

Отечественный шарнирный узел для установки опор на свайный фундамент для исключения изгибающего момента, передаваемого на опоры при отклонении вершук свай

Секция 1 научно-технического совета ПАО «Россети»
«Технологии и оборудование линий электропередачи»
Москва 25.03.2026

Касаткин Сергей Петрович, к.т.н.

Сайт: НИЛКЭС.РФ
Адрес: Россия, Санкт-Петербург, ул. Таврическая, 17, оф.501
Телефон: +7 (812) 309 39 61
Почта: info@nilkes.ru

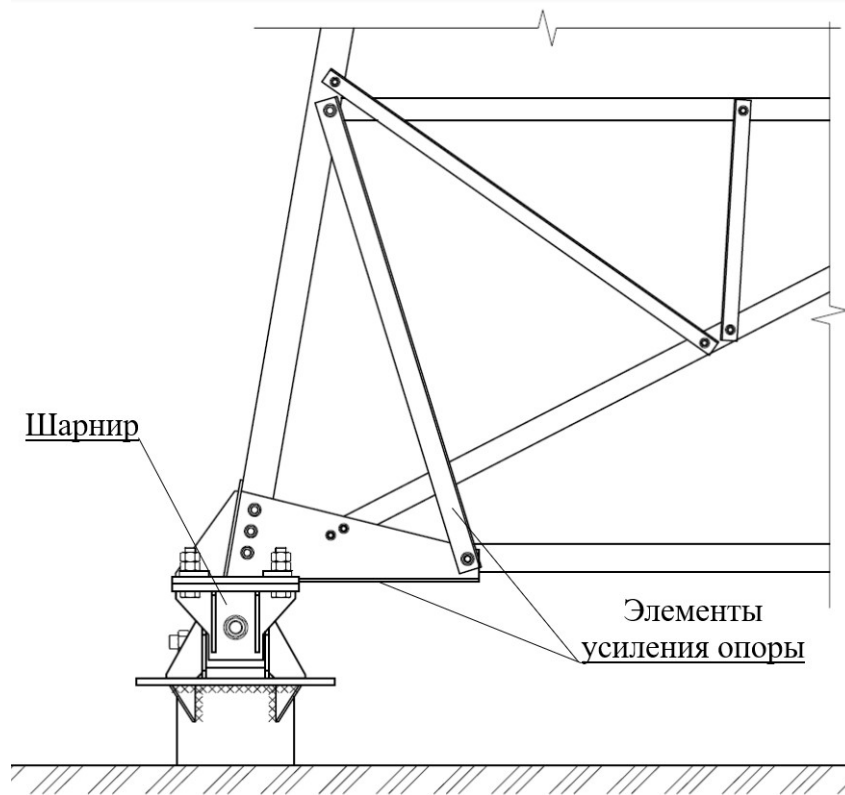
Вопросы закрепления опор в слабых грунтах

1. Стоимость строительства ВЛ существенно зависит от стоимости фундаментов
2. **Сваи** работают как высокий свайный ростверк, **отклоняются** по действию нагрузок от опор
3. **Угол поворота свай** в слабых грунтах **ограничивают** (0,006 рад. в серии 3.407.9-146.0)
4. Для этого устанавливают **по 2-4 сваи под ногу опоры вместо 1**, достаточной по расчету прочности
5. Ограничение угла поворота свай обусловлено **необходимостью исключения передачи изгибающего момента от отклоненной сваи на опору**. Пояс и раскосы опор не рассчитаны на совместное воздействие изгибающего момента и продольных сил.

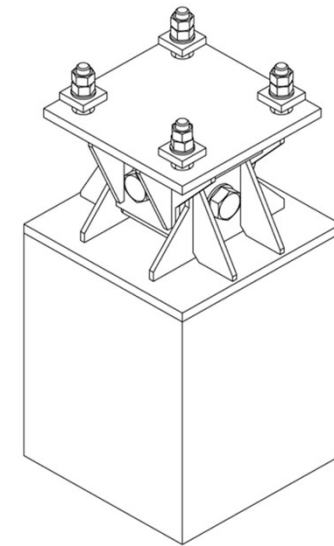
СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» не подразумевает возможность расчёта уголкового профиля на сжатие с изгибом

Шарнирный узел опирания башмака опоры на сваю

Для снятия ограничений по углу поворота голов свай в слабых грунтах предлагается установка шарнира, исключающего изгиб в элементах опоры



Шарнирный узел
между металлической сваем и пятой опоры.



Шарнирный узел
на железобетонной свае

Экономические показатели

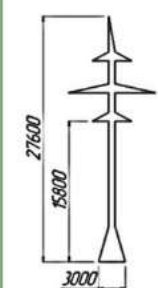
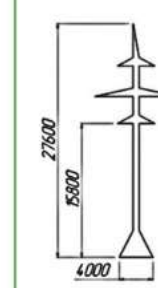

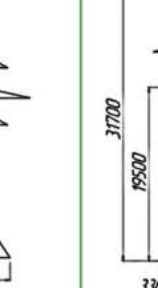
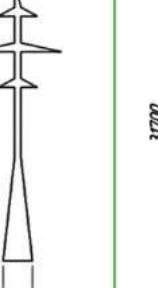
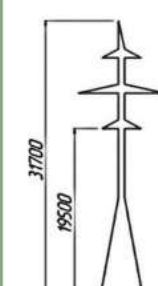
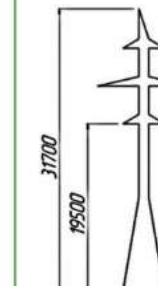

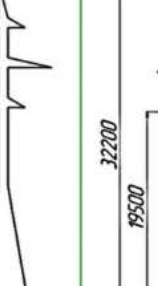
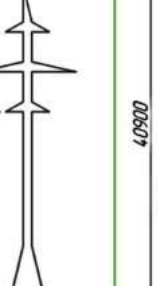
Разработаны варианты опор для сокращения затрат на 1 км ВЛ с учетом стоимости фундаментов

ООО «НК «Роснефть» – НТЦ» проведен подбор свайных фундаментов (количества и длины свай с учетом стоимости ростверков) на условия:

- «хорошей»
- «стандартной»
- «плохой» геологией в Тюменской области

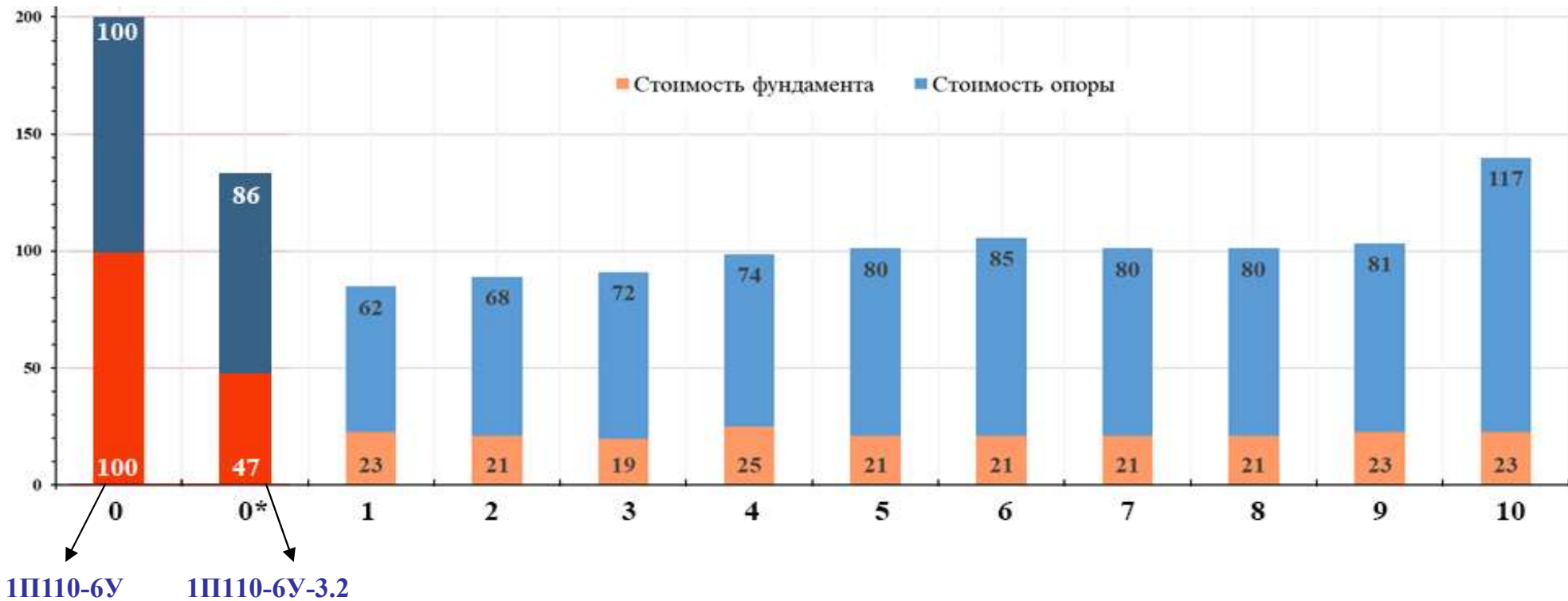
- Для типовых опор 1П110-6У 1П110-6У-3.2 без шарнира (по 2 сваи + ростверк)

- Для новых опор с шарниром (по 1 свае без ростверка)

№ 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	

Для сокращения осевых нагрузок на фундаменты увеличена база опор

Относительная стоимость одной опоры с фундаментами (в процентах от типовой усиленной опоры 1П110-6У)



Затраты:

на новые опоры – 62 - 81% от типовой опоры (за счет новой схемы опоры)

на фундаменты – 19 - 25% от фундаментов под типовые опоры
(за счет длины, количества свай и отсутствия ростверков)

Стоимость строительства 1 км ВЛ для 3-х условий закрепления

№	Сравниваемые опоры (маркировка рабочая)	Масса, т	Масса, %	Пролет, м	Разница стоимости строительства для условий закрепления, %		
					плох.	стандарт	хор.
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

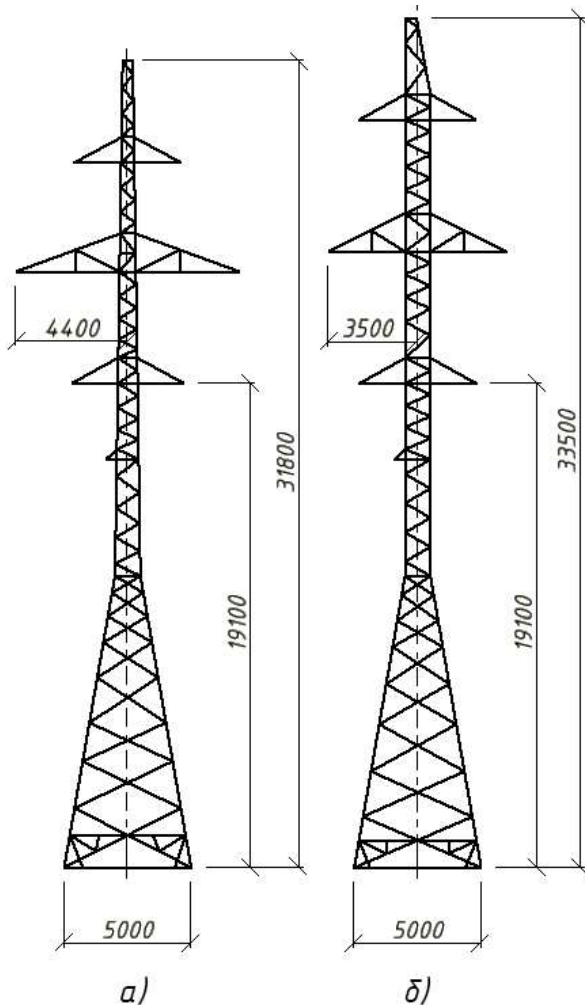
Для опоры 8 по сравнению с типовой пониженной 1П110-6У-3.2:

Масса уменьшилась на 7%

Стоимость строительства 1 км уменьшилась на 17- 40% для разных условий закрепления

Итоговый экономический эффект

Сравнение опор с их типовыми аналогами для «легких» и «тяжелых» проводов



Показатели	Типовые усиленные опоры		Разработанные опоры	
	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%
Эффект по трудоемкости на 1 км, %	-	-	-58%	-46%

Схемы новых промежуточных опор ВЛ110 кВ:

- а) П110-2РН - для «легкого» провода АС120/19;
- б) П110-4РН - для «тяжелых» проводов:
АС150/24, АС185/29, АС240/32, АСку 120/19,
АСПк120/19, АСку 185/24, АСПк 185/29.

Расчеты конструкции шарнирного узла

Опорная часть шарнирного типа рассчитана на нагрузки от опоры П110-2РН

Сталь С345 Болты М36х280.56

Максимальные нагрузки на опорную часть составляют:

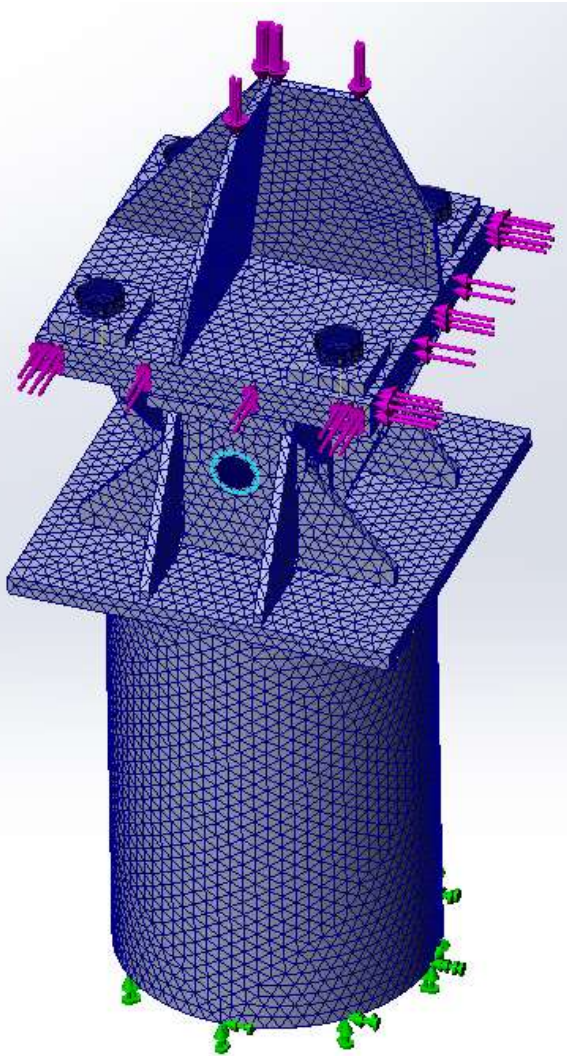
$$N_{сж}=16,37 \text{ т}; Q_x=1,67 \text{ т}; Q_y=1,39 \text{ т}.$$

Расчёты выполнены методом конечных элементов (МКЭ) в программе **Solidworks**. В результате расчётов **получены напряжения в металлоконструкциях**, а также **усилия в соединительных болтах М36**.

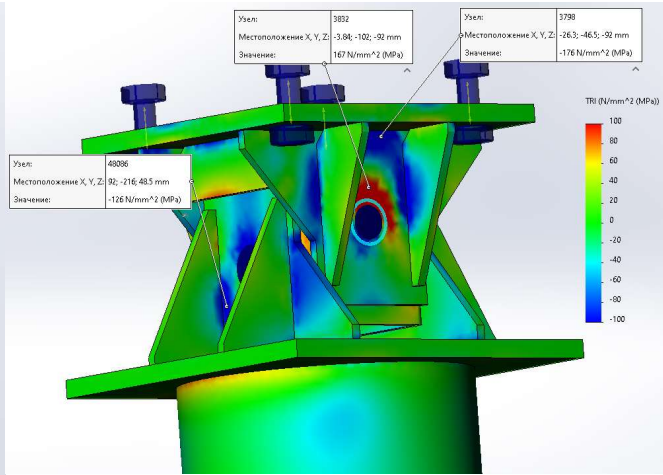
В области установки соединительных болтов возникают концентрации напряжений, которые не влияют на общую прочность и устойчивость конструкции.

Вывод: Максимальные нормальные, касательные и приведённые по Мизесу напряжения не превышают допустимых значений, несущая способность болтовых соединений на срез и смятие более чем в два раза превышает действующую нагрузку – **прочность опорной части шарнирного типа ОЧШТ-1** в соответствии с СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» **обеспечена**.

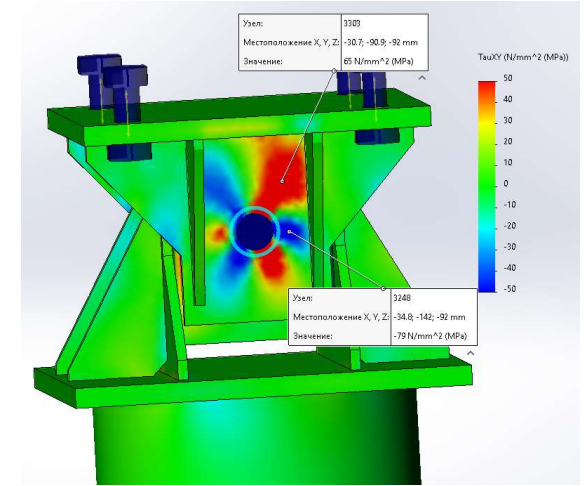
Расчеты конструкции шарнирного узла



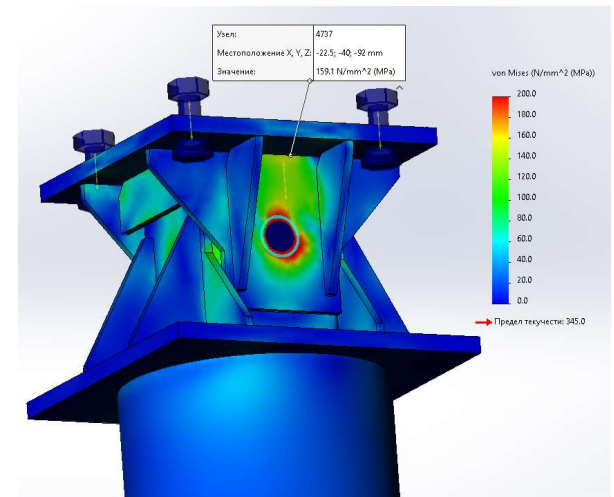
Конечноэлементная модель опорной части шарнирного типа ОЧШТ-1



Нормальные напряжения (объёмное напряжённое состояние – геометрическая сумма $P1+P2+P3$), МПа



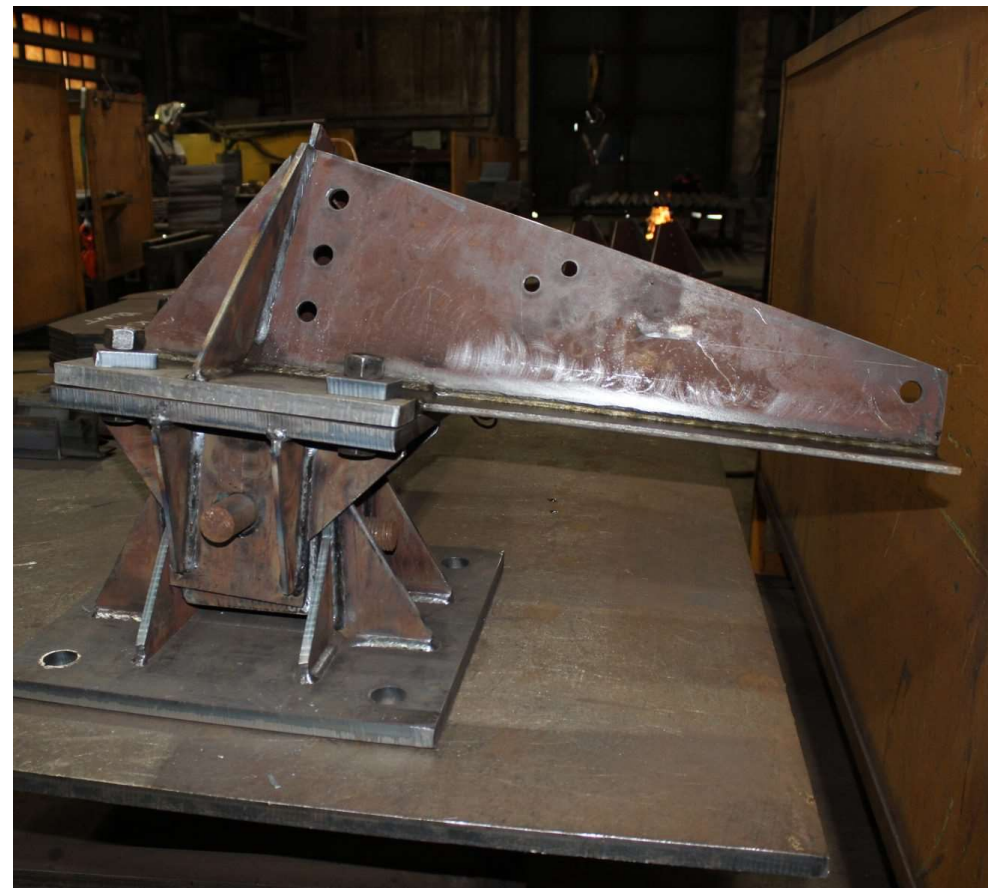
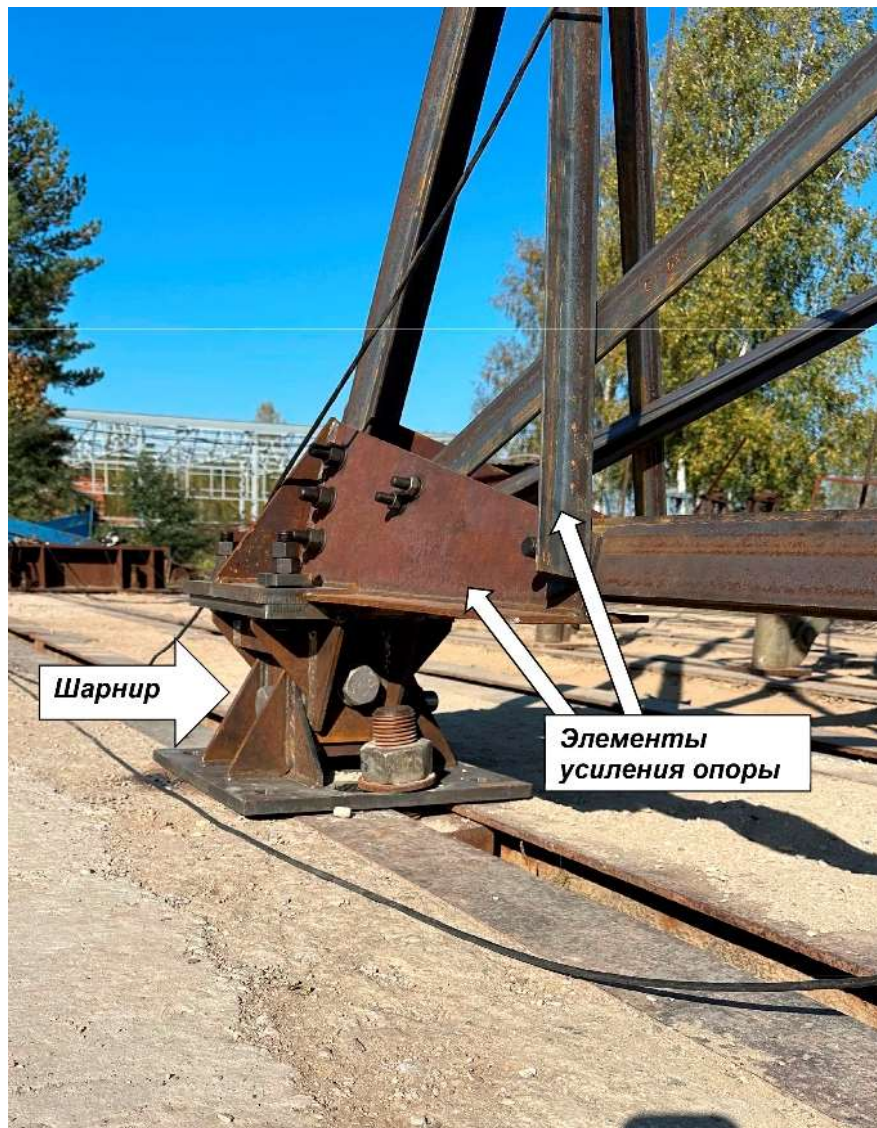
Касательные напряжения, МПа



Приведённые напряжения по Мизесу, МПа

Испытание шарнира

в процессе испытания опытного образца опоры ВЛ 110 кВ



Техническое решение защищено
патентом № 231517

Выводы

- 1. Конструкция шарнира рекомендуется к использованию при устройстве свайных фундаментов на слабых грунтах, когда по расчету необходимо увеличивать количество свай под каждую ногу опоры по условию ограничения угла поворота верха фундамента.**
- 2. Использование шарнира снимает ограничения по деформациям, позволяя использовать одну сваю, вместо двух, объединенных ростверком.**
- 3. Экономический эффект состоит в сокращении стоимости строительства опор и фундаментов (от 17% до 40% в зависимости от характеристик грунтов).**