

**Разработка лавиноустойчивой опоры и фундаментов для ВЛ 220 кВ
«Мутновская ГеоТЭС – Елизово с ПС Авача» на Камчатке.**

Касаткин Сергей Петрович, к.т.н. Романов Петр Игоревич,

к.т.н. Качановская Любовь Игоревна

ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест», НИЛКЭС

Задачу проектирования специальных опор поставили специалисты ОАО «Камчатскэнерго», имеющие значительный опыт эксплуатации ВЛ в районах, где сход лавин частое явление.

Аварийные отключения ВЛ, связанные с разрушением конструкций опор, часто происходят из-за ударного воздействия воздушной волны и тела снежных лавин.

В настоящее время на ВЛ в горных районах, в основном, применяются унифицированные опоры, разработанные в 1970-80 гг. Специальные опоры, конструкции которых устойчивы к воздействию снежных лавин, не разрабатывались.

Разработка лавиноустойчивых опор и фундаментов является особенно актуальной для районов Дальнего Востока, в том числе объектов ОАО «Камчатскэнерго», где на ВЛ происходят технологические нарушения, связанные с повреждением конструкций от схода лавин. Проблемы в эксплуатации ВЛ 220 кВ «Мутновская ГеоТЭС – Елизово с ПС Авача» начались практически с момента строительства линии, 22 километра которой проходят по горной местности - плато вулкана Горелый на высоте 700-900 м над уровнем моря. Этот участок ВЛ отличается высокими ветрами, достигающими 55м/с, и интенсивной пляской проводов с амплитудой до 8 м. При неблагоприятных погодных условиях происходит налипание снега на провод, изоляцию и тело опоры. Уровень снега достигает 9-12 м.



Рис. 1. Опора ВЛ 220 кВ, разрушенная воздействием снежной лавины.

Для предотвращения повреждения промежуточных опор службами эксплуатации предложено решение по усилению конструкций путем замены нижней секции решетчатых опор на трубы, высота которых достигает 9 метров.

В силу больших габаритных размеров основания анкерных опор аналогичное решение по их усилению не может быть использовано.

Для обеспечения надежной работы анкерных опор, попадающих в зону лавинных очагов, возникла необходимость разработки специальных конструкции и их закреплений, устойчивых к нагрузкам от снежных лавин. Строительство новых лавиноустойчивых опор и фундаментов к ним должно обеспечить существенную экономию средств по сравнению с затратами на противолавинные мероприятия, периодический ремонт или замену повреждённых опор.

Безаварийная работа ВЛ в районах схода снежных лавин возможна путём решения одной из следующих задач:

1. Защита опоры от тела лавины противолавинными сооружениями, при проектировании опоры, устойчивой к ударному воздействию воздушной волны;
2. Проектирование опоры, устойчивой к ударному воздействию воздушной волны и тела лавины.

В рамках НИОКР ОАО «РАО «ЭС Востока» специалистами Научно-исследовательской лаборатории конструкций электросетевого строительства (НИЛКЭС) была решена задача разработки специальной конструкции анкерно-угловой опоры УМ220-1Л из многогранного профиля (рис. 2) и двух вариантов фундаментов, устойчивых к воздействиям снежных лавин.

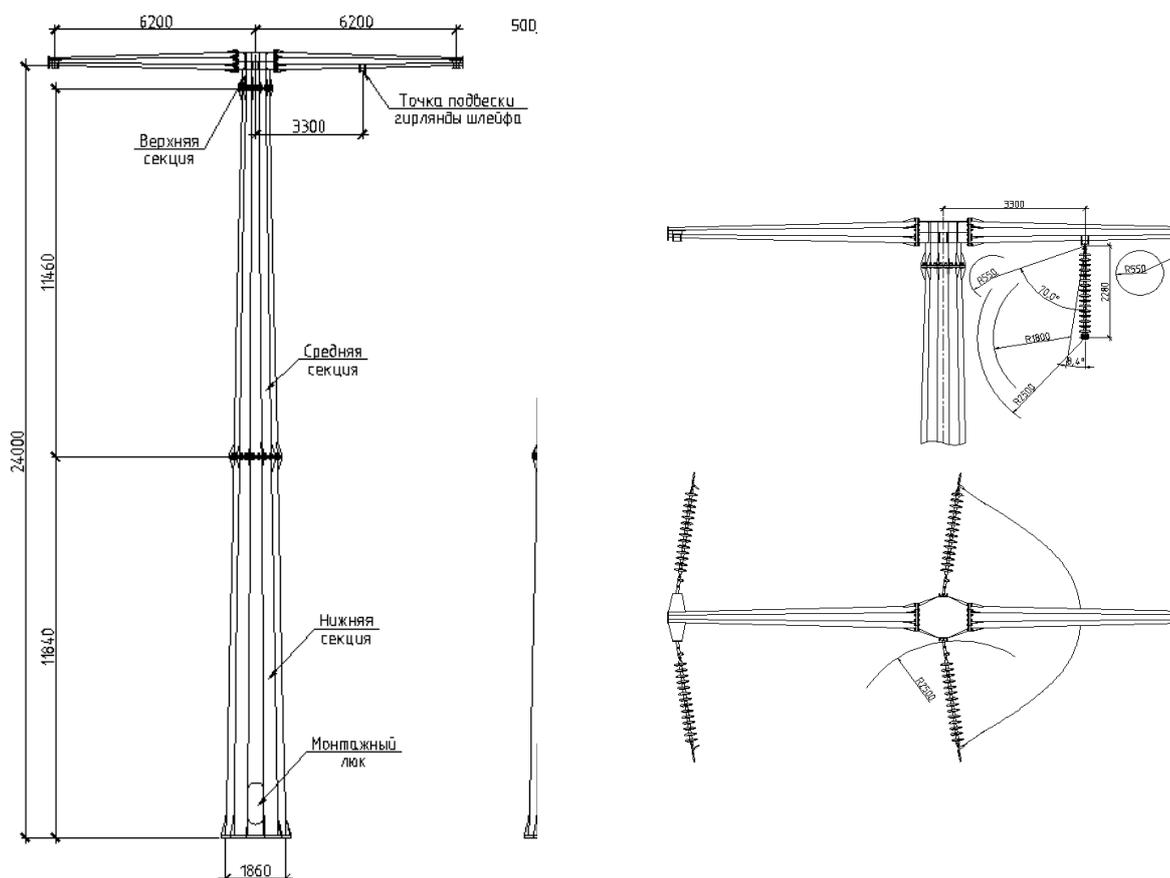


Рис. 2. Схема лавиноустойчивой опоры УМ220-1Л.

Конструкция опоры получилась малоэлементная (три секции и две траверсы), что облегчает монтаж опоры и увеличивает надёжность. Соединение элементов опоры фланцевое на высокопрочных болтах. Масса опоры в цинке с лестницей и трапом на траверсах для обслуживания составляет 20,3 т - это сравнительно не много для анкерно-угловой опоры ВЛ 220 кВ уникальной конструкции и несущей способности. Опора рассчитана на удар лавины с давлением $23,6 \text{ т/м}^2$ на высоте от 5 до 10 м, при этом давление снеговоздушной волны на высоте свыше 10 м составляет 1 т/м^2 . Нижняя секция опоры представляет собой сталежелезобетонный элемент, который способен воспринимать удары возможных валунов в теле лавины. Нагрузки на фундамент составляют: момент - $M=2247 \text{ тс*м}$, вертикальная сила - $N=83,3 \text{ тс/м}$, поперечная сила $Q=242 \text{ тс/м}$.

Разработка новых типов конструкций всегда требует проведения испытаний. При разработке унифицированных опор, не рассчитанных на воздействие нагрузок от лавины, принято проводить контрольные испытания

натурных образцов конструкций на статические нагрузки, определенные по указаниям Правил устройства электроустановок.

При разработке лавиностойчивой опоры для ВЛ 220 кВ «Авача-МГеоЭС» нагрузки от лавины являются определяющими. Эти нагрузки большой интенсивности, распределенные по телу опоры, смоделировать на полигоне не представляется возможным.

Обычно при испытаниях приложение распределенных нагрузок к стволу опоры моделируется несколькими сосредоточенными силами. В данном случае, очень высокие значения динамических нагрузок адекватно смоделировать на полигоне практически не возможно. Статические испытания, которые проводятся для нормальных, монтажного и аварийных режимов работы опоры, не могут отразить работу конструкции при особых сочетаниях нагрузок: сейсмическое воздействие и ударное воздействие снежной лавины.

Кроме того, определяющим фактором является следующее: если приложить нагрузку от лавины в конкретных точках, то мы получим усилия только в уровне приложения нагрузки и ниже. В реальной ситуации в момент удара верхняя часть опоры получает ускорение, которое будучи умноженным на массу, определяет дополнительную силу, приложенную к верхней части опоры, и значительно увеличивает опрокидывающий момент на фундамент.

Фактически при динамических воздействиях в момент отклонения в верхней части опоры (в стволе и траверсах) возникают максимальные напряжения, которые, в конечном итоге, являются определяющими для выбора геометрических параметров элементов опоры. Рис.3.

Специальных полигонов для проведения динамических испытаний опор в настоящее время не существует. В мировой практике используются методы моделирования динамических нагрузок с использованием специальных расчетных комплексов, которые дают верифицированные результаты. Только моделирование опоры в динамической постановке

позволяет выявить максимальные напряжения, перемещения и усилия в конструкции в заданный момент времени при ударном воздействии лавины.

Наличие анимации в современных программных комплексах позволяет оценить адекватность результатов по анализу движения (деформации) конструкции с целью исключения возможных технических ошибок расчета и подтвердить правильность расчетных моделей и задания нагрузок.

Моделирование испытаний проектируемой анкерно-угловой опоры методом конечных элементов (МКЭ) включает следующие этапы:

1. Трёхмерное твердотельное (сплошное, объёмное) моделирование опоры ВЛ. Данный этап подразумевает разработку компьютерной модели опоры в объёме, задание геометрических характеристик.

2. Моделирование натуральных испытаний опоры. На данном этапе разработанной модели опоры присваиваются физические характеристики материалов, задаются нагрузки и точки их приложения. Для динамического моделирования интенсивность нагрузки может задаваться в зависимости от времени. Описываются граничные условия (закрепление), взаимодействия элементов опоры между собой, указываются соединения элементов. Модель опоры разбивается сеткой конечных элементов, в каждом из которых вычисляются интересующие силовые факторы, деформации, перемещения и т.д.

3. Интерпретация результатов. Полученные в результате расчётов напряжения, перемещения, усилия сравниваются с допускаемыми значениями в соответствии с СП 16.13330.2011 с учётом требований МТ 701.000.071-86 и МЭК 60652.

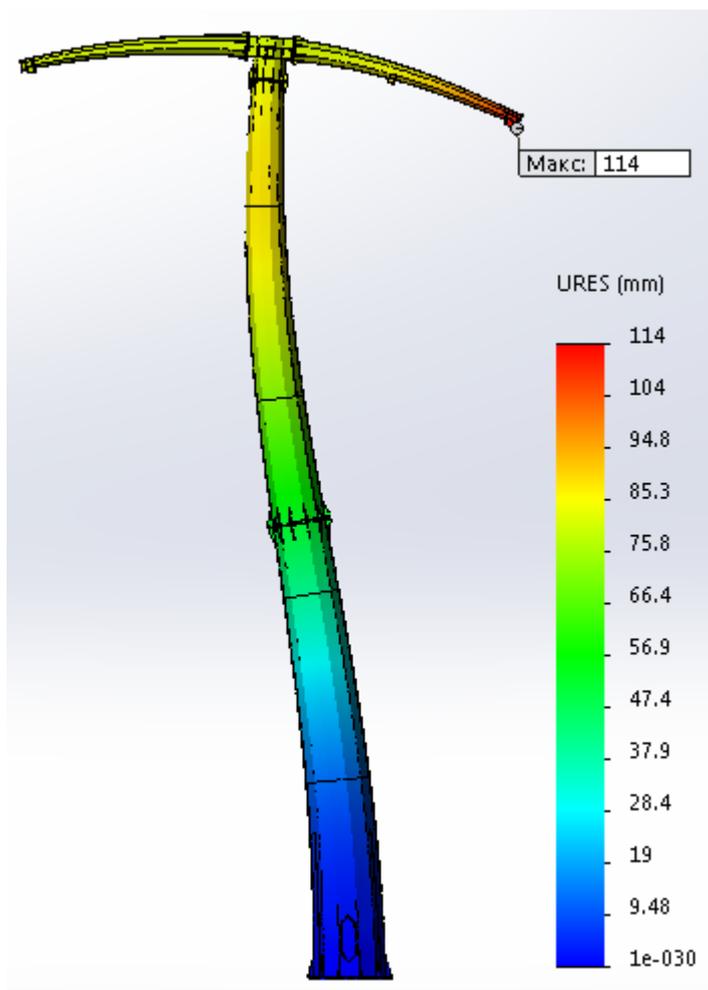


Рис. 3. Схема деформирования опоры при ударе лавины.

Динамическое моделирование опоры производится в особых расчётных режимах: сейсмика, воздействие снежной лавины.

Динамическое моделирование описывает состояние системы в течение некоторого заданного промежутка времени. Минимально необходимым и достаточным временем динамического моделирования является время одного полного колебания системы (опора с подвешенными массами) или, другими словами, период колебаний T , с.

Процесс компьютерного моделирования по сути – многоитерационный поиск оптимальных конструкторских решений. Частоты собственных колебаний и, как следствие, напряжения в системе, зависят от материала конструкции, жесткостных характеристик, а также от распределения масс. Изменение в процессе расчётов толщины стенки конструкции и массы ведёт

к изменению собственных частот и форм колебаний и, соответственно, напряжений в рассматриваемой модели. Рис. 4.

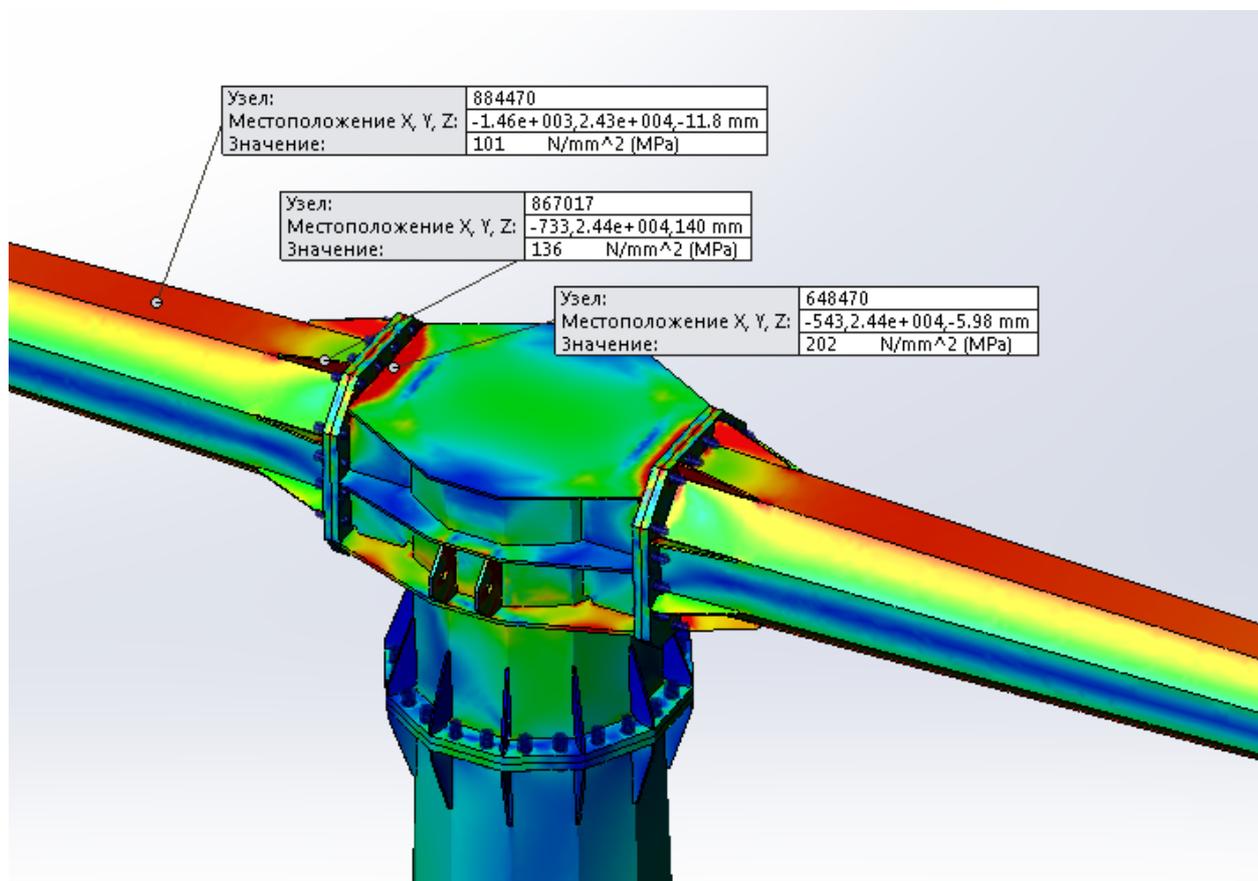


Рис. 4. Карта приведённых напряжений по Мизесу, МПа.

Разработка лавиностойчивой опоры с помощью средств компьютерного моделирования позволила получить оптимальную по металлоёмкости конструкцию. Для расчётов был применён метод конечных элементов (МКЭ) с твердотельным моделированием конструкций опоры. Загружение модели опоры воздействием лавины и сейсмическим воздействием в динамической постановке дало возможность наиболее адекватно оценить работу конструкции в указанных расчётных режимах, чего не удалось бы достичь при попытках смоделировать указанные воздействия при натурных испытаниях. Использование динамических расчетов позволило рационально распределить металл в конструкции, усилив наиболее нагруженные элементы, уйдя от перерасхода материала, неизбежного при

использовании единого динамического коэффициента при статических расчетах.

Расчёт металлоконструкций методом конечных элементов – это скачок на качественно более высокий уровень проектирования, позволяющий оптимизировать конструкции, а также учесть нюансы, которые другими методами учесть невозможно.

Несмотря на все преимущества, расчёт МКЭ является весьма ресурсоёмким процессом, требующим высокой квалификации пользователя расчётного комплекса. Неправильный выбор расчётной схемы, граничных условий и метода расчёта приводит к неверным результатам, несмотря на использование самых совершенных программных комплексов. К сожалению, этот вывод не всегда очевиден, что зачастую приводит к появлению на объектах ненадежных конструкций.

Для закрепления опоры разработано два варианта фундамента:

1. Монолитный фундамент мелкого заложения. Преимуществом является относительная простота изготовления фундамента. Рис.5.

2. Фундамент из буринъекционных свай с монолитным ростверком. Преимуществом является возможность устройства фундамента на скальных грунтах с малым расходом материалов. Рис.6.

Выбор варианта для конкретного случая делается в зависимости от грунтовых условий и наличия ресурсов строительной организации.

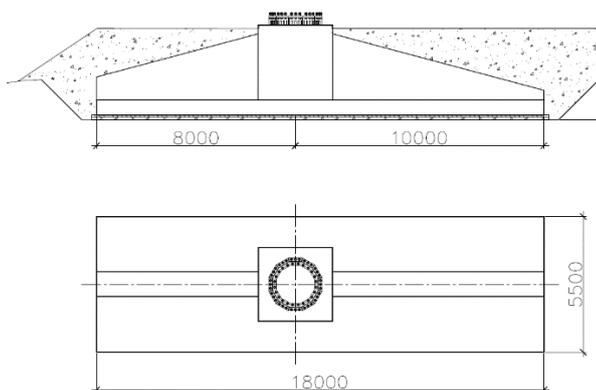


Рис. 5. Монолитный фундамент мелкого заложения.

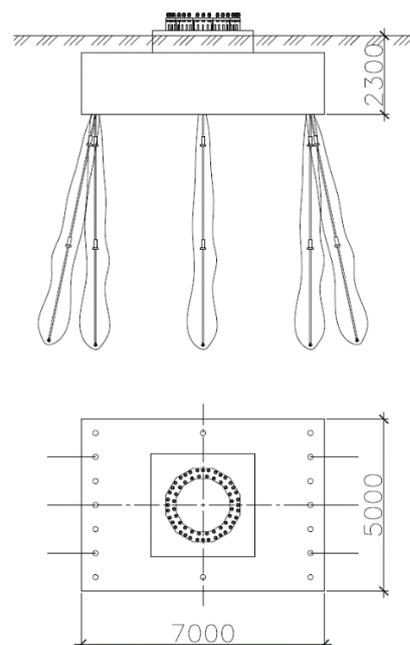


Рис. 6. Фундамент из буроналивных свай с монолитным ростверком.

Для замены опоры № 210 был принят вариант монолитного фундамента мелкого заложения.

Ввиду жестких ограничений на срок отключения ВЛ, изготовление фундаментов предусматривается выполнить до отключения существующей ВЛ220кВ. Схема устройства фундамента под действующей опорой представлена на рис. 7.

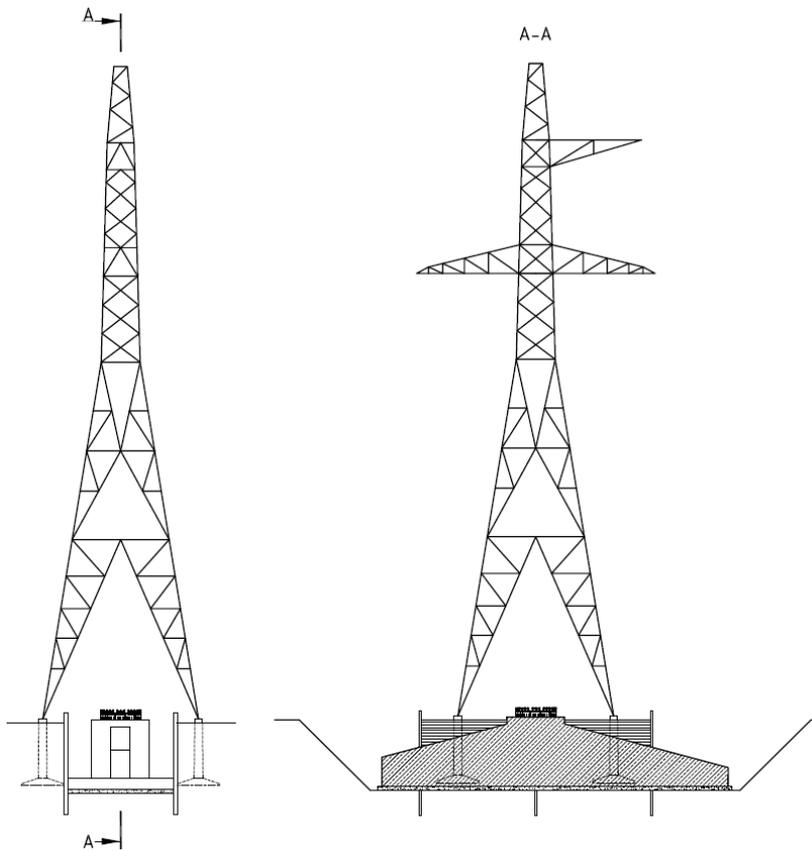


Рис. 7. Схема устройства фундамента под действующей опорой.

Конструкция опоры и фундаментов принята Заказчиком – ОАО «Камчатскэнерго». Планируется их установка на месте опоры №210 ВЛ 220кВ «Мутновская ГеоТЭС – Елизово с ПС Авача» на Камчатке.