–	121	120	250	389

экономия (таблица 4) при строительстве 1 километра ВЛ напряжением 35–110 кВ: до 37,5% (до 335 тыс. руб. на 1 км ВЛ).

По данным о планируемых объемах строительства ВЛ ПАО «Россети», учитывая, что только половина всех строящихся опор будет изготавливаться из современных сталей, определен возможный объем использования модернизированных опор на ВЛ 35–110 кВ — 1160 км/год.

Таким образом, годовой экономический эффект от применения модернизированных опор на объектах ПАО «Россети» может составлять 390 млн рублей.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование доказало эффективность исполь-

зования для опор ВЛ углового проката из сталей повышенной прочности С390, С345 и атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ (класс прочности 345).

Для массового снижения затрат на изготовление опор на 28–43% целесообразна разработка серии унифицированных решетчатых промежуточных и анкерно-угловых опор из стали класса прочности 345 с оптимизированными габаритными размерами и шпренгельной решеткой из углового профиля. Новые опоры позволят решать вопрос защиты от коррозии на стадии разработки проектов ВЛ: с использованием защитных покрытий или при помощи атмосферостойкой стали.

В заключение необходимо отметить, что линейка новых высокопрочных и атмосферостойких сталей не исчерпывается прокатным уголком. Впервые появилась возможность использования для опор ВЛ квадратного и прямоугольного профиля, в том числе и из атмосферостойкой стали. В ближайших выпусках журнала мы расскажем о результатах эскизной разработки опор ВЛ из квадратных труб, которая показала, что повышенная жесткость таких сечений при работе на сжатие позволяет существенно облегчить опоры ВЛ напряжением 110–500 кВ. Установка таких конструкций на трассах сократит стоимость строительства линий в 1,2–1,5 раза. **Р**

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелест А.И., Конюхов А.Д. Применение атмосферостойких сталей в конструкциях линий электропередачи, мостов и контактной сети электрифицированных железных дорог / Сборник докладов научно-практической конференции «Опоры и фундаменты для ум-

ных сетей: инновации в проектировании и строительстве», СПб, 4–6 июля 2018.

2. Зевин А.А., Качановская Л.И., Константинова Е.Д., Романов П.И. Выбор промежуточной опоры для ВЛ 330 кВ «Северный транзит» // Электрические станции, 2004, № 4.

REFERENCES

1. Shelest A.I., Konyukhov A.D. The use of weather-resistant steels in the construction of power lines, bridges and the contact network of electrified railways. *Sbornik докладov nauchno-prakticheskoy konferentsii "Opory i fundamenty dlya umnykh setey: innovatsii v proyektirovani i stroitelstve"* [Proceedings of the scientific-practical conference "Sup-

ports and foundations for smart grids: innovations in design and construction"]. St. Petersburg, 2018. (in Russian)

2. Zevin A.A., Kachanovskaya L.I., Konstantinova E.D., Romanov P.I. Selection of intermediate support for 330 kV overhead transmission line "Northern transit". *Elektricheskie stantsii* [Power Plants], 2004, no.4. (In Russian)

Санкт-Петербургское
научно-производственное
объединение
АО «Полимер-Аппарат»
разрабатывает и производит

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

(ОПН)

Для любого класса
напряжений от 0,22 кВ до 750 кВ

 научно-производственное объединение
АО «Полимер-Аппарат»

www.polymer-apparat.ru
тел./факс: (812) 331-40-40
(многоканальный)

Гарантия до 10 лет
Срок службы 30 лет

Для комплектации ограничителей
используются варисторы
различных диаметров и толщин
производства фирмы
EPCOS (Германия)

Возможно изготовление ОПН
с любым наибольшим
длительно допустимым
рабочим напряжением

Вся продукция прошла
полный комплекс испытаний
в лабораториях ОАО «НИЦ ВВА»,
ОАО «НИИПТ», ОАО «НИИВА»