

Решетчатые опоры воздушных линий электропередачи 110 кВ при обустройстве нефтегазовых месторождений

Ю.С. Поверенный¹

П.Н. Горб¹

Л.И. Качановская², К.Т.Н.

С.П. Касаткин², К.Т.Н.

Е.О. Румянцева²

Т.И. Сбойчакова²

Д.А. Николаев³

А.А. Ильчибаев³

А.А. Задорожный³

А.В. Полищук⁴

¹Краснодарский филиал

ООО «РН-Проектирование Добыча»

²НИЛКЭС ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест»

³ООО «РН-Уватнефтегаз»

⁴Самарский филиал ООО «РН-Проектирование Добыча»

Lattice supports for 110 kV overhead power lines in the development of oil and gas fields

U.S. Poverenniy¹

P.N. Gorb¹

L.I. Kachanovskaya²

S.P. Kasatkin²

E.O. Rumyantseva²

T.I. Sboychakova²

D.A. Nikolaev³

A.A. Ilchibaev³

A.A. Zadorozhny³

A.V. Polishchuk⁴

¹Krasnodar Branch of RN-Upstream design LLC, RF, Krasnodar

²PO Energozhelezobetoninvest LLC, RF, Saint Petersburg

³RN-Uvatneftegas LLC, RF, Tyumen

⁴Samara Branch of RN-Upstream design LLC, RF, Samara

Адрес для связи: uspoverenniy@rn-pd-krd.rosneft.ru,
l.i.kachanovskaya@nilkes.ru

E-mail: uspoverenniy@rn-pd-krd.rosneft.ru, l.i.kachanovskaya@nilkes.ru

Ключевые слова: опоры воздушных линий (ВЛ) электропередачи, оптимизация промежуточных и анкерных опор ВЛ с учетом их закрепления, геометрические схемы опор ВЛ, способ закрепления опор ВЛ на свайных фундаментах, испытание опытных образцов опор ВЛ

Keywords: overhead power line (OPL) supports, optimization of intermediate and anchor OPL supports taking into account their fastening, geometric schemes of OPL supports, method of fastening OPL supports on pile foundations, testing of prototype OPL supports

В статье описаны подходы к разработке новой серии двухцепных промежуточных и анкерных опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи 110 кВ (26 марок) для обустройства нефтегазовых месторождений, рассчитанных на подвеску семи типов проводов, в том числе высокопрочных и высокотемпературных. За критерий оптимизации конструкций принята удельная стоимость строительства ВЛ. Проанализированы факторы, влияющие на материалоемкость опор с учетом минимизации затрат на строительство фундаментов в труднодоступных условиях на слабых грунтах. Массы новых опор сокращены относительно опор из типовой серии на 2,4-12,5 % за счет выбора высоты подвески проводов, размеров стелов опор и использования шпренгелей для повышения устойчивости элементов опор. Проведена оценка возможностей и ограничений металлургических заводов по поставкам атмосферостойкой стали для изготовления опор, как экономически обоснованного альтернативного решения по отношению к стандартному способу антикоррозионной защиты опор ВЛ методом горячего цинкования. Снижение стоимости строительства 1 км трассы двухцепной ВЛ габарита 110 кВ на опорах вновь разработанной конструкции по сравнению с применением усиленных опор из типовой серии 3.407.2-170 составило 36 %. Опытные образцы опор прошли проверку на прочность, устойчивость и деформацию на специализированном испытательном полигоне. Полученные результаты испытаний подтвердили корректность расчетов и принятых конструктивных решений.

This article describes approaches to developing a new series of double-circuit intermediate and anchor supports for 110 kV overhead power lines (OPL) (26 grades) for oil and gas field development which are designed to support seven types of conductors, including high-strength and high-temperature. The specific cost of OPL construction was used as the design optimization criterion. Factors influencing the material consumption of the supports were analyzed, taking into account the minimization of foundation construction costs in hard-to-reach areas on soft soils. The weight of the new supports was reduced by 2,4-12,5 % compared to those of the standard series, due to the correct conductor suspension height, the dimensions of the support shafts, and the use of trusses to improve the stability of the support elements. An assessment was made of the capabilities and limitations of metallurgical plants in supplying weather-resistant steel for support fabrication, as a cost-effective alternative to the standard method of hot-dip galvanizing for corrosion protection of OPL supports. The cost of constructing 1 km of a 110 kV double-circuit OPL using newly developed towers was reduced by 36 % compared to using reinforced towers from the standard 3.407.2-170 series. Prototype towers were tested for strength, stability, and deformation resistance at a specialized test site. The test results confirmed the accuracy of the calculations and design solutions.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Решетчатые опоры воздушных линий электропередачи 110 кВ при обустройстве нефтегазовых месторождений / Ю.С. Поверенный, П.Н. Горб, Л.И. Качановская [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2026. – № 8. – С. 40-45. – <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2026-8-40-45>
Poverenniy U.S., Gorb P.N., Kachanovskaya L.I., et al., Lattice supports for 110 kV overhead power lines in the development of oil and gas fields (In Russ.), Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry, 2026, No. 8, pp. 40-45, DOI: <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2026-8-40-45>

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.06.2026 г. Дата принятия рукописи в печать: 07.07.2026 г.

Введение

В настоящее время при проектировании двухцепных воздушных линий (ВЛ) электропередачи в габарите 110 кВ в Уватском районе Тюменской области применяются опоры типовой серии 3.407.2-170 «Унифицированные стальные конструкции промежуточных и анкерно-угловых опор ВЛ 35-110 кВ для нормальных условий», отдельные элементы которых усилены для обеспечения соответствия актуализированным нагрузкам «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) (7 издание) с целью сохранения максимально возможных пролетов.

Эскизные проработки новых опор показали, что для оптимального использования стали класса прочности С345 и сокращения таким образом массы опор целесообразно пересмотреть их геометрические схемы, сократив в отдельных случаях свободные длины элементов для повышения их устойчивости. Предварительные расчеты новых схем опор показали возможность сокращения затрат на строительство ВЛ за счет уменьшения стоимости как самих опор, так и свайных фундаментов, нагрузки на которые можно уменьшить, выбрав оптимальную схему опор.

С этой целью специалисты НИЛКЭС, Краснодарского и Самарского филиалов ООО «РН-Проектирование Добыча» по заказу ООО «РН-Уватнефтегаз» в конце 2023 г. приступили к выполнению опытно-конструкторских работ «Решетчатые опоры ВЛ 110 кВ модернизированные». На первом этапе на основании сравнения технико-экономических показателей вариантов предстояло выбрать конструкции промежуточной и анкерно-угловой опор для разработки конструкторской документации. На втором этапе требовалось разработать комплект конструкторской документации, изготовить и испытать опытные образцы. По результатам испытаний необходимо было завершить разработку оформлением типового альбома опор для проектирования и рекомендовать использование решений в проектной документации по новым объектам строительства.

Поиск оптимальных конструкций промежуточных опор ВЛ 110 кВ

Критерием выбора оптимальной конструкции промежуточных опор являлась минимизация затрат на строительство опор и фундаментов в труднодоступных районах, где работы по строительству ВЛ могут проводиться только в зимний период.

К разработке конструкций опор предъявлялись следующие основные требования:

- соответствие актуальным нагрузкам и определенным типовым климатическим и геологическим условиям;

- минимизация массы опоры;
- сокращение нагрузок на фундаменты для оптимизации их массы и затрат на устройство;
- минимизация затрат на транспортировку по зимникам и монтаж.

Для выполнения указанных требований были разработаны эскизные проекты 10 вариантов конструкций промежуточных опор, различающихся высотой подвески нижнего провода, геометрическими размерами, в том числе расстоянием между осями фундаментов. Разрабатываемые конструкции опор должны были обеспечить возможность подвески проводов с различными параметрами (АС120/19, АС 150/24, АС 185/29, АС 240/32, АСку 120/19, АСПк 120/19, АСку 185/24, АСПк 185/29), троса 9,2-МЗ-В-ОЖ-Н-Р и ВОЛС. Для разработки и оптимизации металлоемкости в дальнейшем рассматривались два варианта исполнения опор: для наиболее массового «легкого» провода АС 120/19 и остальных «тяжелых» проводов.

Расчеты и выбор оптимальной конструкции опоры выполнялись для климатических условий III ветрового и III гололедного районов по ПУЭ (7 издание) для провода АС 120/19. Обзорный лист эскизов промежуточной опоры представлен на рис. 1. Вариативность эскизной проработки обусловлена рассмотрением способов соединения элементов опоры, оптимальной нагрузкой транспорта для доставки на объект и оценкой целесообразности изменения габаритного пролета.

Все десять вариантов предложенных конструкций опор можно условно разделить на три группы, различающиеся габаритными пролетами. Габаритный пролет усиленной опоры типовой серии 3.407.2-170 для климатических условий III/III и провода АС 120/19 составляет 250 м. Варианты опор условно отнесены к трем группам: первая группа (варианты 1, 2, 3) рассчитана на пролет, меньший, чем у типовой опоры, рав-

№ варианта	1	2	3	4	5
Схема опоры					
Масса, т	2,65	2,90	3,05	3,15	3,42
L габ/ветр/вес, м	205/205/256			250/250/312	
№ варианта	6	7	8	9	10
Схема опоры					
Масса, т	3,28	3,42	3,40	3,42	5,00
L габ/ветр/вес, м	250/250/312			300/300/375	

Рис. 1. Обзорный лист вариантов промежуточной опоры

ный 205 м; вторая группа (варианты 4–9) – на пролет 250 м; третья группа (вариант 10) – на пролет 300 м.

Опоры первой группы выполнены со сварным вариантом верхней части ствола, имеющего поперечное сечение 0,7×0,7 м. Они отличаются конструкцией и размерами нижних секций. Расстояние между осями фундаментов для вариантов 1, 2 и 3 составляет соответственно 3, 4, 5 м. Увеличение расстояния между осями свай утяжеляет нижнюю секцию опоры и увеличивает массу конструкции, но в то же время позволяет существенно сократить нагрузки на свайные фундаменты, т.е. уменьшить затраты на закрепление опор и стоимость строительства в целом.

Опоры второй группы имеют высоту подвески нижней траверсы 19,5 м. Верхняя сварная часть опоры по варианту 4 повторяет конструкцию первых трех вариантов по размерам ствола (0,7×0,7 м), длине и расположению траверс и тросостойки. Увеличена высота нижней секции. Расстояние между осями фундаментов равно 3,3 м, как у опоры из типовой серии. Вариант 5 отличается от варианта 4 увеличением базы опоры до 5 м. Масса опоры возрастает на 7,9 %, но нагрузки на фундаменты снижаются на 28,6 %. Конструкция варианта 6 повторяет геометрию варианта 5, но элементы решетки изготавливаются из стали класса прочности 390. За счет повышенной прочности стали масса опоры снижена всего на 4 %.

Вариант 7 был разработан для анализа возможности уменьшения массы опоры с учетом существенного различия нагрузок на опору вдоль и перпендикулярно ВЛ. Рассмотрен вариант прямоугольного сварного сечения размером 0,7×1,05 м с большей стороной, расположенной перпендикулярно к ВЛ. Масса опоры практически не изменилась. Вариант 8 (болтовой) рассмотрен в качестве альтернативы варианту с опорами, имеющими сварные верхние секции. Отказ от уменьшения сечения верхних секций для их перевозки в собранном виде позволил более равномерно распределить нагрузку по всем элементам опоры, практически не изменив ее массу. Вариант 9 является совершенствованием сборной опоры по варианту 8. Высота нижней секции уменьшена для увеличения части стойки, которая может быть предварительно собрана на заводе (до 80 % высоты опоры). Длины элементов в поясе основного ствола подобраны таким образом, чтобы при раскрое элементов минимизировать отходы. Обычная длина поставляемого сортамента составляет около 12 м. Отдельные элементы имеют кратную длину: 4, 6, 12 м.

Опора третьей группы (вариант 10). Для анализа оптимального расстояния между опорами была рассмотрена опора с габаритным пролетом 300 м. Для этого потребовалось поднять высоту подвески провода на 25 м, общая высота опоры увеличилась до 40,9 м, расстояние между осями свай составило до 6,8 м. Увеличение площади боковой поверхности опоры привело к тому, что нагрузка на конструкцию опоры (в зависимости от рассматриваемой секции) возросла на 7–26 %. При достижении центром тяжести проводов отметки выше 15 м использован повышающий коэффициент, учитывающий скорость ветра. Ветровая нагрузка на провода увеличилась на 30 %, на трос – на 26 %, горизонтальные нагрузки на фундаменты – на 25 %.

Для обеспечения необходимого габарита напряжение в тросе потребовалось повысить от 310 до 430 Н/мм², что увеличило нагрузку на анкерную опору. В результате масса опоры составила около 5 т.

Этот вариант опоры подтверждает экономическую нецелесообразность увеличения высоты конструкции для достижения больших пролетов. Масса конструкции возрастает нелинейно относительно длины пролета, а нагрузки на фундаменты, следовательно, и их масса, повышаются существенно, что неоправданно увеличивает общую стоимость строительства ВЛ.

При проведении опытно-конструкторских работ был выполнен анализ применения атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ, которая позволяет исключить горячее цинкование на стадии изготовления опор. Стоимость горячего цинкования увеличивает стоимость опор ВЛ на 30–46 % в зависимости от сечения проката. Стоимость стали 14ХГНДЦ выше стоимости стали 09Г2С на 16–33 %.

Исключение горячего цинкования при применении атмосферостойких сталей позволяет снизить стоимость опор ВЛ на 15–20 %. Сталь 14ХГНДЦ соответствует классу прочности С345, рекомендована к применению СП 16.13330.2017 п. 4.1 [1] и допускает исключение дополнительной защиты от коррозии согласно СП 28.13330.2017 [2] на открытом воздухе в средах слабоагрессивная-1 и слабоагрессивная-2.

Особенности закрепления опор ВЛ в слабых грунтах

Общая стоимость строительства ВЛ в Западной Сибири существенно зависит не только от затрат на опоры, но чаще всего от стоимости фундаментов и затрат на монтажные работы на трассе ВЛ. Основная проблема с закреплением опор связана с часто встречающимися на трассе слабыми грунтами и глубокими болотами. Число и длина свай в фундаментах определяются нагрузками от опоры и существенно зависят от грунтов основания. Опыт строительства показывает, что стоимость типовых опор и фундаментов в слабых грунтах может отличаться более чем в 2 раза за счет необходимости увеличения числа свай под каждую ногу опоры по условию ограничения допускаемого отклонения верха фундамента. Ограничение угла поворота сваи (до 0,006 рад) обусловлено необходимостью исключения возможности передачи изгибающего момента от отклоненной сваи на опору. Пояс и раскосы опор не рассчитаны на совместное воздействие изгибающего момента и продольных сил. Свод правил [1] не подразумевает возможность работы уголкового профиля на сжатие с изгибом. Чтобы исключить возникновение изгибающего момента в поясах и раскосах опоры и таким образом снять требования к ограничению отклонения свай, предложено использовать шарнирный узел опирания башмака опоры на сваю. Кроме того, предложено внести в конструкцию опоры два дополнительных элемента, блокирующих угол поворота опорного узла (рис. 2). Конструкция шарнирного узла прошла проверку при испытании опытного образца промежуточной опоры.

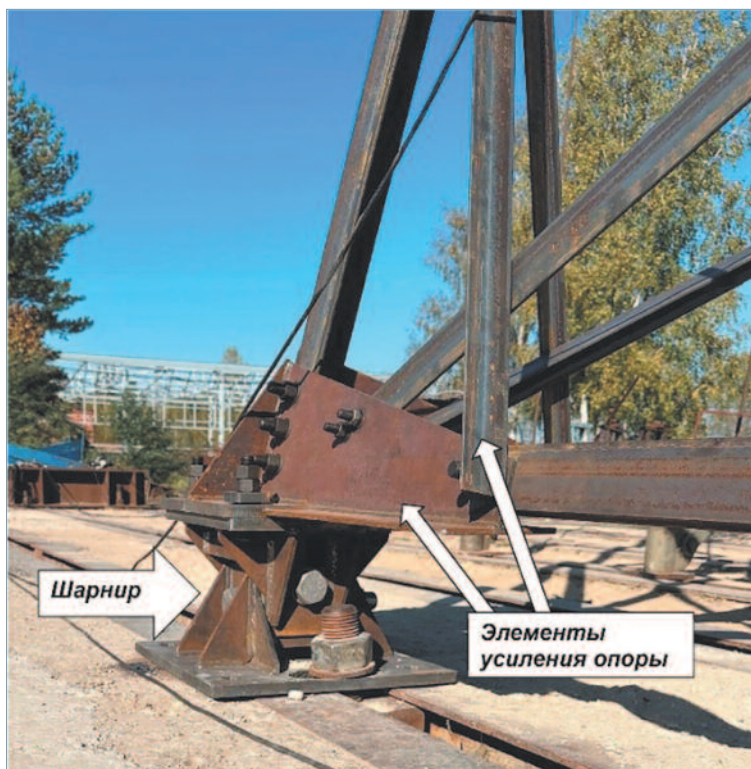


Рис. 2. Шарнирный узел соединения опоры со сваями на испытательном полигоне

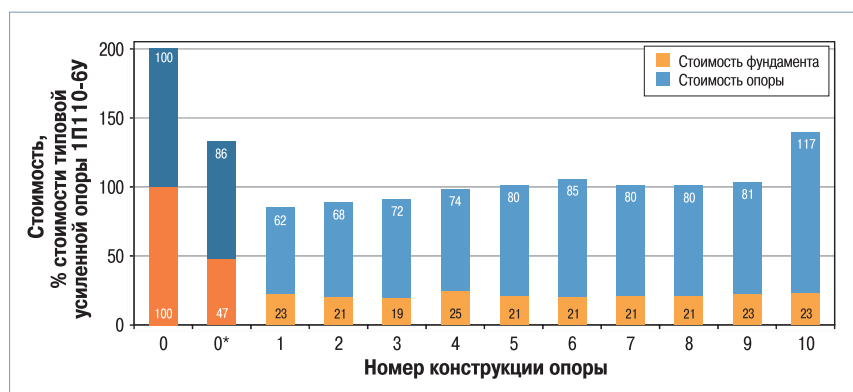


Рис. 3. Относительная стоимость одной опоры с фундаментами для условий грунтов со «стандартной» геологией

Результаты расчетов экономических показателей

Для технико-экономического обоснования выбора оптимальной конструкции опор из предложенных 10 вариантов для подвески провода АС 120/19 специалистами Краснодарского филиала ООО «РН-Проектирование Добыча» проведен подбор свайных фундаментов (числа и длины свай с учетом стоимости ростверков) на основании результатов расчетов, выполненных для трех условных типов грунтов (с «плохой», «стандартной» и «хорошей» геологией соответственно при наличии торфов, глинистых грунтов с показателем текучести более 0,6 и менее 0,6 в разрезе), встречающихся на объектах заказчика в Тюменской области. Расчеты выполнены в сертифицированной программе «Свая-САПР 2» в соответствии с работами [3–5].

В рассмотренных конструкциях опор наибольший экономический эффект обеспечивается за счет уменьшения стоимости устройства фундаментов – использования по одной свае под каждую ногу опоры вместо двух- и четырехсвайных фундаментов с балками ростверка (рис. 3).

Результаты расчетов стоимости строительства опор и фундаментов для трех условий закрепления на 1 км трассы ВЛ приведены в табл. 1. Выбрана опора 8, собираемая на болтах, для минимизации затрат на транспортировку.

Новой конструкции № 8 присвоено наименование П110-2РН. На основании решений, принятых для опоры П110-2РН, рассчитанной на подвеску провода АС 120/19, была разработана усиленная опора П110-4РН для подвески «тяжелых» проводов: АС150/24, АС 185/29, АС240/32, АСку 120/19, АСПк 120/19, АСку 185/24, АСПк 185/29. Обе опоры могут быть ис-

Таблица 1

Номер конструкции опоры	Сравниваемые опоры (маркировка рабочая)	Масса, т (%)	Пролет, м	Разница стоимости строительства, %, для условий грунтов с геологией		
				«плохой»	«стандартной»	«хорошей»
0	1П110-6У	4,26 (–)	250	–	–	–
0*	1П110-6У-3,2	3,67 (–)	225	–	–	–
1	П110-2-15,8-63-СС-0,7х0,7-С345	2,65 (–28)	205	-34	-35	-13
2	П110-2-15,8-64-СС-0,7х0,7-С345	2,90 (–21)	205	-34	-33	-10
3	П110-2-15,8-65-СС-0,7х0,7-С345	3,05 (–17)	205	-33	-33	-8
4	П110-2-19,5-63,3-СС-0,7х0,7-С345	3,15 (–14)	250	-40	-39	-18
5	П110-2-19,5-65-СС-0,7х0,7-С345	3,42 (–7)	250	-39	-40	-16
6	П110-2-19,5-65-СС-0,7х0,7-С390	3,28 (–11)	250	-37	-37	-14
7	П110-2-19,5-65-СС-0,7х1,05-С345	3,42 (–7)	250	-39	-40	-16
8	П110-2-19,5-65-СБ-С345	3,40 (–7)	250	-39	-40	-17
9	П110-2-19,5-63,8-СБ-С345	3,42 (–7)	250	-39	-40	-17
10	П110-2-25-66,8-СБ-С345	5,00 (+36)	300	-35	-33	-10

пользованы с подвеской грозотроса или без него (рис. 4). При отсутствии грозотроса в марке опоры добавляется буква Т.

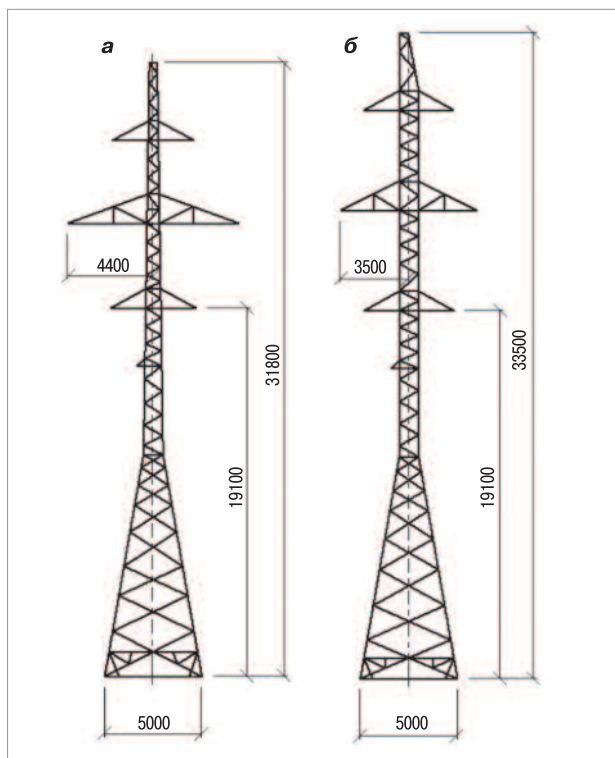


Рис. 4. Схемы новых промежуточных опор ВЛ 110 кВ П110-2РН (а) и П110-4РН (б)

Результаты сравнения разработанных опор с их типовыми аналогами, усиленными в соответствии с требованиями ПУЭ (7 издание) для «легких» и «тяжелых» проводов, приведены в табл. 2. Эффект по стоимости строительства указан для «стандартной» геологии грунтов.

Таблица 2

Показатели	Опоры			
	типовые усиленные		разработанные	
Тип провода	АС 120/19 «Тяжелый»	АС 120/19 «Тяжелый»	АС 120/19 «Тяжелый»	АС 120/19 «Тяжелый»
Марка опоры	П110-6У	П110-6М	П110-2РН	П110-4РН
Масса опоры, т	4,3	4,4	3,8	4,4
Эффект, %:				
по массе	–	–	-12	0
по стоимости опор и фундаментов на 1 км	–	–	-58	-48
по трудоемкости на 1 км	–	–	-58	-46

Выбор анкерных опор

Критерием выбора оптимальных конструкций анкерных опор, в том числе ответвительной, являлась минимизация их массы и стоимости монтажа с учетом затрат на фундаменты. Как и для промежуточных опор, были разработаны два типа анкеров У110-2РН и У110-4РН с

подставками +5, +10, +15 м для «легких» и «тяжелых» проводов. Оба типа опоры имеют одинаковую оптимальную геометрию и разный сортамент. Шпренгельная решетка позволила уменьшить свободные длины элементов, работающих на сжатие, за счет этого уменьшились размеры поперечных сечений и масса элементов. Например, масса опоры У110-2РН+5 по сравнению с массой типовой усиленной опоры 1У110-2У+5 уменьшилась на 10 %. Для снижения нагрузок на основание, а следовательно, и затрат на закрепление опор, расстояние между осями фундаментов было увеличено.

Ответвительная опора У110-8РН с подставками +5 и +10 разработана на базе анкерно-угловых опор. Масса опоры У110-8РН+5 уменьшилась по сравнению с массой типовой усиленной опоры 1У110-8У+5 на 14 %. Массы всех разработанных анкерных опор меньше массы опор – прототипов по типовой серии 3.407.2-170. Нагрузки на фундаменты не превышают таковые для типовых опор, т.е. стоимость фундаментов под новые опоры не увеличится.

Испытания промежуточной и анкерной опор на прочность, устойчивость и деформацию, выполненные на полигоне ООО «ИЦ ОРГРЭС» в Хотьково, подтвердили правильность расчетов и принятых конструктивных решений (рис. 5).



Рис. 5. Испытание промежуточной опоры

Заключение

В рамках выполненной работы были разработаны 26 марок двухцепных промежуточных и анкерных, решетчатых опор ВЛ 110 кВ для «легких» и «тяжелых» проводов.

Промежуточные опоры:

- П110-2РН и П110-2РН-Т для провода АС120/19;
- П110-4РН и П110-4РН-Т для проводов АС 150/24, АС 185/29, АС 240/32, АСку 120/19, АСПк 120/19, АСку 185/24, АСПк 185/29.

Анкерно-угловые опоры:

- У110-2РН и У110-2РН-Т с подставками +5, +10, +15 для провода АС120/19;
- У110-4РН и У110-4РН-Т с подставками +5, +10, +15 для проводов АС 150/24, АС 185/29, АС 240/32, АСку 120/19, АСПк 120/19, АСку 185/24, АСПк 185/29.

Ответвительные опоры:

- У110-8РН и У110-8РН-Т с подставками +5, +10 для всех проводов.

Опоры модернизированы по сравнению с применявшимися ранее опорами по типовым сериям старых унификаций, которые были оптимальны при использовании стали класса прочности С245 и рассчитаны в соответствии с требованиями ПУЭ (6 издание).

Климатические условия применения опор требовали использования стали класса прочности не ниже 345 (С345 или 09Г2С), для которой применявшаяся ранее решетка опоры была неэффективной. Желаемое снижение массы опор за счет уменьшения сечения при увеличении прочности стали сдерживалось уменьшением устойчивости уголков при их работе на сжатие.

Для эффективного использования высокопрочных сталей была переработана конструкция решетки опор, использованы шпренгельные элементы, уменьшающие свободные длины элементов, что позволило решить

проблему устойчивости при уменьшении поперечных сечений элементов.

Принято решение разрабатывать опоры из стали класса прочности 345, что позволяет на этапе проектирования ВЛ сделать экономически обоснованный выбор: использовать для защиты от коррозии цинковые покрытия или без переработки конструкции применять коррозионностойкую сталь 14ХГНДЦ того же класса прочности, не требующую цинкования.

Все разработанные опоры обладают меньшей массой (на 2,4 – 12,5 %) по сравнению с массой типовых конструкций, усиленных с целью соответствия требованиям ПУЭ (7 издание).

Сравнение удельной стоимости строительства на 1 км трассы ВЛ показало следующее:

- за счет предложенной конструкции шарнирного узла соединения опоры с фундаментом снижена стоимость закреплений опор;
- общее уменьшение стоимости опор и фундаментов на 1 км трассы для «легких» и «тяжелых» проводов составило соответственно 58 и 48 %, а трудоемкости – соответственно 58 и 46 %;
- стоимость строительства 1 км трассы ВЛ снизилась на 36 %.

Опытные образцы опор прошли испытания на полигоне «ОРГРЭС».

Новые опоры с 2026 г. рекомендованы для использования при проектировании строительства новых объектов заказчика.

Список литературы

1. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции.
2. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии.
3. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024618025 от 27.03.2024 г. «Программа «Свая-САПР 2»
5. Выполнение расчетов свайных фундаментов с применением программы «Свая-САПР Про» / А.Д. Дубров, Ю.С. Поверенный, С.С. Медяник [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 82–86. – <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2022-3-82-86>. – EDN: IIMJMN

References

1. SP 16.13330.2017. *Stal'nye konstruksii* (Steel structures).
2. SP 28.13330.2017. *Zashchita stroitel'nykh konstruksiy ot korrozii* (Protection of building structures from corrosion).
3. SP 24.13330.2021. *Svaynye fundamenty* (Pile foundations).
4. Certificate of state registration of computer software No. 2024618025 dated March 27, 2024 "Programma "Svaya-SAPR 2" (Program "Pile-SAPR 2")
5. Dubrov A.D., Poverenny Yu.S., Medyanik S.S. et al., *Calculations of pile foundations using the Svaya-SAPR Pro software* (In Russ.), Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry, 2022, No. 3, pp. 82–86, DOI: <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2022-3-82-86>