

УДК 621.316.9.

¹ А.К. Асанов, asanov_ak@mail.ru

² Б.Ж. Джолдошбеков, bakyt.zholdubay.79@mail.ru

³ Н.К. Джусунбекова, nazika11612@mail.ru

⁴ М.К. Аркарчиева, arkarchieva@gmail.ru

^{1,3} Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова

² ОАО «Национальная электрическая сеть Кыргызстана»

⁴ Нарынский государственный университет им. С. Нааматова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ (НА ПРИМЕРЕ НАРЫНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Сопротивление заземляющего устройства зависит от удельного сопротивления грунта, поэтому при расчетах проектирования и реконструкции по усилению заземляющих устройств необходимо учитывать структуру и слоистость грунтов, климатические условия региона. Статья содержит экспериментально-расчетные результаты влияния свойств грунтов на величину их удельных сопротивлений. На примере удельного электрического сопротивления грунта в местах расположения энергообъектов Нарынской области произведен расчет сопротивления вертикального заземлителя с учетом верхнего и эквивалентного сопротивления верхнего и нижнего слоев грунта. Определены погрешности расчетов при учете только верхнего слоя. Приведены графики зависимости вертикального заземлителя от его длины с учетом и без учета неоднородности земли и климатических условий Нарынской области. Показан сравнительный анализ применения различных вариантов вертикальных заземлителей.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление грунта, эквивалентное сопротивление грунта, заземляющее устройство, вертикальный заземлитель, климатический коэффициент, сопротивление растеканию заземляющего устройства, структура грунта.

Введение

Заземляющие устройства (ЗУ) электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземленной нейтралью следует выполнять с соблюдением требований по обеспечению нормального функционирования электроустановки либо по обеспечению безопасности людей при замыкании токоведущих частей на землю, а также защиты электрооборудования от перенапряжений [1].

Согласно правилу устройства электроустановок (ПУЭ) [2], заземляющее устройство (ЗУ), отвечающее вышеперечисленным требованиям, его сопротивление, должно иметь в любое время года не более 0,5 Ом с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей. Но в районах с большим удельным сопротивлением земли $\rho > 500$ Ом·м допускается повысить требуемые значения сопротивлений ЗУ в 0,002 раза.

Основным параметром для расчета сопротивления ЗУ является удельное электрическое сопротивление грунта. А оно в свою очередь зависит от состава грунта (глина, суглинки, супесь, песок, щебень, известняк и др.), размеров и плотности прилегания друг к другу его частиц, влажности и температуры, концентрации в нём растворимых химических веществ (солей, кислотных и щелочных остатков), а также влияния грунтовых вод. Сопротивление верхнего слоя грунта изменяется в зависимости от атмосферных и климатических условий: в зимний период времени промерзает, увеличивая сопротивление грунта, а с наступлением теплоты тает и увлажняет грунт, что является благоприятным условием для ЗУ, а летом может высыхать, что приводит к увеличению сопротивления грунта, что сказывается неблагоприятно для ЗУ.

В настоящей работе представлено исследование удельного сопротивления грунта на объектах электроэнергетики Нарынской области и их влияние на сопротивление ЗУ.

Обслуживание высоковольтных объектов электроэнергетики Нарынской области осуществляется Нарынским предприятием высоковольтных электрических сетей (НПВЭС). НПВЭС является структурным подразделением ОАО «Национальная электрическая сеть Кыргызстана».

На балансе НПВЭС находится одна подстанция (ПС) 220/110/10 кВ мощностью 250 МВА, 17 ПС 110/35/10 кВ суммарной мощностью более 275 МВА, ВЛ-110 кВ – 928 км, ВЛ-220 кВ – 145 км и ВЛ-500 кВ – 205,64 км [3].

В апреле 2022 года осуществили инструментальное обследование параметров электромагнитной обстановки и электрических характеристик грунтов ПС НПВЭС. Измерения производились на ПС: 220 кВ – «Ак-Кыя», 110 кВ – «Кочкор», «Чолпон», «Нарын-1», «Муз-Тор».

Обследуемые ПС расположены от 1830 м до 3200 м над уровнем моря (рис.1).

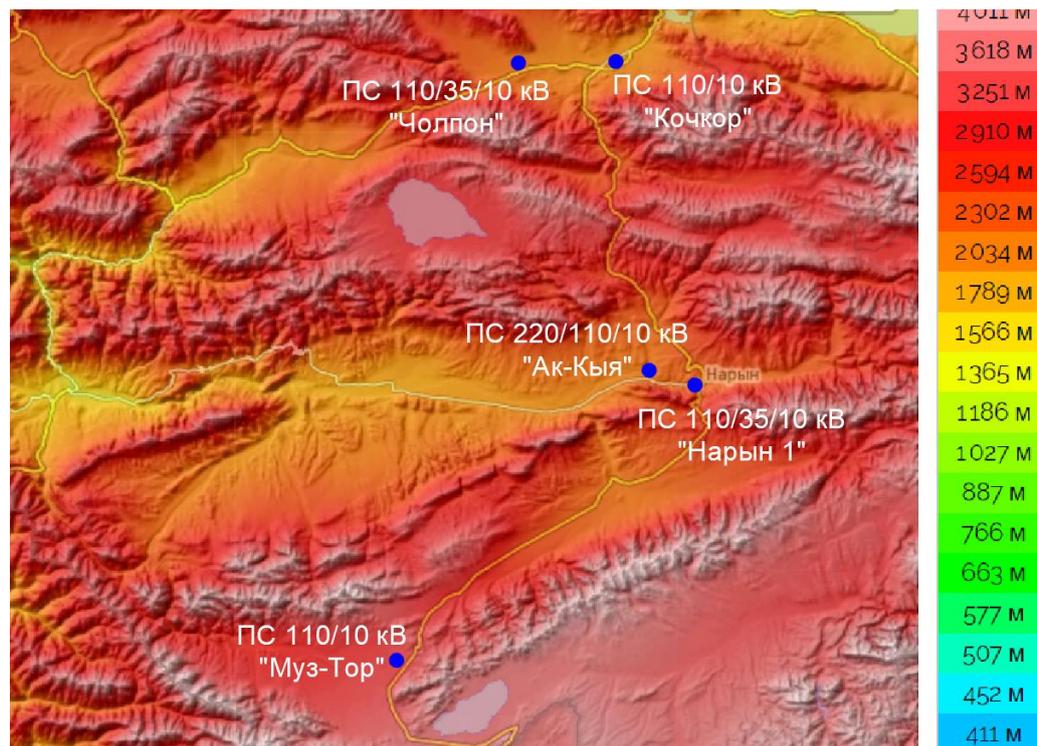


Рисунок 1 – Топографическое расположение исследуемых объектов Нарынской области

Измерения удельного сопротивления грунта проводились за пределами подстанции по методу вертикального электрического зондирования. Согласно результатам измерений и аппроксимации [4], а также по данным [1, 2, 4, 5] приняты параметры эквивалентной модели грунта, которые представлены в табл. 1.

Сопротивление растеканию измерялось с помощью классического метода «амперметра-вольтметра» интегрированным прибором MRU-120. Токовый и потенциальный зонды были вынесены за территорию ПС на расстояние порядка 3D (диагональ) метров соответственно. Измеренное сопротивление растеканию с учетом естественных заземлителей (система «трос–опора», брони кабелей и др.) сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Экспериментально-расчетные параметры ЗУ ПС

Электрические характеристики ПС		ПС 220кВ «Ак-Кыя»	ПС 110 кВ «Нарын-1»	ПС 110 кВ «Муз-Тор»	ПС 110 кВ «Кочкор»	ПС 110 кВ «Чолпон»
Характеристика грунта	$\rho_1, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	240	230	350	820	260

	$h_1, \text{ м}$	-	3	1,5	7	4
	$\rho_2, \text{ Ом} \cdot \text{ м}$	-	755	645	570	640
Сопротивления растеканию ЗУ $R_{\Sigma}, \text{ Ом}$	Измеренное	0,3*	0,59*	2,7*	0,37***	0,405***
	Расчетное	-	-	4,9**	-	-
Примечание: * - с учетом заземлителей системы «трос-опора»; ** - без учета системы «трос-опора», *** - по данным НПВЭС.						

В конфигурации ЗУ основным элементом являются вертикальные заземлители, так как их нижняя часть менее подвержена к климатическим изменениям. Горизонтальные и верхняя часть вертикальных электродов в зимнее время при промерзании грунта увеличивают их сопротивление. В этом случае представляет интерес глубокий вертикальный заземлитель, размещенный в пробуриваемом в грунте отверстии. Чем длиннее вертикальный электрод, тем больше площадь соприкосновения с грунтом, что создает благоприятные условия перехода токов в грунт.

Для расчета рассмотрено сопротивление одиночного заземлителя [4] по упрощенной и сложной методике с применением двух вариантов вертикального заземлителя: круглого сечения $d=20\text{ мм}$ и стального уголка с шириной полки $b=50\text{ мм}$.

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{v} + 0,5 \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом*м; l – длина заземлителя, м; v – диаметр вертикального электрода (d) или $(0,95b)$ ширина полосы стального угольника, умноженные на 0,95; $t = t_0 + 0,5l$, где t – расстояние от поверхности земли до середины вертикального электрода, $t_0=0,7\text{ м}$ – глубина залегания вертикального электрода [10].

В упрощенной методике учитывалось сопротивление верхнего слоя грунта, а по сложной методике учитывалось ρ_{Σ} – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м, зависящее от параметров электрической структуры земли (ρ_1/ρ_2 и ρ_2) и от конструктивных параметров заземлителя, м: толщины верхнего слоя h_1 , глубины заложения заземлителя t_0 и длины вертикального электрода l_e .

Эквивалентное удельное сопротивление грунта определялось по равенству [10]:

$$\rho_{\Sigma} = \rho_2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{\alpha}, \quad (2)$$

$$\alpha = 0,19 \left(1 + \lg \frac{4,8h_1}{l_B} \right) \quad \text{при } 0,1 \leq \frac{\rho_1}{\rho_2} < 1, \quad (3)$$

$$\alpha = 0,43 \frac{h_1 - t_0}{l_B} + 0,27 \lg \frac{a}{l_B} \quad \text{при } 1 \leq \frac{\rho_1}{\rho_2} < 10. \quad (4)$$

Характеристика грунтов Нарынской области представлена преимущественно галечниками, валунниками, щебнем, песками, песчаниками, глинами, суглинками, конгломератами, алевролитами, мергелами [6].

Для расчета сопротивления одиночного вертикального электрода применялась структура грунта, представленная в табл. 1.

На рисунке 2 представлены зависимости сопротивления вертикального электрода от ее длины, рассчитанные для ПС 110 кВ «Кочкор», «Чолпон», «Нарын», «Муз-Тор», а ПС 220 кВ «Ак-Кыя» имеет однослойный грунт и не представляет интереса для данного расчета. В левой части рисунков представлены графики для электрода круглого сечения диаметром 20 мм, а в правой части – для стальной полосы шириной полки 50 мм.

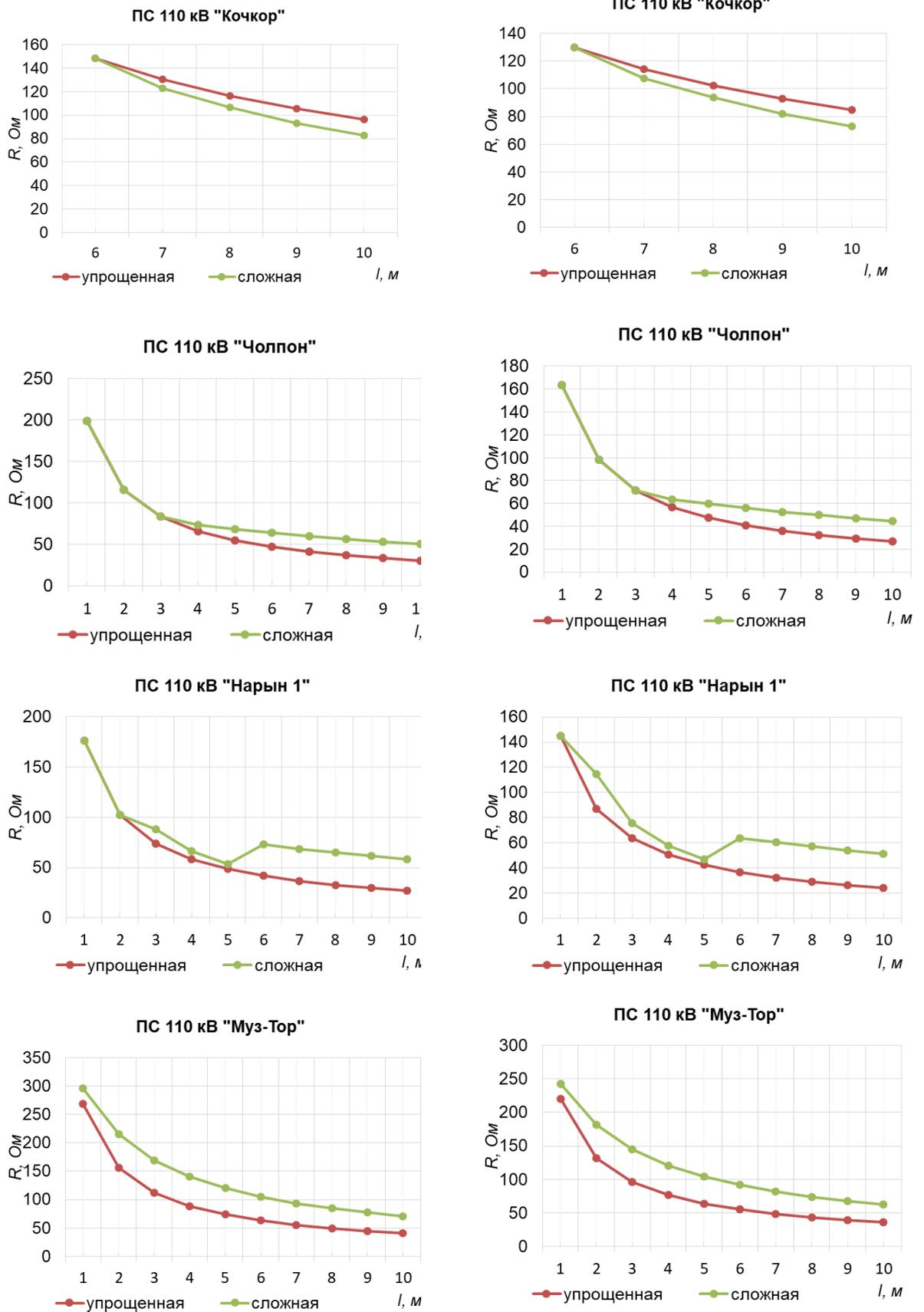


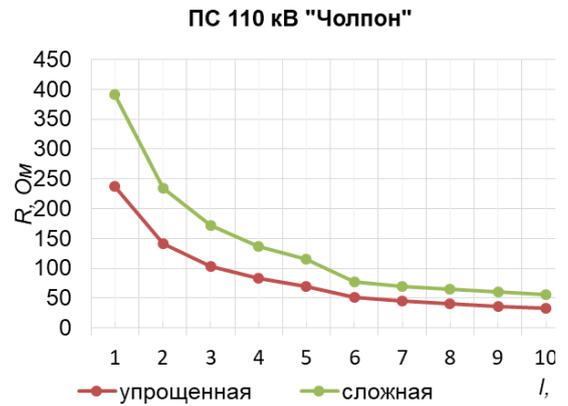
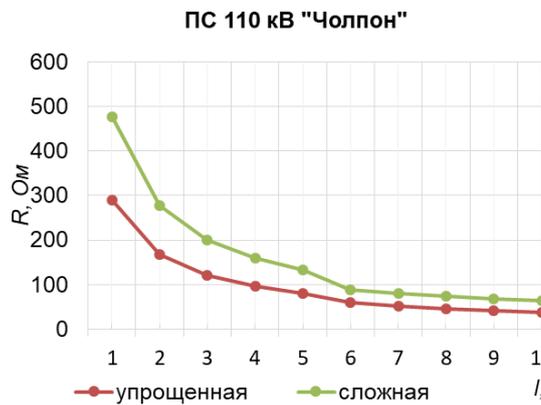
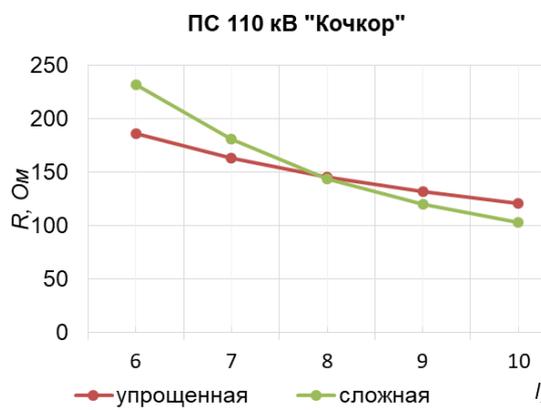
Рисунок 2 – Зависимость сопротивления вертикального электрода от ее длины для рассматриваемых ПС 110 кВ

Как видно из графиков, погрешность расчетов может составлять от 10 до 70 %. Для ПС «Нарын» и «Муз-Тор» погрешность в расчетах может составлять для всех длин

электрода, а для ПС «Кочкор» погрешность начинается от длины электрода 7 метров, для ПС «Чолпон» – от длины 4 метров.

На рисунке 3 представлены зависимости сопротивления вертикального электрода от ее длины, рассчитанные для вышеперечисленных ПС 110 кВ с учетом климатического воздействия на верхние слои грунта.

Для расчета были определены климатические коэффициенты для данных регионов[6]. ПС 110 кВ «Муз-Тор» находится на высоте 3200 м над уровнем моря, средняя многолетняя низшая температура января составляет $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$, а средняя многолетняя высшая температура июля составляет $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. При таких средних температурах ПС относится к первой климатической зоне, где глубина промерзания грунта составляет 2,2 м. Климатические коэффициенты для вертикальных электродов длиной 3–4 метра $\psi=1,65$, для электродов длиной 5 м 1,35. А для ПС 110 кВ «Нарын- 1», «Кочкор», «Чолпон» средние многолетние температуры составляют: низшая январская от $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ – до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, высшая июльская $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, которые можно отнести ко второй климатической зоне. Где глубина промерзания грунта составляет 2,0 м. Климатические коэффициенты для вертикальных электродов длиной 3–4 метра $\psi=1,45$, для электродов длиной 5 м 1,25.



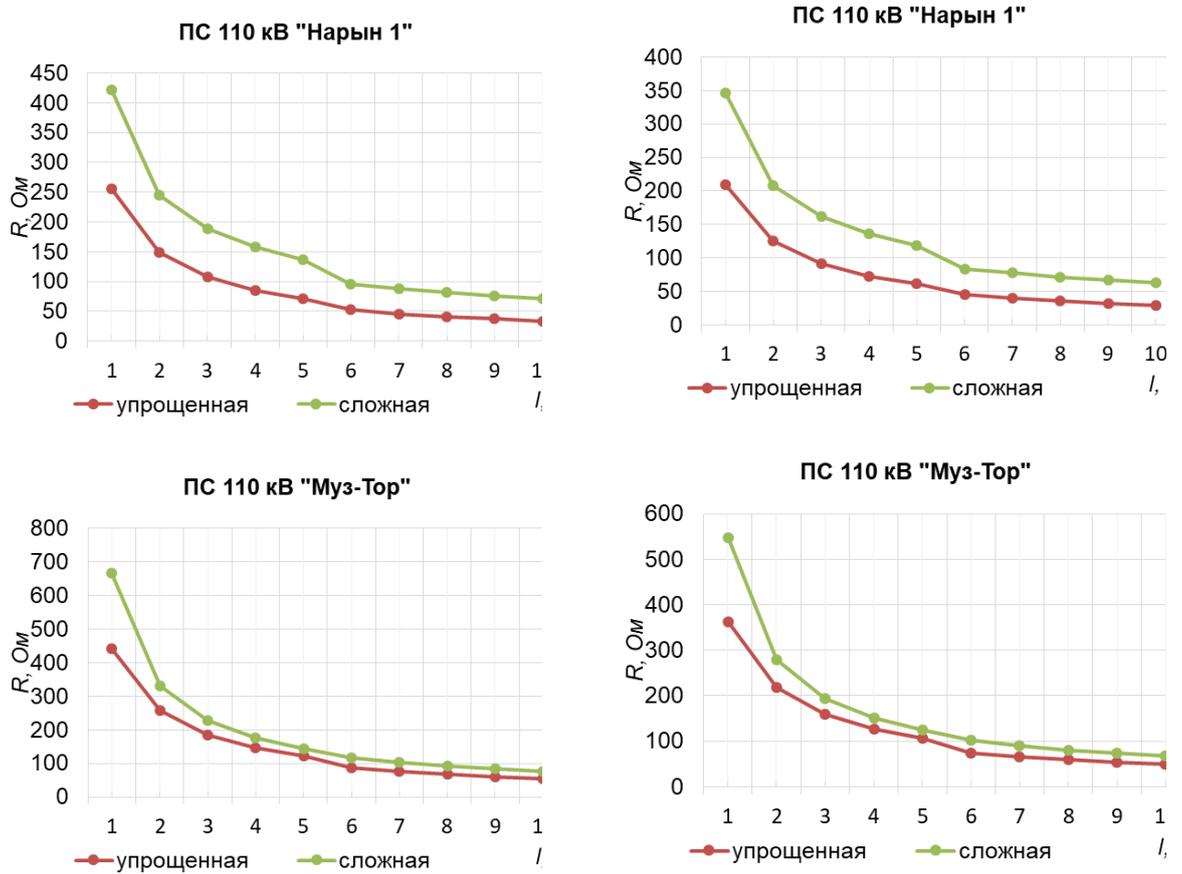


Рисунок 3 – Зависимость сопротивления вертикального электрода от ее длины для рассматриваемых ПС 110 кВ с учетом климатических коэффициентов

Из представленных графиков (рис. 3) можно сделать следующий вывод, с увеличением длины вертикального электрода влияние сезонного коэффициента мала, т.к. только верхний слой подвержен климатическому влиянию. Погрешность в расчетах может составлять от 10 до 100 %.

Заключение

В результате проведенных исследований показано, что при проектировании и реконструкции заземляющих устройств необходимо учитывать структуру и слоистость грунта и климатическое влияние. Применение упрощенных методик без учета неоднородности земли может привести к существенным отклонениям в расчетах.

Более эффективными оказались вертикальные электроды, стальные угольники с большей площадью соприкосновения с землей, в сравнении электродами с круглым сечением.

Результаты данных можно применить при выборе длины вертикальных электродов для усиления заземляющего устройства по обеспечению электромагнитной совместимости и электробезопасности данных подстанций и для энергообъектов, расположенных в одной региональной и климатической зонах.

Список литературы

1. Дьяков А.Ф. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике./ Учебник для вузов // 2-е изд. - М.: Изд-ский дом МЭИ, 2011. – 544 с.
2. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
3. Данные ОАО «НПВЭС» за 2022 г.

4. Борисов Р.К. и др. Заземляющие устройства электроустановок. Требования нормативных документов, расчет, проектирование, конструкции, сооружение. –М.: Изд-кий дом МЭИ, 2013. – 360с.
5. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.
6. http://neotec.ginras.ru/neomaps/M005_Kyrgyzstan_1980_Geology.jpg
Геологическая карта Кыргызской Республики, 2008г.
7. http://ru.mes.kg/Kniga/book_rus044.html Часть II. Мониторинг и прогноз чрезвычайных ситуаций в пределах областей и районов Кыргызской Республики. Глава 6. Нарынская область.
8. Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6 -750 кВ. ОАО «ФСК ЕЭС», 2009.