

*Асанов А.К., Джусупбекова Н.К., Батырбеков Б.К.***КЫРГЫЗСТАНДАГЫ ЭНЕРГЕТИКАЛЫК ОБЪЕКТТЕРДИН  
ТОПУРАГЫНЫН ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫК МҮНӨЗДӨМӨЛӨРҮН ИЗИЛДӨӨ***Асанов А.К., Джусупбекова Н.К., Батырбеков Б.К.***ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ГРУНТА ЭНЕРГООБЪЕКТОВ КЫРГЫЗСТАНА***A. Asanov, N. Dzhusupbekova, B. Batyrbekov***STUDY OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL  
OF POWER OBJECTS IN KYRGYZSTAN**

УДК: 621.316.9

Кыргызстандын энергетикалык объектилеринин жайгашкан жерлериндеги кыртыштарды вертикалдуу электрдик зонддоонун натыйжаларына талдоо жүргүзүүнүн негизинде кыртыштын стратификациясынын жана алардын калыңдыгынын статистикалык бөлүштүрүлүшү алынган. Топурак катмарларынын негизги катмары вертикалдуу электрдик зонанын типтүү ийри сызыктарынан аныкталат. Кыргызстандын жогорку чыңалуудагы энергетикалык объектилеринин жарымынан көбүнүн жайгашкан жери деңиз деңгээлинен 1000 метрден ашык бийиктикте жайгашкандыгы аныкталды, бул кыртыштын татаал геофизикалык шарттарын мүнөздөйт. Документте эки жана үч катмарлуу топурак моделдерин чечмелөөдө жерге туташтыруу түзүлүшүнүн каршылыктын эсептөөнүн тактыгына эквиваленттүү методдордун таасири талданат. Жерге туташтыруучу түзүлүштөрдүн нормалдаштырылган параметрлерин эсептөөдө каталар аныкталат: эки жана үч катмарлуу топурак моделдери боюнча чечмелөө. Жерге туташтыруу түзүлүшүнүн каршылык маанисин аныктоодо ката 30% га чейин жетиши мүмкүн экени көрсөтүлгөн. Жерге туташтыруучу түзүлүштүн каршылыктын эсептелген жана эксперименталдык маанилерин салыштыруу макулдашуунун жогорку даражасын көрсөттү.

**Негизги сөздөр:** вертикалдуу электрдик зондоо, топурак, эки жана үч катмарлуу топурак модели, энергетикалык түзүлүш, жерге туташтыруучу түзүлүш.

На основании анализа результатов вертикального электрического зондирования грунтов в местах расположения энергообъектов Кыргызстана, получено статистическое распределение слоистости грунтов и их мощности. Определены основные соотношения слоев грунта по типовым кривым вертикального электрического зондирования. Определено что место расположение более половины высоковольтных энергообъектов Кыргызстана находятся на высоте более 1000м над уровнем моря, что характеризует сложные геофизические условия грунтов. В работе произведен анализ влияния способов эквивалентирования на точность расчета сопротивления заземляющего устройства при интерпретации двух и трехслойной моделью грунта. Определены погрешности при расчете нормируемых параметров заземляющих устройств: интерпретация двух и трехслойной моделью грунта. Показано, что погрешность определения значения сопротивления заземляющего устройства может достигать до 30%. Сравнение расчетных и экспериментальных значений сопротивления заземляющего устройства показало высокую степень совпадения.

**Ключевые слова:** вертикальное электрическое зондирование, грунт, двух и трехслойная модель грунта, энергообъект, заземляющее устройство.

Based on the analysis of the results of vertical electrical sounding of soils at the locations of power facilities in Kyrgyzstan, a statistical distribution of soil stratification and their thickness was obtained. The main ratios of soil layers are determined from typical curves of vertical electrical sounding. It was determined that the location of more than half of the high-voltage power facilities in Kyrgyzstan are located at an altitude of more than 1000 m above sea level, which characterizes the complex geophysical conditions of the soil. The paper analyzes the influence of equivalent methods on the accuracy of calculating the resistance of the GD when interpreting two and three-layer soil models. The errors in the calculation of the normalized parameters of grounding devices are determined: interpretation by two and three-layer soil models. It is shown that the error in determining the resistance value of the grounding device can reach up to 30%. Comparison of the calculated and experimental values of the resistance of the grounding device showed a high degree of agreement.

**Key words:** vertical electrical sounding, soil, two and three-layer soil model, power facility, grounding device.

**Введение.** Заземляющее устройство (ЗУ) электроустановок выполняет три основные функции:

- обеспечивает электробезопасность для обслуживающего персонала,
- обеспечивает нормальный режим работы электрооборудования,
- обеспечивает электромагнитную совместимость технических средств в электроэнергетике [1].

Согласно Правилу устройства электроустановок (ПУЭ) [2], сопротивление заземляющего устройства (ЗУ) в сетях напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью, 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 0,002р раз.

Сопротивление ЗУ зависит от удельного электрического сопротивления грунта (УЭС). Чем меньше УЭС грунта тем меньше сопротивление растеканию

## ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСТАНА, № 6, 2022

тока, следовательно, благоприятные условия для ЗУ.

УЭС грунта зависит от состава грунта, размеров и плотности прилегания друг к другу его частиц, влажности и температуры, концентрации в нём растворимых химических веществ, 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 она тает и увлажняет грунт повышая электрическую проводимость, а летом просыхая, приводит к увеличению сопротивлению грунта.

Кыргызстан – горная страна, в которой нет отметок ниже 500 м над уровнем моря: около 43% территории находится на высотах более 3000 м, и только

около 15% на высотах ниже 1500 м. Характеристика грунтов Кыргызстана в горной местности и у подножия гор представлены преимущественно галечниками, валунниками, щебнем, песками, песчаниками, глинами, суглинками, известняками, конгломератами, алевролитами, мергелами, - что характеризуется большими УЭС; в равнинной местности представлены в основном каштановыми почвами, суглинками, супесями, глинами - с малыми УЭС, а также песками, песчаниками, гравийно-галечниками с песчаным заполнителем [3, 4].

На территории Кыргызстана имеются более 200 высоковольтных подстанций (ПС) 110 кВ и выше, расположены они на высоте от 600 м до 3800 м над уровнем моря (рис. 1).

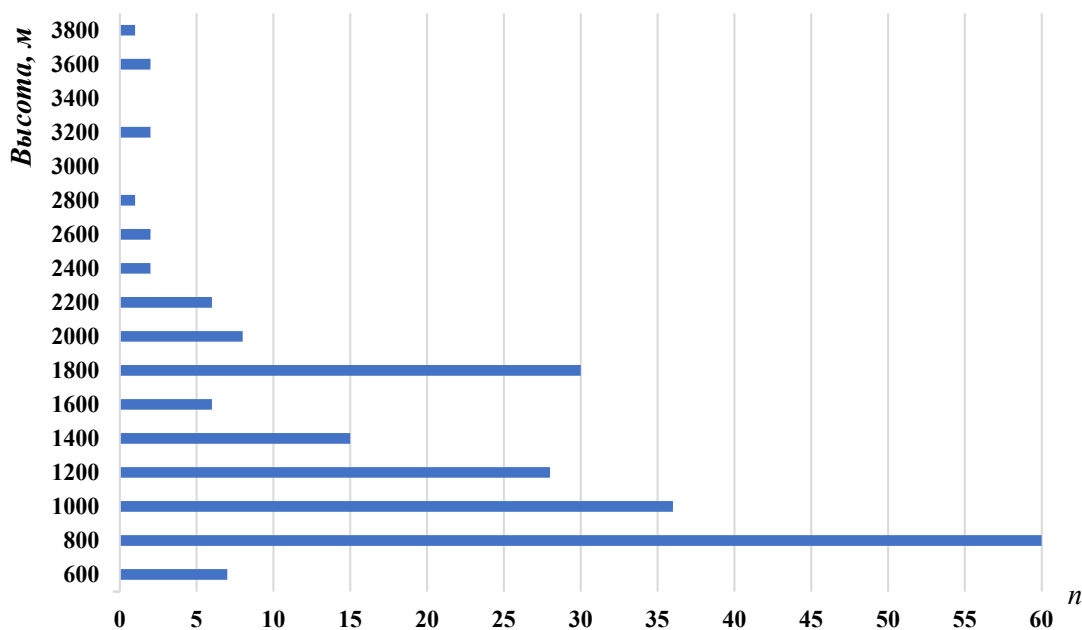


Рис. 1. Расположение высоковольтных ПС КР над уровнем моря.

Из рисунка 1 следует, что более половины ПС расположены на высоте более 1000 м над уровнем моря, это говорит о том, что большинство из них расположены в грунтах с большим УЭС.

Вводом мощностей ТЭЦ г. Бишкек, Камбаратинской ГЭС-2, модернизацией ГЭС на территории Кыргызстана, строительством и вводом ЛЭП 500 кВ «Датка-Кемин» и др. увеличились токи короткого замыкания (КЗ) в сетях напряжением 110 кВ и выше. КЗ и удары молнии на шинах подстанции являются наиболее мощными источниками электромагнитных помех для всех вторичных цепей. Указанные процессы сопровождаются протеканием больших токов по ЗУ и возникновению больших потенциалов, что приводит к пробое изоляции кабелей вторичных цепей, ложному срабатыванию устройств релейной защиты и

автоматики, нарушению электромагнитной совместимости и выходу из строя электрооборудования с развитием на сложные аварии. Следствием, которого можно отнести аварии [5] на Курпсайской ГЭС (2012 г.), ПС «Кыргызская» (2014 г.), ПС «Орок» (2016 г.), ПС «Айни» (2017 г.), ПС «Ананьево» (2022 г.) также систематическим нарушениям ЭМС в работе РЗА на ПС. Следует отметить что, все эти энергообъекты расположены в местах с большими УЭС грунта.

В сложившейся ситуации исследование электрофизических характеристик грунта и определение оптимальных конструкций ЗУ является приоритетной задачей по обеспечению нормального функционирования электрооборудования, электробезопасности и электромагнитной совместимости технических средств на объектах электроэнергетики.

## ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСТАНА, № 6, 2022

В период с 2021 по 2022 гг. осуществили инструментальное обследование параметров ЗУ и электрических характеристик грунтов 43 ПС 110-500 кВ (г.Бишкек, Чуйская, Нарынская, Ыссык-Кульская области), что составляет в количестве не менее 40% в каждом рассматриваемом регионе.

Измерения удельного сопротивления грунта проводились за пределами подстанции по методу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) [4].

Сопротивление растеканию измерялось с помощью классического метода «амперметра-вольтметра»

интегрированным прибором MRU-120. Токовый и потенциальный зонды были вынесены за территорию ПС на расстояния порядка 3D (диагональ) метров соответственно. Измеренное сопротивление растеканию с учетом естественных заземлителей (система «трос-опора», брони кабелей, и др.).

**Анализ результатов ВЭЗ.** Согласно экспериментальных кривых ВЭЗ и интерпретации кривых ВЭЗ [6] определены параметры многослойной модели грунта, которые представлены на рисунках 2, 3, 4.

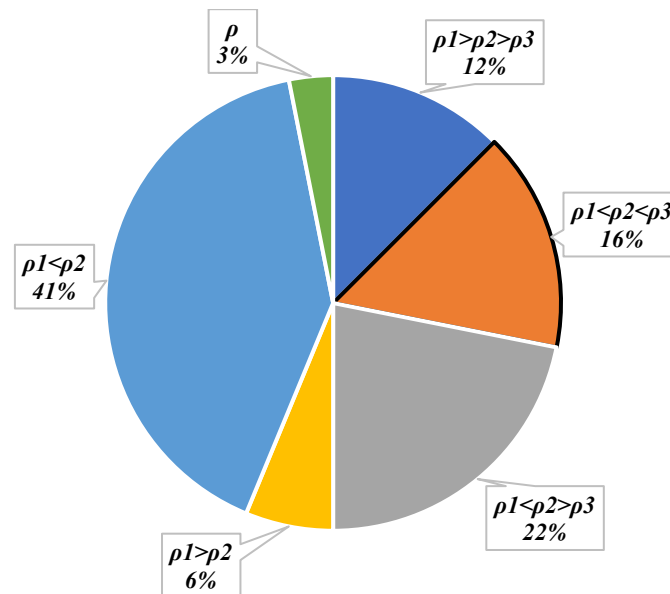


Рис. 2. Распределение на типовые кривые ВЭЗ.

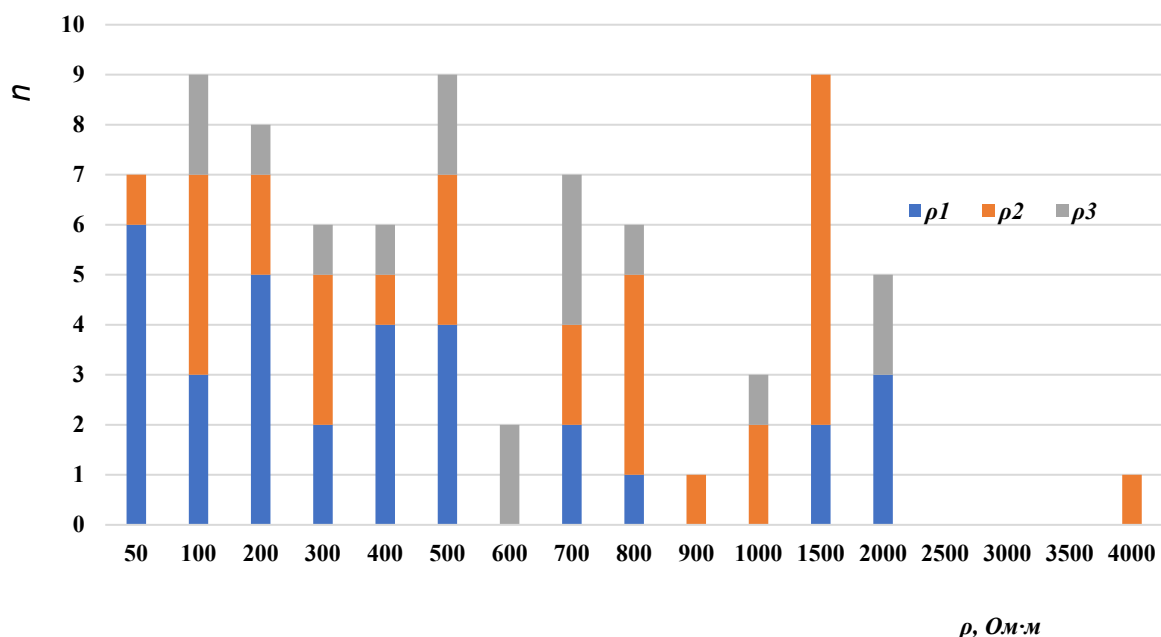


Рис. 3. Гистограмма распределения УЭС грунта.

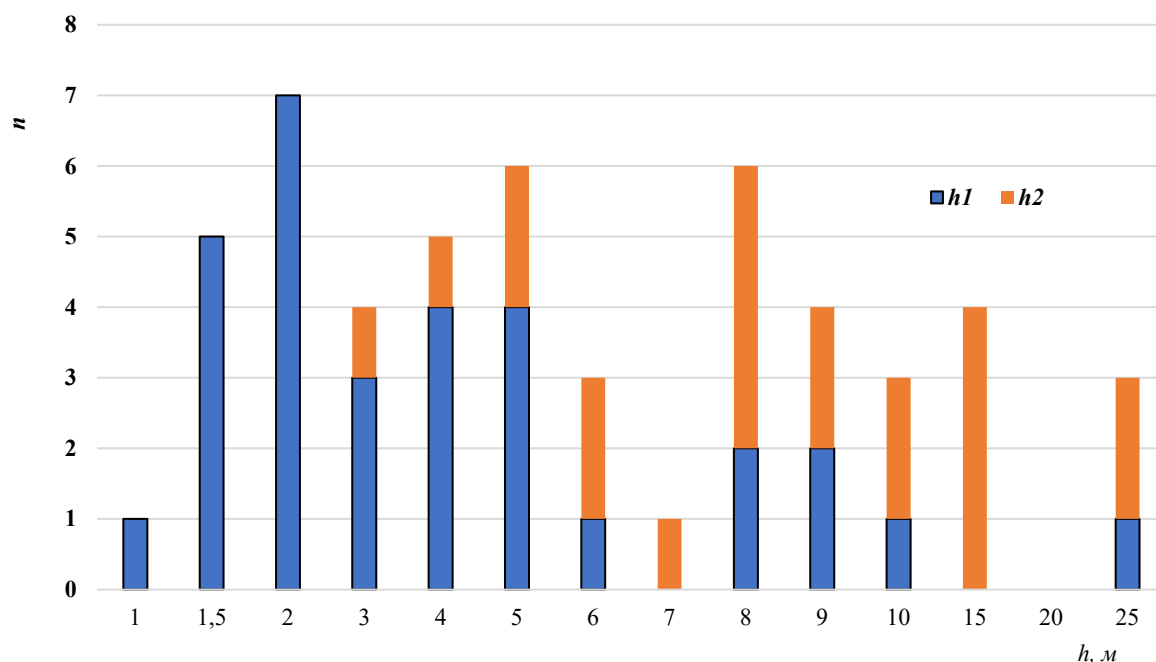


Рис. 4. Статистическое распределение мощности слоев УЭС.

Из анализа экспериментальных кривых ВЭЗ и гистограмм следует что на территории энергообъектов УЭС грунтов для одно- и двухслойных грунтов лежат в пределах от 25 до 1670 Ом·м, с мощностью верхнего слоя от 1,5 до 25 метров, а для трехслойного грунта от 15 до 3962 Ом·м, с мощностью  $h_1$  от 1,1 до 10 метров,  $h_2$  от 3 до 23 метров. Также в таблице 1 приведены статистические характеристики УЭС грунта по типовым кривым ВЭЗ.

Таблица 1

Статические характеристики УЭС

Кривые ВЭЗ	Среднестатистические характеристики ВЭЗ							
	$\rho_1/\rho_2$	$\rho_2/\rho_3$	$\rho_1/\rho_3$	$\rho_{1\text{мин}}/\text{мах},$ Ом·м	$\rho_{2\text{мин}}/\text{мах},$ Ом·м	$\rho_{3\text{мин}}/\text{мах},$ Ом·м	$h_1, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$
$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$	1,93	2,12	4,09	187/1650	95/910	50/480	5,75	8,50
$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$	0,41	0,41	0,17	15/310	53/735	150/1900	2,88	8,20
$\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$	0,34	1,87	0,63	186/1520	340/3962	230/1940	3,01	12,07
$\rho_1 > \rho_2$	1,67	-	-	25/1670	50/1370	-	16,5	-
$\rho_1 < \rho_2$	0,51	-	-			-	3,63	-

**Анализ данных ВЭЗ по г. Бишкек.** По данным [7], на участках к северу от большого Чуйского канала (БЧК) получены следующие характеристики УЭС грунта:

– супеси и мелкозернистые иловатые пески, как правило, водонасыщенные на глубине от 1,5 до 3,5 м, с УЭС от 20 до 40 Ом·м; при наличии прослоев текучепластичных суглинков и глин величина УЭС уменьшается до 5-10 Ом·м; при наличии прослоев и линз крупнозернистого песка величина УЭС возрастает до 80-100 Ом·м;

– крупнозернистые и среднезернистые водоносные пески на глубине от 2,5 до 4,5 м с УЭС от 60 до 80 Ом·м; в тех случаях, когда имеются примеси гравия и гальки, величина УЭС возрастает до 100-200 Ом·м;

– супеси и суглинки плотные, переслаивающиеся на глубине свыше 4,5-5,0 м влажные с УЭС в широком диапазоне (в зависимости от глинистости и влажности) – от 20 до 100 Ом·м.

Анализ данных ВЭЗ более 10 энергообъектов в южном направлении от БЧК, показал, что УЭС грунта изменяются в широких пределах, от 50 Ом\*м до 2000 Ом\*м в приближении к подножью гор (рис. 5).

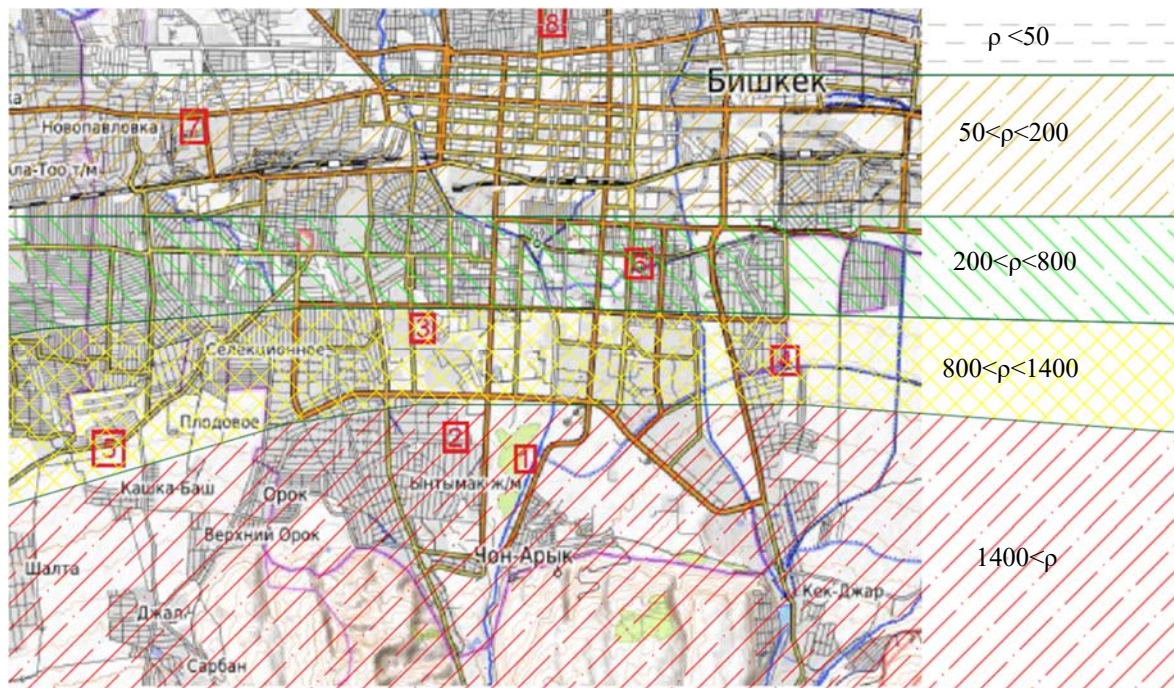


Рис. 5. Среднее УЭС грунта на территории г. Бишкек.

Таким образом, определены диапазоны предельных и наиболее часто встречающихся значений ЭФХ грунтов в местах расположения энергообъектов в рассматриваемых регионах.

**Оценка влияния эквивалентирования.** Применение методов эквивалентирования к ЭФХ многослойного грунта значительно влияет на результаты проведения расчетов, нормируемых параметров ЗУ. При этом, как показывает многолетняя практика выполнения подобных расчетов, приведение трехслойных грунтов к двухслойной модели методом эквивалентирования может давать значительные погрешности в зависимости от типа кривой ВЭЗ и порядкового номера слоя, в котором расположено ЗУ [6].

В работе произведен анализ влияния способов эквивалентирования на точность расчета сопротивления ЗУ при интерпретации различных типов кривых ВЭЗ. Для этого выбраны 6 ПС по две схожими типовыми кривыми ВЭЗ (см. табл. 2). Эти кривые интерпретированы в двух- и трехслойную модель грунта. Расчет по двухслойной модели грунта также производился с помощью компьютерной программы «Контур» (зарегистрирован в госреестре РФ).

За истинные значения сопротивления ЗУ приняты расчетные значения при грунте интерпретированной в трехслойную модель, т.к. они с высокой степенью согласуются с измеренными данными (без учета естественных заземлителей) [8]. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета

Параметры расчета	Тип кривой ВЭЗ	$\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$		$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$		$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$	
	Энергообъект	ПС 1	ПС 2	ПС 3	ПС 4	ПС 5	ПС 6
УЭС грунта	$\rho_1, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	370	280	70	310	187	1650
	$\rho_2, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	850	1400	230	735	95	910
	$\rho_3, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	560	910	755	1900	50	480
Мощности слоев грунта	$h_1, \text{ м}$	9	1,5	2	4,2	2	10
	$h_2, \text{ м}$	9	6,5	3	13	7	13
Сопротивление ЗУ ( $R_{\text{зу}}$ ), Ом	трехслойная модель	1,43	1,37	2,35	11,03	0,14	8,13
	двухслойная модель <sup>1</sup>	1,85	1,25	3,01	9,82	0,13	6,68
	двухслойная модель (КП «Контур») <sup>2</sup>	1,67	1,33	2,73	7,8	0,17	7,83
Погрешность расчета	$\delta_1, \%$	28,7	-8,8	27,9	-10,9	-7,2	-17,9
	$\delta_2, \%$	16,2	-3,34	15,9	-29,3	19,7	-3,8

Как следует из полученных результатов для кривых  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ ,  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$  с близкими значениями  $h_1$  и  $h_2$  дает завышенные значения от 15,9 до 28,7%, а для всех типов кривых ВЭЗ с отличающимися в 2 и более раза  $h_1$  и  $h_2$  дает заниженные значения от 3,34 до 29,3%.

**Выводы.** Определены статистические характеристики УЭС грунтов, рассматриваемых регионах Кыргызстана. Наиболее распространенными геоэлектрическими структурами в местах расположения энергообъектов в рассматриваемых регионах, являются двух и трехслойные грунты. Проведенный анализ показал, что на точность расчета нормируемых параметров ЗУ влияет способы эквивалентирования двух и трехслойной моделью грунта. Применение упрощенных методик приведения многослойной геоэлектрической структуры к эквивалентной двухслойной модели грунта может привести к существенным отклонениям в расчетах до 30%. В дальнейшем необходимо дополнять базу данных ЭФХ грунтов регионов Кыргызстана.

Исследования проведены при государственной поддержке в рамках гранта МОиН КР №0007818.

#### Литература:

- СТО 56947007-29.130.15.114-2012. Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ. ОАО «ФСК ЕЭС», 2012.
- Правила устройства электроустановок. 7-е изд. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
- [http://neotec.ginras.ru/neomaps/M005\\_Kyrgyzstan\\_1980\\_Geology.jpg](http://neotec.ginras.ru/neomaps/M005_Kyrgyzstan_1980_Geology.jpg) Геологическая карта Киргизской Республики 2008г.
- Борисов Р.К. и др. Заземляющие устройства электроустановок. Требования нормативных документов, расчет, проектирование, конструкции, сооружение. - М.: Изд. дом МЭИ, 2013. - 360 с.
- Данные ОАО «Национальная электрическая сеть Кыргызстана» за 2012 по 2022 гг.
- Колиушко Г.М., Колиушко Д.Г., Руденко С.С. К вопросу повышения точности расчета нормируемых параметров заземляющих устройств действующих электроустановок // Электротехника і електромеханіка. - 2014. - №4. - С. 65-70.
- Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 16-е с изм. и доп.), Б.: МЧС КР, 2019. - 765 с. Часть III.
- Отчет НИР за 2021г. «Исследования электромагнитной обстановки объектов электроэнергетики и обеспечение электромагнитной совместимости устройств в электрических сетях». // НИИ Энергетики и связи при КГТУ им. И.Раззакова. Бишкек. 2021. - 89 с.
- Асанов А.А., Рысбеков А.Ш. Обзор и анализ конструкции оборудования для глубинного уплотнения грунта. / Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2017. - №. 4. - С. 20-23.
- Рырсаалиев А.С., Адиева З.Э., Кубанычбекова М.К., Быймырзаев Т.С. Управление режимами электропотребления в системах электроснабжения. / Наука, новые технологии и инновации кыргызстана. 2019. №. 2. С. 15-18