
Фундаменты анкерной-угловой опоры У35-1Т в инженерно-геологических условиях Карелии

С.Р. Клименко, Е.И. Ратькова

Петрозаводский государственный университет

Аннотация: В статье обоснована актуальность проектирования фундаментов анкерно-угловых опор ВЛ 35 кВ для сложных инженерно-геологических условий Карелии. На основе анализа нагрузок и сравнения типов фундаментов выявлены их эксплуатационно-технологические особенности. Технико-экономическая оценка подтвердила преимущественную эффективность свайных решений. Вывод дифференцирован: свайные фундаменты рекомендованы для слабых обводнённых грунтов, сборные железобетонные — для прочных оснований с развитой инфраструктурой. Результаты применимы для регионов со схожими условиями.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи 35 кВ, анкерно-угловая опора, фундаменты опор ЛЭП, грибовидный фундамент, свайный фундамент, инженерно-геологические условия Карелии, водонасыщенные грунты, морозное пучение грунтов, расчёт нагрузок, несущая способность фундаментов.

Введение

Надёжность ВЛ 35 кВ критична для энергосистемы Северо-Запада России [1]. Проектирование линий в Карелии осложнено особыми инженерно-геологическими и климатическими условиями [2, 3]. Анкерно-угловые опоры, воспринимающие максимальные нагрузки от проводов, ветра и гололёда [4], требуют повышенной надёжности в данном регионе.

Цель работы – разработка конструктивно-технологических решений, обеспечивающих устойчивость анкерно-угловой опоры и надёжность её фундамента в условиях Карелии с учётом нормативных требований.

Для достижения цели выполнены следующие задачи:

1. Анализ инженерно-геологических условий региона [2, 3];
2. Исследование конструктивных особенностей опоры У35-1Т;
3. Расчёт нагрузок на опору и различные типы фундаментов [4].

4. Сравнительный анализ несущей способности фундаментных конструкций.

5. Техничко-экономическое сравнение железобетонных грибовидных фундаментов со свайными (забивными, буронабивными, винтовыми) решениями [5-7].

6. Разработка рекомендаций по устранению практических сложностей монтажа.

Инженерно-геологические условия характеризуются неоднородностью и преобладанием слабых водонасыщенных грунтов (моренные суглинки, пески, торфяные отложения) с низкой прочностью и высокой сжимаемостью [3, 8]. Высокий уровень грунтовых вод (0,5–2,0 м) приводит к переувлажнению оснований. Длительный зимний период вызывает морозное пучение, что требует заложения фундаментов ниже глубины промерзания или применения устойчивых к выдёргиванию конструкций [7, 9].

Заболоченность, труднодоступность и слаборазвитая дорожная сеть осложняют транспортировку и технические решения в фундаментостроении [2].

Конструктивные особенности опоры У35-1Т

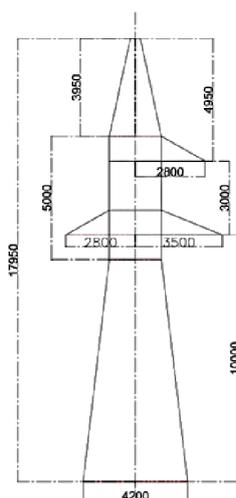


Рис. 1. Анкерно-угловая опора У35-1Т – металлическая решётчатая конструкция на одностоечной базе (схема)

Описание анкерно-угловой опоры У35-1Т (рис. 1): свободностоящая решётчатая стальная конструкция на одиночной стойке, применяемая на поворотах и в анкерных пролётах ВЛ 35 кВ [1]. Анкерное крепление проводов передаёт на стойку комплекс вертикальных, горизонтальных и продольных нагрузок [4].

Основные параметры: полная высота ≈ 18 м, высота до траверсы ≈ 10 м, ширина базы 4,2 м, масса $\approx 3,3$ т.

Закрепление осуществляется на фундаменте (железобетонный стаканного типа или свайный), выбор которого зависит от нагрузок и грунтовых условий. Типовые проекты включают грибовидные (плитно-стоечные) и свайные решения [10].

Расчёты нагрузок на опору и фундаменты

Расчёт нагрузок на опору У35-1Т выполнен по действующим нормам с учётом климатических условий Карелии [4]. Нагрузки разделены на постоянные и временные. К постоянным отнесён собственный вес опоры ($\approx 3,3$ т) и подвешенного оборудования: изоляторов, проводов и троса. Суммарная постоянная нагрузка составила 34,9 кН.

Временные нагрузки включают давление ветра, вес гололёда на проводах и тросе. Для Карелии приняты параметры высокого ветрового района (скорость ветра до 30 м/с) и гололёдного района (толщина отложений 10–20 мм) [4]. Учтены динамическая составляющая ветра и нормативные коэффициенты надёжности.

Расчётные усилия на опору: суммарная кратковременная нагрузка (ветер + гололёд) — 60,9 кН. Полная расчётная нагрузка в наиболее неблагоприятной комбинации достигает 95,8 кН [4].

Данная нагрузка создаёт вертикальное давление на грунт и изгибающие моменты, стремящиеся опрокинуть фундамент [10]. Проверка фундаментов выполнена согласно нормативным методикам: для плитных — по давлению

под подошвой, для свайных — по несущей способности свай на вдавливание и выдёргивание по СП 24.13330.2021.

Для каждого типа фундамента определены: собственный вес, передаваемая нагрузка, площадь опоры (для плитных) или параметры свай. Рассчитано давление на грунт или нагрузка на свайное основание. Надёжность решений оценена для типичных карельских грунтов по требованиям СП 22.13330 и СП 24.13330.

Сравнительный анализ несущей способности фундаментов

Для опоры У35-1Т рассмотрены следующие варианты фундаментов:

- Сборные железобетонные грибовидные фундаменты серии Ф...-А, повышенные (ФП) и сборные (ФС);
- Свайные решения: забивные железобетонные, буронабивные и винтовые стальные сваи [6, 7].

Расчёты показали, что в различных грунтах (пески, глинистые грунты с разным показателем текучести, крупно-обломочная порода) подобранные фундамент воспринимает нагрузку от опоры с необходимым запасом [6, 9]. В некоторых грунтах, таких как глинистые грунты тугопластичные и мягкопластичные необходимо увеличение площади подошвы грибовидного фундамента или применение большего количества свай в кусте под одной ногой опоры [7].

Грибовидные фундаменты остаются приемлемым вариантом для прочных оснований (скальные, плотные грунты). В скальных грунтах Карелии применяются сборные фундаменты, так как не требует разработки глубокого котлован (0,5м). Однако экономическая и технологическая целесообразность использования массивных сборных конструкций в удалённых болотистых районах ограничена [7]. Свайные фундаменты оптимальны для слабых водонасыщенных грунтов, а сборные

железобетонные — для прочных оснований при наличии отработанной логистики монтажа.

Практические сложности монтажа в Карелии и инженерные решения

Установка опор в Карелии осложнена следующими факторами:

1. Низкая несущая способность и неоднородность грунтов. Преобладание слабых грунтов (торфяники, рыхлые суглинки) с высокой сжимаемостью [3] ведёт к риску неравномерных осадок и кренов. Чередование прослоев разной прочности затрудняет прогнозирование поведения свай;

2. Высокий уровень грунтовых вод. Близкое залегание вод (1–2 м) и поверхностное переувлажнение [2, 3] осложняют устройство котлованов, требуя водопонижения и дренажа, что увеличивает трудоёмкость и стоимость;

3. Морозное пучение. Водонасыщенные грунты подвержены сильному пучению при промерзании [2, 9], создающему выталкивающие усилия. Это требует глубокого заложения фундаментов или анкеровки, особенно для лёгких свай [6];

4. Труднодоступность и отсутствие инфраструктуры. Лесисто-болотистый рельеф и отсутствие дорог затрудняют доставку тяжёлых конструкций и техники, требуя временных путей и приводя к удорожанию и увеличению сроков монтажа [5].

Экономическая оценка вариантов фундаментов

Технико-экономическое сравнение вариантов фундаментов проведено на основе локальных сметных расчётов по ресурсно-индексной методике (цены 4 квартала 2025 г., Республика Карелия) [5]. В Таблице 1 приведена суммарная сметная стоимость устройства фундаментов различных типов по результатам этих расчётов. Стоимость включает затраты на материалы, транспортировку, земляные работы и монтаж [5]. К I группе грунтов

относятся пески средние, ко II глинистые грунты твердые и полутвердые, к III глинистые грунты тугопластичные и мягкопластичные, к IV принадлежат крупно-обломанные породы.

Таблица № 1

Сметная стоимость устройства фундаментов под опору 35 кВ У35-1Т (Карелия, 2025 г.)

Марка фундамента		Тип грунта/ сметная стоимость монтажа фундамента, тыс. руб. без НДС				
		I группа грунтов	II группа грунтов	III группа грунтов	IV группа грунтов	
Фундамент серии Ф...-А	Ф1-А	81,22	81,66	82,27	84,11	
	Ф2-А	98,22	98,79	99,56	101,92	
	Ф3-А	138,32	139,02	139,99	142,90	
Повышенный фундамент	ФП2х3,5-4	211,79	215,64	213,41	222,49	
	ФП5-А	252,99	254,74	257,14	264,50	
	ФП2,7х4,2-А	303,86	306,26	309,57	319,72	
Составной фундамент	ФС2-А5с	223,53	223,83	224,24	225,27	
	ФС1-А	316,91	317,21	317,62	318,60	
	ФС2-А	351,09	351,46	351,95	353,15	
Забивные сваи	С30.20-1	37,22	38,03	Монтаж свай в грунт такой плотности не возможен		
	С30.25-1	44,34	45,61			
	С30.30-1	53,05	54,87			
Буроабивные сваи	D=200 мм, L=3м	48,62	48,69	60,72	53,07	61,90
	D=250 мм, L=3м	53,09	53,16	59,96	73,64	

Марка фундамента		Тип грунта/ сметная стоимость монтажа фундамента, тыс. руб. без НДС			
		I группа грунтов	II группа грунтов	III группа грунтов	IV группа грунтов
	D=300 мм, L=3м	58,56	58,63	68,38	87,99
Винтовые сваи	СВС 219/550-3000	68,48			
	СВС 325/800-3000	118,40			
	СВС 159/550-3000	57,73			

Сметная оценка показала значительное превышение стоимости грибовидных фундаментов (Ф.-А, ФП, ФС) над свайными (забивные, буронабивные, винтовые), что экономически закономерно в рамках ресурсно-индексного метода.

Для мягкопластичных глин использование буронабивных свай диаметром 200 мм нецелесообразно из-за необходимости увеличения их числа. Более эффективно применение свай большего диаметра при меньшем количестве в ростверке на стойку (рис. 2).

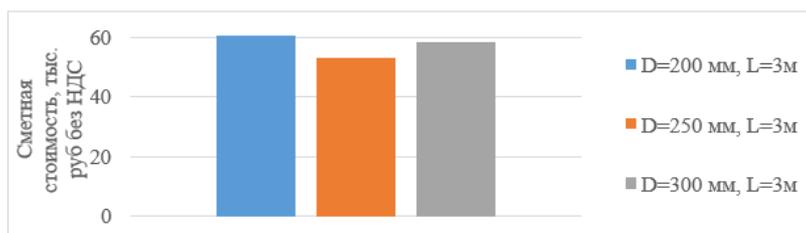


Рис.2 Диаграмма сметной стоимости строительства буронабивного свайного фундамента в мягкопластичных глинистых грунтах

Сметная стоимость буронабивных и винтовых свай в крупнообломочных грунтах сопоставима (рис. 3). Однако устройство буронабивных свай технологически осложнено осыпанием стенок скважин. Винтовые сваи более эффективны, так как при ввинчивании могут маневрировать между обломками пород.

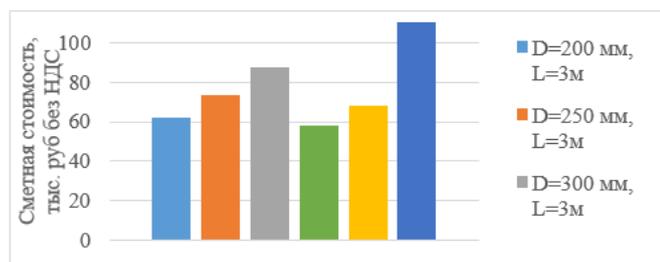


Рис.3 Диаграмма сметной стоимости строительства буронабивных и винтовых свай в крупно-обломочном грунте

Сравнение грибовидных фундаментов (рис. 4) выявило минимальную сметную стоимость у серии Ф.-А. Стоимость фундаментов ФП и ФС сопоставима, так как больший объём земляных работ для ФП компенсирует более высокую стоимость ж/б изделия ФС.

Конструктивные отличия определяют область применения: ФП (заглубление до 5 м) используются для увеличения высоты опор в сложном рельефе, ФС (заглубление 0,5 м) — для скальных и плотных грунтов.

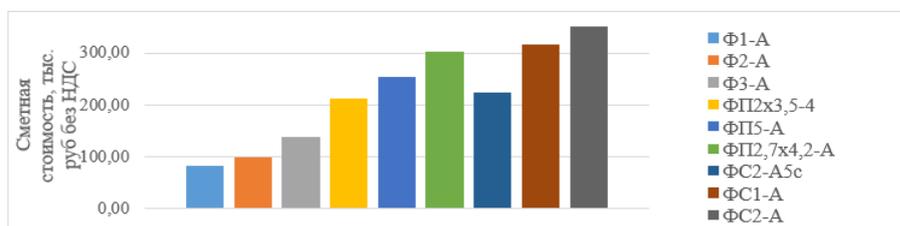


Рис.4 Диаграмма сметной стоимости строительства грибовидных фундаментов для песчаных грунтов

Выводы и рекомендации

Проектирование фундаментов ВЛ в Карелии требует учёта комплекса неблагоприятных инженерно-геологических и климатических факторов [2, 3]. Анализ показал, что традиционные грибовидные фундаменты, отличающиеся предсказуемостью работы, в слабых грунтах требуют увеличения габаритов, что значительно повышает стоимость [5]. Свайные фундаменты эффективнее на слабых основаниях, но требуют строгого контроля качества и учёта местных осложнений (валуны, морозное пучение) [5, 10].

Установлена технико-экономическая обоснованность применения свайных фундаментов (забивных, буронабивных, винтовых) для анкерно-угловых опор ВЛ 35 кВ в Карелии [5]. Винтовые сваи рекомендованы для новых линий в труднодоступных районах благодаря технологичности монтажа [6]. Массивные сборные фундаменты целесообразны в районах с развитой инфраструктурой или на скальных грунтах. Для реконструкции оптимальным решением могут быть буроинъекционные сваи [7].

При проектировании необходимы детальные инженерно-геологические изыскания с последующим сравнительным расчётом вариантов фундаментов по несущей способности, стоимости и трудоёмкости [5, 10]. Целесообразно применять адаптивный подход с основным и резервным вариантами в проектной документации [7]. Выбор технологии должен коррелировать с сезоном работ: свайные решения предпочтительны летом, монтаж крупногабаритных фундаментов — зимой [5].

Результаты исследования применимы для проектирования ВЛ в регионах со схожими условиями [9]. Реализация рекомендаций способствует повышению надёжности, долговечности и экономической эффективности строительства ВЛ в Карелии.

Литература

1. Лохова А.Н. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Москва: Энергоатомиздат, 2002. 488 с.
2. Филатов Н. Н. Новый географический атлас Карелии. Петрозаводск, ВЕРСО, 2021. 51 с.
3. Федорец Н. Г. Почвы Карелии. Москва: Наука, 2008. 48 с.
4. Реут М. А., Рокотян С. С. Справочник по проектированию линий электропередачи. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 480 с.

5. Бовсуновская, М. П., Соловьев В. В., Сызранцев Г. А., Шипова С. Н. Ценообразование и сметное нормирование в строительстве. Учебно-методическое пособие. Москва: Лань, 2025. – 60 с.
6. Акопян В. Ф. Испытания моделей винтовых свай // Инженерный вестник Дона, 2012, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/620/.
7. Гаранжа И. М., Танасогло А. В., Фоменко С. А. Совершенствование конструкций опор воздушных линий электропередачи // Инженерный вестник Дона, 2021, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7346/.
8. Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск: Государственное издательство Карельской АССР, 1959. 321 с.
9. Wang G., Shen J., Jin M. Prediction model for transmission line icing based on data assimilation and model integration // *Frontiers in Environmental Science*, 2024, №12. URL: frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2024.1403426/full.
10. Zhang J., Wang X., Wang H. Model Test and Numerical Simulation of Single Pile Response under Combined Loading in Slope // *Atmosphere*, 2020, Vol.10, №17. URL: mdpi.com/2076-3417/10/17/6140

References

1. Lokhova A.N. Pravila ustroystva elektroustanovok [Electrical Installation Rules]. Moskva: Energoatomizdat, 2002. 488 p.
 2. Filatov N. N. Novyy geograficheskiy atlas Karelii [New Geographical Atlas of Karelia]. Petrozavodsk, VERSO, 2021. 51 p.
 3. Fedorets N. G. Pochvy Karelii [Soils of Karelia]. Moskva: Nauka, 2008. 48 p.
 4. Reut M. A., Rokotyayn S. S. Spravochnik po proyektirovaniyu liniy elektroperedachi [Handbook of designing power transmission lines]. Moskva: Energoatomizdat, 1986. 480 p.
-



5. Bovsunovskaya, M. P., Soloviev V. V., Syzrantsev G. A., Shipova S. N. Tsenoobrazovaniye i smetnoye normirovaniye v stroitel'stve [Pricing and cost estimation in construction]. Moskva: Lan, 2025. 60 p.
6. Akopyan V. F. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, No. 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/620/.
7. Garanzha I. M., Tanasoglo A. V., Fomenko S. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, No. 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7346/.
8. Biske G.S. Chetvertichnyye otlozheniya i geomorfologiya Karelii [Quaternary deposits and geomorphology of Karelia]. Petrozvodsk: State Publishing House of the Karelian ASSR, 1959. 321 p.
9. Wang G., Shen J., Jin M. Frontiers in Environmental Science, 2024, №12 URL: frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2024.1403426/full.
10. Zhang J., Wang X., Wang H. Atmosphere, 2020, Vol.10, №17. URL: mdpi.com/2076-3417/10/17/6140.

Дата поступления: 2.01.2026

Дата публикации: 25.02.2026