

Л.И. Качановская, к. т. н.,
заведующая лабораторией
С.П. Касаткин, к. т. н.,
руководитель сектора конструкций
Т.И. Сбойчакова,
ведущий инженер
Е.О. Румянцева,
ведущий инженер
ООО «Энерго-
железобетонинвест», НИЛКЭС

Ю.С. Поверенный,
главный специалист архитектурно-
строительного отдела № 1
П.Н. Горб,
главный инженер проекта
ООО «НК "Роснефть" — НТЦ»

Оптимальные решетчатые опоры ВЛ 110 кВ для легких и тяжелых проводов: особенности закрепления в слабых грунтах

Как сократить затраты на строительство ВЛ в районах, где стоимость фундаментов может превышать стоимость опор? Ответ дан в статье, посвященной решению двух взаимосвязанных задач:

- создание новых опор ВЛ 110 кВ с оптимизированной геометрической схемой;
- организация специального шарнира между опорой и фундаментом, позволяющего вдвое сократить количество свай за счет исключения возможности передачи изгибающих моментов от свайного фундамента на элементы конструкции.

Зачем нужны новые опоры

Вопрос о необходимости разработки новых опор для ВЛ 110 кВ стоит давно. Старые унифицированные опоры типовых серий прошлого века с выходом 7-й редакции ПУЭ потеряли статус типовых и перешли в разряд «материалов для проектирования». Проектировщики вынужденно их используют, проводя перерасчет по новым относительно ПУЭ-6 правилам для условий каждого проекта ВЛ.

Существуют два подхода к использованию старых опор:

- без изменения конструкции подбор длины пролетов, нагрузки от которых не будут превышать рассчитанных — этот путь существенно увеличивает количество металла на трассе;
- усиление отдельных элементов конструкции (обычно не более 10% элементов) при подборе максимальных возможных расстояний меж-

ду опорами — в этом случае количество опор и общая металлоемкость на 1 км ВЛ увеличиваются не так резко.

Конструкции типовых опор были оптимальны при использовании стали класса прочности 245 (Ст3).

В соответствии с требованиями СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» при эксплуатации ВЛ в районах с низкой температурой воздуха необходимо изготавливать конструкции из стали класса прочности 345, что и выполнялось простой заменой, часто без изменения чертежей опор. Это приводило к недоиспользованию возможностей более прочной стали.

Задача сокращения затрат на строительство двухцепных ВЛ 110 кВ в суровых северных труднодоступных районах зоны деятельности ООО «РН-Уватнефтегаз», где работы по изготовлению фундаментов и монтажу опор могут проводиться только в зимний период, была по-



ставлена в 2023 г. К выполнению опытно-конструкторских работ были привлечены специалисты НИЛКЭС (разработка опор), ООО «НК «Роснефть» — НТЦ» (расчеты фундаментов и технико-экономических показателей строительства ВЛ) и ООО «СамараНИПИнефть» (проверка всех технических решений и анализ возможности их использования на примере конкретных проектов). На основании технико-экономического сравнения вариантов предстояло выбрать конструкции промежуточной и анкерно-угловой опор для составления конструкторской документации, разработать и испытать опытные образцы, на базе проверенных решений завершить разработку комплектов конструкторской документации, включающей варианты опор для подвески «легких» и «тяжелых» проводов.

Как найти оптимальную конструкцию

Критерием оптимальности опор ВЛ является удельная стоимость их установки и закрепления на каждый километр трассы ВЛ.

Основными задачами при проектировании являлись минимизация массы опор и сокращение нагрузок на фундаменты.

При решении вопроса уменьшения массы опор за счет использования стали класса прочности 345 (вместо 245) было принято во внимание следующее. Все элементы решетчатых опор ВЛ работают как на растяжение, так и на сжатие. И если при расчете на растяжение возможно сократить поперечное сечение элементов при использовании более прочной стали, то при расчете на сжатие требования обес-

печения устойчивости зачастую не позволяют уменьшить сечения длинномерных элементов уголкового профиля, что не дает возможности получить экономический эффект от использования более прочной стали. Для оптимального использования стали класса прочности 345 (и сокращения таким образом массы опор) целесообразно пересмотреть их геометрические схемы, конструктивно сократив в отдельных случаях свободные длины элементов и улучшив тем самым их устойчивость и, как результат, размеры сортамента.

Сокращение нагрузок на фундаменты и соответственно их стоимость напрямую связаны с увеличением расстояния между осями фундаментов.

При выборе оптимальной конструкции опоры расчеты велись для климатических условий III ветрового и III гололедного районов при подвеске наиболее часто используемого при строительстве «легкого» провода АС120/19. Результаты сравнивались с типовыми опорами 1П110-6У и 1П110-6У-3.2 из стали класса прочности 345, пояса которых ниже уровня траверс были усилены для соответствия требованиям ПУЭ-7.

Какие варианты промежуточных опор рассмотрены

Для поиска конструктивной схемы опоры с минимальной массой и минимальными нагрузками на закрепления были разработаны эскизные проекты 10 типов промежуточных опор (рис. 1), различающихся высотой подвески нижнего провода, гео-

метрическими размерами, в том числе расстоянием между осями фундаментов.

Все 10 типов предложенных конструкций можно условно разделить на три группы, различающиеся высотой подвески провода. Так как габаритный пролет усиленной типовой опоры 1П110-6У для принятых условий составляет 250 м (для пониженной 1П110-6У-3.2 — 225 м), то первая группа из трех опор с высотой подвески нижнего провода $H = 15,8$ м рассчитана на размер пролета меньше, чем у типовой опоры, во второй группе из шести опор ($H = 19,5$ м) пролет составляет 250 м, в третьей группе с одной опорой ($H = 25$ м) пролет равен 300 м.

Опоры первой группы (1-3-й варианты) с узкобазыми в верхней части стволами размером $0,7 \times 0,7$ м различаются размерами нижних секций (3, 4, 5 м между осями фундаментов). Увеличение расстояния между осями свай, с одной стороны, ведет к утяжелению нижней секции опоры (общая масса изменяется от 2,65 до 3,05 т), но в то же время позволяет существенно сократить осевые нагрузки на свайные фундаменты, что в целом существенно сказывается на общей стоимости строительства.

Опоры второй группы (4-9-й варианты) при похожей схеме расположения траверс различаются размерами нижних секций как в части изменения поперечного сечения ствола по высоте, так и в части базы опор (от 3,3 м, как у типовых опор, до 5 м). Например, с увеличением базы опоры до 5 м ее масса возрастает на 8%, но нагрузки на фундаменты сокращаются на 29%.

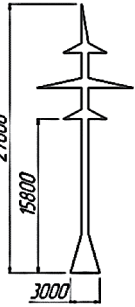
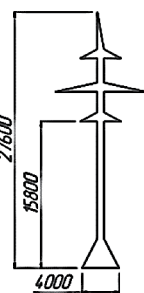
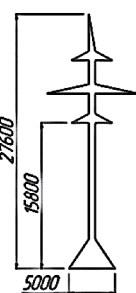
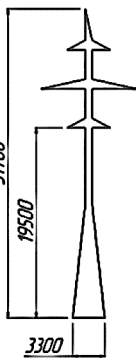
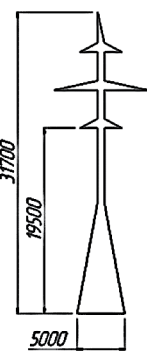
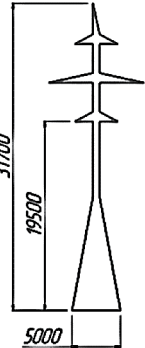
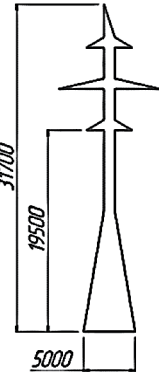
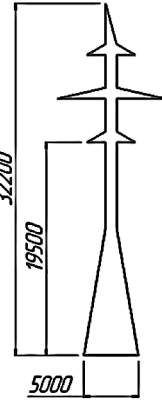
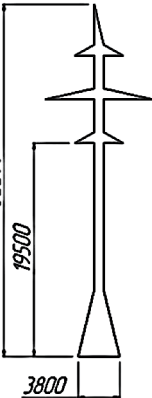
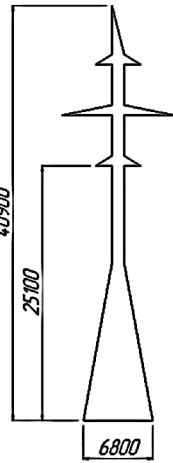
№ варианта	1	2	3	4	5
Схема опоры					
Масса, т	2,65	2,90	3,05	3,15	3,42
L габ/ветр/вес, м	205 / 205 / 256			250 / 250 / 312	
№ варианта	6	7	8	9	10
Схема опоры					
Масса, т	3,28	3,42	3,40	3,42	5,00
L габ/ветр/вес, м	250 / 250 / 312				300 / 300 / 375

Рис. 1. Обзорный лист вариантов промежуточных опор ВЛ 110 кВ

Для уменьшения свободных длин и повышения устойчивости стержневых элементов используется шпренгельная система.

Рассмотрены варианты сварного и болтового соединения верхних секций опор.

Узкобазые опоры, размер сварных стволов которых составляет 0,7×0,7 м, компактно помещаются в кузов машины (9 секций одновременно), однако требуют

больших затрат на транспортировку. Решение отдано в пользу болтовых узлов соединения элементов, которые при оптимальных затратах на перевозку позволили существенно упростить изготовление конструкций и снизить стоимость.

Попытка уменьшить металлоемкость опоры за счет увеличения размеров верхней части ствола в направлении максимальных ветровых нагрузок (0,7×1,05 м) себя не оправдала. Сечения по-

ясов несколько уменьшились, но увеличение длины каждого раскоса в плоскости оси траверс не позволило сократить массу опоры.

Массы опор варьируют от 3,15 т (с базой 3,3 м) до 3,42 т (с базой 5 м), что на 7–14 % меньше типовой усиленной опоры 1П110–6У-3.2.

При проработке конструкции размеры элементов основного ствола опоры подобраны таким

образом, чтобы при раскрое минимизировать отходы. Обычная длина поставляемого сортамента составляет порядка 12 м. Отдельные элементы имеют кратную длину — 4, 6, 12 м.

Проанализирована целесообразность использования стали повышенной прочности С390 на примере варианта 6. По сравнению со сталью класса прочности 345 (например, 09Г2С) она позволяет сократить массу опор не более чем на 4 %, что с учетом ее стоимости и ограниченного сортамента не сможет дать реальной выгоды при строительстве.

В результате, все конструкции рассчитаны на использование стали класса прочности 345. Такой подход позволяет на этапе проектирования конкретной ВЛ сделать экономически обоснованный выбор способа защиты опор от коррозии. Конструкции могут быть оцинкованы или выполнены из современной атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ, позволяющей экономить на отказе от цинкования элементов опор.

Опора третьей группы (10-й вариант) с пролетом 300 м подтвердила экономическую целесообразность увеличивать высоту конструкций для достижения больших пролетов.

Потребовалось поднять высоту подвески опор на отметку 25 м. Общая высота опоры увеличилась до 41 м, расстояние между осями свай — 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 подъеме отметки центра тяжести проводов выше 15 м использован повышающий коэффициент на ветровое давление. Ветровая нагрузка на провода стала выше на 30 %, на трос — на 26 %. Горизонтальные нагрузки на фундаменты увеличились на 25 %.

Для обеспечения необходимого габарита напряжение в тросе пришлось поднять с 31 до 43 кг/мм², что увеличило нагрузку на анкерную опору. Масса опоры составила порядка 5 т.

При увеличении высоты опоры ее масса увеличивается нелинейно относительно длины пролета, а нагрузки на фундаменты (а значит, и их масса) возрастают существенно, что в целом приводит к неоправданному

увеличению общей стоимости затрат на 1 км трассы ВЛ.

Как выбрать оптимальную промежуточную опору

Так как общая стоимость строительства ВЛ в Западной Сибири существенно зависит не только от цен на опоры, а чаще всего определяется стоимостью фундаментов и затрат на монтажные работы на трассе ВЛ, для окончательного выбора опоры были выполнены расчеты удельной стоимости опор и фундаментов на трассе.

Проведен подбор свайных фундаментов (количество и длина свай, размеры ростверков) для трех условных типов грунтов, встречающихся на объектах заказчика (рис. 2, табл. 1).

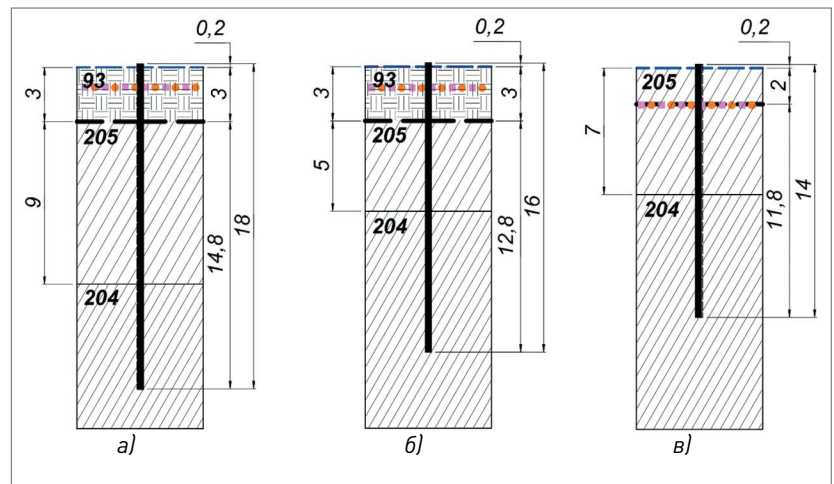


Рис. 2. Схемы инженерно-геологических условий, принятых в расчетах фундаментов: а) «плохая» геология; б) «стандартная» геология; в) «хорошая» геология (без торфа)

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов

ИГЭ	Грунт	1L, д. ед.	е, д. ед.	С, кПа	φ, град.	ρ1, г/см ³
93	Торф	-	13,34	-	-	1,00
205	Суглинок	0,86	0,90	12	9	1,84
204	Суглинок	0,57	0,86	15	16	1,86

Основная проблема с закреплением опор связана с часто встречающимися на трассе слабыми грунтами и глубокими болотами. Выбор типов закреплений в таких условиях сводится обычно к свайным фундаментам из металлических труб диаметром 219 мм, количество и длина которых определяются нагрузками от опоры и существенно зависят от грунтов основания. В случае глубокого залегания несущих грунтов головы свай могут существенно отклоняться, получать угол поворота и передавать изгибающий момент на сжатые элементы опоры из уголкового профиля, которые не могут быть рассчитаны в соответствии с СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» на такие воздействия. Ограничение смещений голов свай достигается увеличением их количества под каждую точку опирания. Даже под промежуточные опоры в таких условиях устанавливают не менее двух свай, объединенных балкой ростверка.

Как сократить количество свай в фундаменте

Для того чтобы исключить необходимость ограничения углов поворота свай в грунте и не увеличивать количество свай под каждую ногу опоры предложено организовать шарнирный узел опирания башмака опоры на сваю (рис. 3). В этом случае дополнительные изгибающие усилия от неизбежного отклонения свай в слабых грунтах не будут передаваться на элементы опоры, что исключает возможность работы уголкового элемента решетки на сжатие с изгибом.

Шарнирный узел с двумя степенями свободы имеет компактную конструкцию, которая полностью

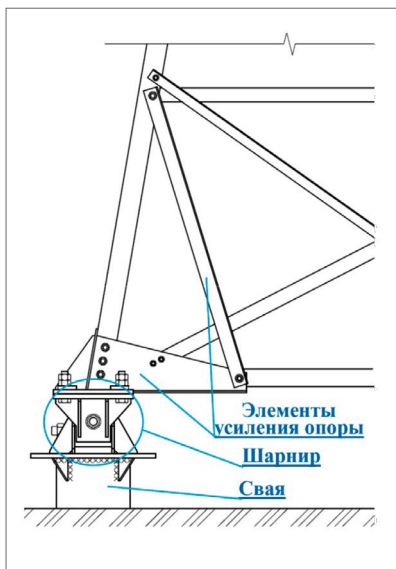


Рис. 3. Схема установки шарнира между пятой опорой и свайей

собирается на заводе-изготовителе и поставляется на место установки в виде готового модуля.

Нижний узел опирания опоры на фундамент усилен дополнительными элементами для исключения возникновения изгибающих усилий в элементах решетки. Такая конструкция даже без шарнирного узла поз-

воляет допустить минимальные отклонения свай, изгибающий момент от которых не должен превышать 3 тм.

Технические решения по конструкции опоры и шарнирному узлу запатентованы (патент на полезную модель № 231517 «Шарнирный узел крепления опоры линии электропередачи к фундаменту», дата регистрации: 29.01.2025).

Результаты расчетов экономических показателей

В принятых климатических и геологических условиях в типовой опоре (без использования шарнира) под каждую ногу опоры предусмотрено по две сваи, объединенных балкой ростверка, в новых опорах с шарниром — по одной свае.

Диаграмма относительной стоимости каждого варианта опоры и ее фундамента в «стандартной» геологии (рис. 4) показывает, что наибольший эффект достигается именно за счет уменьшения стоимости закреплений.

Все конструкции рассчитаны на использование стали класса прочности 345. Такой подход позволяет на этапе проектирования конкретной ВЛ сделать экономически обоснованный выбор способа защиты опор от коррозии. Конструкции могут быть оцинкованы или выполнены из современной атмосферостойкой стали 14ХГНДЦ, позволяющей экономить на отказе от цинкования элементов опор.

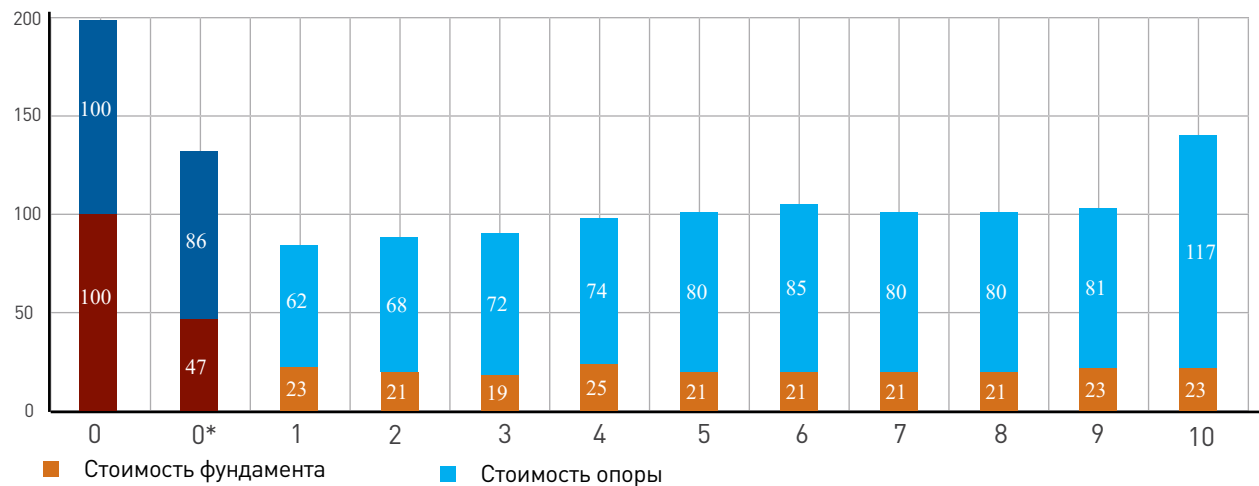


Рис. 4. Относительная стоимость вариантов опор и фундаментов для «стандартной геологии», % от затрат на типовую опору [0] — 1П110-6У

Результаты расчетов экономических показателей на 1 км трассы ВЛ приведены в табл. 2. Жирным шрифтом выделена информация для типовых опор 1П110-6У, 1П110-6У-3.2 и выбранной для разработки опоры 8, собирае-

мой на болтах. Будучи сопоставима по стоимости изготовления со сварными вариантами 4 и 5, эта конструкция позволяет минимизировать затраты на транспортировку. Новой опоре присвоено наименование П110-2РН.

На базе решений, принятых для опоры П110-2РН, рассчитанной на подвеску «легкого» провода АС120/19, была разработана усиленная опора П110-4РН для подвески «тяжелых» проводов АС150/24, АС185/29, АС240/32,

Таблица 2. Сравнение вариантов новых промежуточных опор ВЛ 110 кВ с типовой опорой 1П110-6У-3.2 на 1 км трассы ВЛ с учетом фундаментов

№	Сравниваемые опоры (маркировка рабочая)	Масса, т	Масса, %	Пролет, м	Разница стоимости строительства для условий закрепления, %		
					плохие	стандартные	хорошие
0	1П110-6У	4,26	-	250	-	-	-
0*	1П110-6У-3.2	3,67	-	225	-	-	-
1	П110-2-15,8-Б3-СС-0.7х0.7-С345	2,65	-28	205	-34	-35	-13
2	П110-2-15,8-Б4-СС-0.7х0.7-С345	2,90	-21	205	-34	-33	-10
3	П110-2-15,8-Б5-СС-0.7х0.7-С345	3,05	-17	205	-33	-33	-8
4	П110-2-19,5-Б3.3-СС-0.7х0.7-С345	3,15	-14	250	-40	-39	-18
5	П110-2-19,5-Б5-СС-0.7х0.7-С345	3,42	-7	250	-39	-40	-16
6	П110-2-19,5-Б5-СС-0.7х0.7-С390	3,28	-11	250	-37	-37	-14
7	П110-2-19,5-Б5-СС-0.7х1.05-С345	3,42	-7	250	-39	-40	-16
8	П110-2-19,5-Б5-СБ-С345	3,40	-7	250	-39	-40	-17
9	П110-2-19,5-Б3.8-СБ-С345	3,42	-7	250	-39	-38	-16
10	П110-2-25-Б6.8-СБ-С345	5,00	+36	300	-35	-33	-10

АСку120/19, АСПк120/19, АСку185/24, АСПк185/29 (рис. 5).

Обе новые опоры могут быть использованы с подвеской грозотроса или без него: П110-2РН-Т и П110-4РН-Т. Область применения опор приведена в табл. 3.

Результаты сравнения разработанных опор с их типовыми аналогами, рассчитанными на те же условия, сведены в табл. 4.

■ Выбор анкерных опор

Критерием выбора оптимальных конструкций анкерных опор, в том числе и ответвительной,

Критерием оптимальности опор ВЛ является удельная стоимость их установки и закрепления на каждый километр трассы ВЛ.

являлась минимизация их массы и стоимости монтажа с учетом затрат на фундаменты. Сравнение проводилось с типовыми анкерными опорами У110-2, усиленными под требования ПУЭ-7. Как и для промежуточных конструкций, было разработано два типа анкерных опор — У110-2РН и У110-4РН с подставками +5, +10, +15 м для «легких» и «тяжелых» проводов (рис. 6). Разрабо-

таны варианты анкерных опор без тросостоек.

Область применения новых анкерных опор приведена в табл. 5.

Оба типа новых опор имеют одинаковую геометрию, но разный сортамент. Использование шпренгельной решетки, в основном в сильно нагруженных подставках, дало возможность уменьшить свободные длины элементов, работающих на сжатие, сократить поперечные сечения и массы элементов. Для сокращения нагрузок на основание и затрат на закрепление опор расстояние между осями фундаментов было увеличено. Массы разработанных анкерных опор меньше массы опор-прототипов на 2,4–6,8% в зависимости от размеров подставки. Для опор без тросостоек разница составляет 7,6–10%.

Ответвительная опора У110-8РН с подставками +5 и +10 разработана на базе новых анкерно-угловых опор и рассчитана для всех перечисленных типов проводов (рис. 7).

Массы новых ответвительных опор меньше, чем массы типовых опор на 8,8–10,3%, без тросостоек — на 11,9–12,5%.

Нагрузки на фундаменты всех анкерных опор не превышают таковые для типовых опор, т.е. стоимость фундаментов под новые опоры даже для «тяжелых» проводов не увеличится.

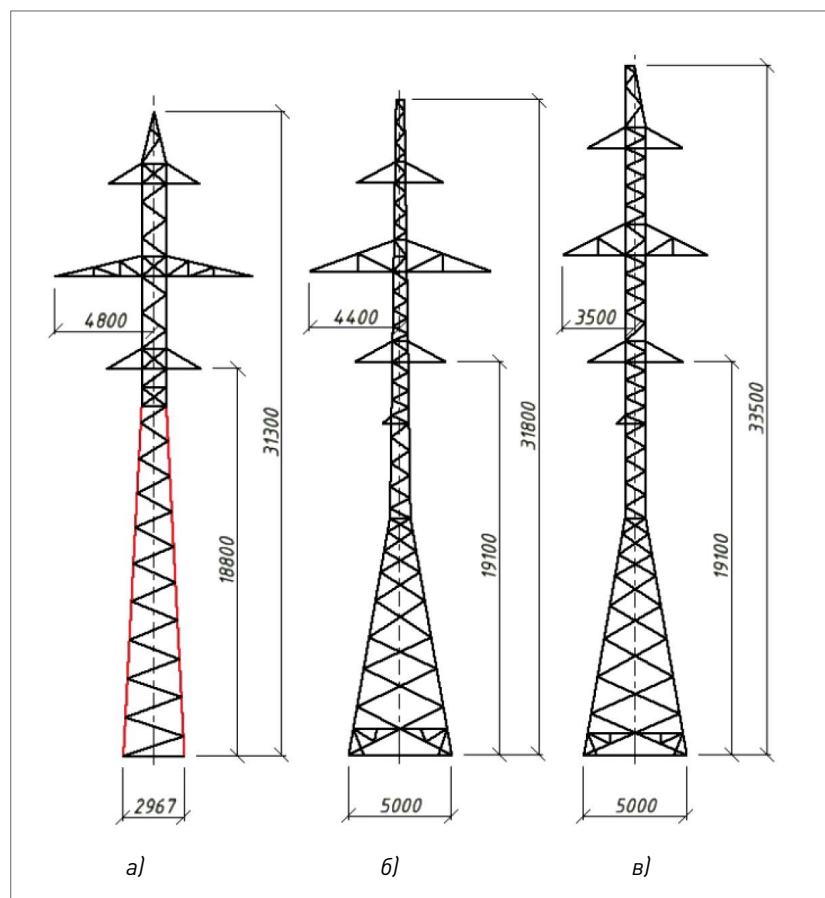


Рис. 5. Схемы промежуточных опор:
а) типовая усиленная 1П110-6У-3.2; б) П110-2РН; в) П110-4РН

Таблица 3. Область применения опор П110-2РН для «легких» и опор П110-4РН для «тяжелых» проводов

Опора		П110-2РН	П110-4РН						
РКУ		Район по ветру III (650 Па), район по гололеду III (20 мм)							
Провод	марка	АС120/19	АСк _у 120/19	АСПк120/19	АС150/24	АС185/29	АСк _у 185/24	АСПк185/29	АС240/32
	σ _{max} , кг/мм ²	13,5	16,3	16,7	13,5	13,5	13,2	13,2	12,2
Трос	марка	9,2-МЗ-В-ОЖ-Н-Р							
	σ _{max} , кг/мм ²	35	47						
ОКСН	марка	ДПТ-032Е06-06-200,0/0,4-Х (ДПТ-Э-48у(6х8)-25кН)							
	σ _{max} , кг/мм ²	13,4 (17,7)							
Пролет, м	габариты	250	280	280	270	285	290	290	295
	ветровой	250	280	280	270	285	290	290	295
	весовой	312	350	350	337	356	362	362	369

Таблица 4. Экономический эффект применения разработанных промежуточных опор

Показатель	Типовые усиленные опоры		Разработанные опоры	
Провод	АС120/19	«тяжелые»	АС120/19	«тяжелые»
Марка опоры	1П110-6У	1П110-6М	П110-2РН	П110-4РН
Масса опоры, т	4,3	4,4	3,8	4,4
Эффект по массе, %	-	-	-12	0
Эффект по стоимости опор и фундаментов на 1 км, %	-	-	-59	-48

Таблица 5. Область применения опор У110-2РН для «легких» и опор У110-4РН для «тяжелых» проводов

Опора		У110-2РН	У110-4РН						
РКУ		район по ветру III (650 Па), район по гололеду III (20 мм)							
Провод	марка	АС120/19	АСк _у 120/19	АСПк120/19	АС150/24	АС185/29	АСк _у 185/24	АСПк185/29	АС240/32
	σ _{max} , кг/мм ²	13,5	16,3	16,7	13,5	13,5	13,2	13,2	12,2
Трос	марка	9,2-МЗ-В-ОЖ-Н-Р							
	σ _{max} , кг/мм ²	45	60						
ОКСН	марка	ДПТ-032Е06-06-20,0/0,4-Х (ДПТ-Э-48у(6х8)-25кН)							
	σ _{max} , кг/мм ²	13,4 (17,7)							
Угол поворота, град.		0-60							
Концевой опоры, град.		9	60			33	39	35	9
Пролет, м	ветровой	255	285	290	275	295	295	295	305
	весовой	382	428	435	412	442	442	442	458

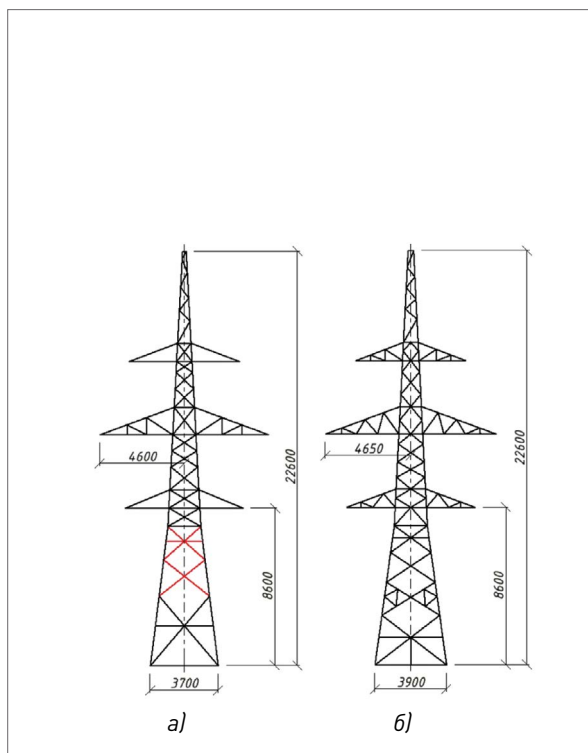


Рис. 6. Схемы анкерно-угловых опор:
а) типовая 1У110-2М, усиленная под ПУЭ-7 для АС120/19 (4,67 т); б) новые опоры У110-2РН для АС120/19 (4,56 т) и У110-4РН (5,89 т) для «тяжелых» проводов

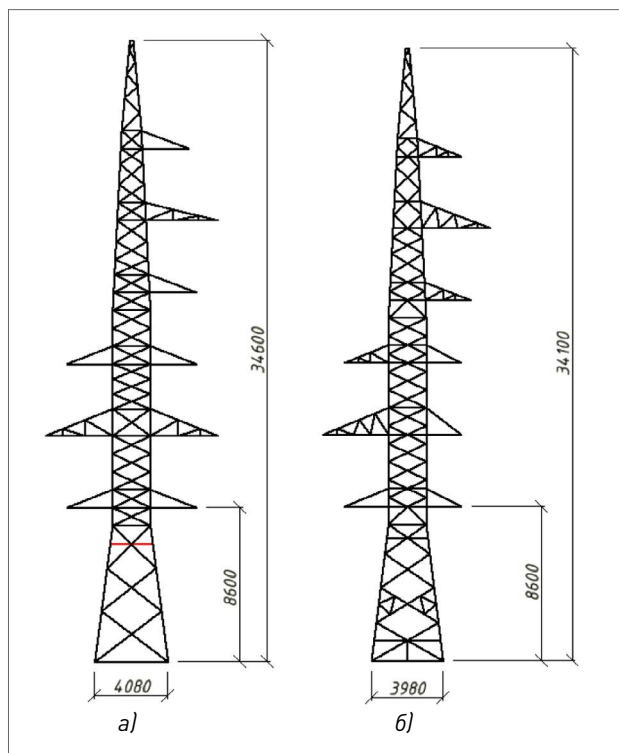


Рис. 7. Схемы ответвительных опор:
а) типовая усиленная У110-8У под ПУЭ-7 для АС120/19 (10,21 т); б) новая У110-8РН для АС120/19 и «тяжелых» проводов (9,32 т)

Обеспечение безопасности работников при работе на высоте достигается за счет применения в опорах степ-болтов со стационарными анкерными точками типа «открытая петля» (рис. 8). Такая конструкция позволяет на любой высоте мгновенно организовывать страховку работника одним круговым движением руки и в результате подниматься на опору со скоростью простого подъема по лестнице, быстро организовывая гибкие анкерные линии. Такие анкерные точки являются частью конструкции опоры. Их осмотры проводятся в процессе обследования конструкций, специальных требований к их контролю не предъявляется.



Рис. 8. Проверка использования степ-болтов с анкерными точками на полигоне ПС 500 кВ «Белый Раст» в 2018 г.

Испытания опытных образцов опор

Опытные образцы двухцепных промежуточной П110-2РН и анкерной У110-2РН опор прошли испытания на прочность, устойчивость и деформативность на полигоне ООО «ИЦ ОРГРЭС» (рис. 9, 10). Промежуточная опора была установлена на шарниры вышеуказанной конструкции.

Выводы

1. По заказу ООО «НК «Роснефть» — НТЦ» разработана полностью готовая к использованию серия двухцепных опор ВЛ 110 кВ, позволяющая существенно сократить стоимость строительства линии



Рис. 9. Испытание промежуточной опоры П110-2РН в 2024 г.



Рис. 10. Испытание анкерной опоры У110-2РН в 2025 г.

- за счет сокращения массы конструкций и уменьшения нагрузок на фундаменты.
2. Промежуточные, анкерные и ответительные опоры (всего 26 конструкций) разработаны для «легкого» (АС120/19) и для «тяжелых» (АС150/24, АС185/29, АС240/32, АСку120/19, АСПк120/19, АСку185/24, АСПк185/29) проводов.
 3. Опытные образцы опор испытаны на полигоне ООО «ИЦ «ОРГРЭС».
 4. Разработан специальный шарнирный узел опирания для установки промежуточных опор, позволяющий даже в слабых грунтах устанавливать по одной свае под каждую ногу опоры. Удельная стоимость строительства в этом случае по сравнению с использованием типовых решений сокращается на 59 %.



АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ И КОМПЕНСАТОРЫ. МОНОГРАФИЯ

СОКУР П. В.

МОСКВА; ВОЛОГДА: ИНФРА-ИНЖЕНЕРИЯ, 2025. 156 с.,
ISBN 978-5-9729-2188-1

Рассмотрены устройство асинхронизированных турбогенераторов и компенсаторов, их конструктивные особенности, работа в установившихся и переходных режимах, резервные режимы работы, в том числе асинхронный режим работы без возбуждения. Представлена математическая модель асинхронизированного турбогенератора, даны рекомендации по моделированию в программном пакете Matlab Simulink, в том числе по работе модели в режиме реального времени. В приложениях даны подробные справочные данные по эксплуатируемым и проектируемым асинхронизированным турбогенераторам и компенсаторам.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений, специалистов проектных организаций, работников электростанций и других предприятий в сфере электроэнергетики.