

Григоровский П.Е., к.т.н., ORCID ID:0000-0003-0527-5890

Куделя А.М., к.ф.-м.н., Чуканова Н.П., Мурасева Е.В., инж.

ГП Научно-исследовательский институт строительного производства, г.Киев.

ОБСЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТУННЕЛЯ ТЕРЕБЛЕ-РИЦКОЙ ГЭС И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ГОРНОГО МАССИВА РАДИОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ

Аннотация. Научно-исследовательским институтом строительного производства выполнены геофизические работы с целью выявления ослабленных грунтовых зон, прилегающих к телу туннеля Теремле-Рицкой ГЭС, Хустского района Закарпатской области. Геофизические работы выполнены разработанным в институте методом радиоволнового зондирования с применением экспериментального образца структуроскопа дипольного индуктивного СДИ К-5. На основании полученных геометрических и геофизических данных представляется возможным выполнить расчет полых объемов для оценки эффективности их заполнения методом инъекции с целью повышения прочности туннеля и надежности его эксплуатации.

Ключевые слова: инструментальные обследования, геофизические методы, инструментальные измерения, гидротехнические туннели. Радиоволновое зондирование.

Вступление

Опыт эксплуатации гидротехнических туннелей показывает, что они подвержены различным повреждениям, которые являются следствием их физического износа, неэффективных проектных решений, некачественного выполнения строительных работ, недостатка информации о их техническом состоянии [1].

Научно-исследовательским институтом строительного производства (ГП "НИИСП") выполнены геофизические работы с целью выявления ослабленных грунтовых зон, прилегающих к телу туннеля Теремле-Рицкой ГЭС, Хустского района Закарпатской области. Геофизические работы, в дальнейшем исследования, были выполнены методом радиоволнового зондирования (РЗ), с применением экспериментального образца структуроскопа дипольного индуктивного СДИ К-5. Разработка и апробация метода выполнены в ГП "НИИСП", г. Киев.

Описание объекта исследования

Теремле-Рицкая ГЭС расположена в восточных Карпатах, в долине среднего течения р. Теремля и р. Рика – правых притоков р. Тиса. Долины обеих рек врезаны в палеогеновые породы карпатского флиша и имеют V – образную форму. Аллювиальные отложения представлены валунно-галечными отложениями. Мощность аллювиальных отложений меняется от 1 до 7 метров. Делювиальные накопления сложены глинистым материалом с обломками и щебнем коренных пород. Мощность делювия иногда превышает 10 м. В районе исследований сильно развиты подземные воды. Фрагмент геологического строения горного массива, в котором находится тело гидротехнического туннеля, представлен на рис.1. (см. цветную вкладку на стр. 34)

В соответствии с рис.1, горный массив вокруг тела туннеля имеет сложную и неоднородную структуру.

Для выполнения работы были рассмотрены несколько вариантов методов и их аппаратурной реализации исследования горных массивов, ранее применяемых для городских условий [2]. Метод вертикального электрического зондирования, ВЭЗ, принципи-

ально невозможно использовать по нескольким причинам. Первая. Внутренняя часть тела туннеля выполнена из монолитного бетона с толстым наложением влажных глинистых отложений. Вторая. По дну туннеля протекает водный поток глубиной до 0,5 м. Третья. Объект исследования не грунтовая плоская поверхность, а полый цилиндр. В следствии указанных причин, установка контактных электродов в мокрый бетон невозможна; если все же применить прижимные контакты, ток между электродами распределится по всей внутренней поверхности туннеля, что приведет к неоднозначности результатов измерения. Более того, при плохих контактах может возникнуть искрение, что категорически запрещено по технике безопасности, т.к. это может привести к взрыву.

Использование методов микро-сейсмики предполагает использование микро-ударов, которые могут привести к разрушению тела туннеля. В связи с этим, категорически метод нельзя использовать.

Импульсный высокочастотный георадар типа GPR также физически сложно использовать по следующим причинам. Для зондирования GPR влажных грунтов требуется частотный диапазон порядка (100-400)МГц и плоская грунтовая поверхность. В этом частотном диапазоне антенные системы имеют размеры порядка 1м² и вес более 10кг. По дну туннеля перемещать антенны невозможно – протекает водный поток. Перемещать антенны по влажным дугообразным стенам, при наличии напорных водных струй практически сложно и принципиально нельзя: для корректных измерений под антенной GPR обязательно должна быть плоская поверхность.

В связи с этим, был выбран бесконтактный метод радиоволнового зондирования. Аппаратный комплекс для этого метода способен работать в условиях повышенной влажности и наличия напорных струй воды внутри туннеля.

Краткая характеристика метода РЗ и аппаратура

Метод РЗ основывается на изучении процесса распространения в горных породах электромагнит-

ых волн и наблюдении индукционных эффектов в грунтовых слоях с разными величинами проводимости, диэлектрической и магнитной проницаемости. В индуктивных методах электромагнитное поле создается с помощью незаземленных контуров (рамок), обтекаемых переменным током [3,4]. Две рамки (генераторный магнитный диполь и приемный магнитный диполь) составляют дипольную индуктивную систему (ДИС) для выполнения профилирования и зондирования грунтового массива (рис.2 (см. цветную вкладку на стр. 34)). Глубина зондирования определяется расстоянием, между генераторной и приемной антенными системами, [5]. Дипольное индуктивное профилирование (ДИП) выполняется без изменения взаимного положения между рамками. Изменением расстояния между рамками производится дипольное индуктивное зондирование (ДИЗ), которое принято называть геометрическим. Для выполнения ДИЗ и ДИП применена аппаратура – дипольный индуктивный структуроскоп СДИ К-5,[6]. В случае размещения генераторной и приемной антенных систем в полном пространстве горного массива (туннеле), глубина зондирования определяется половиной базы между антеннами, [5].

Методика выполнения геофизических исследований.

В связи с особенностями РЗ внутри туннеля (рис.3 (см. цветную вкладку на стр. 34)), дно которого заполнено текущей водой, при диаметре туннеля порядка 3,7м, был разбит профиль длиной 3450 метров с размещенными на нем 70 точек, пикетов ДИЗ, расположенных на расстояниях 50м. Шаг зондирования по профилю 1м. С учетом задачи геофизических исследований и технологии работы в туннеле, были выбраны глубины (база) радиозондирования: 4, 6, 8 и 10 метров. Антенны СДИ – К5 располагались ближе к мнимой оси симметрии туннеля. Полевые данные измерений записывались в электронную память приемника на SD – карту. РЗ выполнялось в следующих слоях горных пород:

- слой, прилегающий к тоннелю, в том числе его внешняя поверхность;
- на расстояниях от внешней поверхности тоннеля на глубину от 1 до 2 м;

– на расстояниях от внешней поверхности на глубину от 2 до 3,5м.

Обработка полевых данных.

Результаты полевых измерений представлены в виде графиков, на которых показаны компоненты вторичного электромагнитного поля в зависимости от глубины зондирования:

канал 1, вертикальная магнитная компонента электромагнитного поля, Hz, амплитуда которой зависит от степени поглощения электромагнитного поля грунтовой прослойкой, т.е. определяет однородность этой прослойки в пространстве залегания, красная линия;

канал 2, горизонтальная электрическая компонента электромагнитного поля, Ex, коричневая линия;

канал 3, дифференциальный фазовый сдвиг $\Delta\phi$, между Hz и Ex, синяя линия;

канал 4, сумма Hz и Ex, коричневая линия.

В качестве примера на рис.4 (см. цветную вкладку на стр. 35) приведены графики профилирования с базой 6м по ПК 0-70.

Количественная интерпретация данных полевых измерений методом РЗ близка к теллурическому и методу становления поля в ближней зоне, которые рассмотрены В.К. Хмелевским в [7] и Сидоровым М.И. в [8].

При известных технических параметрах генераторной и приемной антенн, измеренные значения напряженности компонент электромагнитного поля в точках измерения могут быть использованы для вычисления значений продольной проводимости, $S\tau$, грунтового массива и значений кажущегося удельного сопротивления $\rho\tau$, исследуемой среды путем математической обработки полевых данных, [8]. Это позволяет построить графики зависимости значений продольной проводимости $S\tau$, грунтового массива и значений кажущегося удельного сопротивления $\rho\tau$, от глубины вдоль профиля исследуемого тоннеля.

Значения продольной проводимости исследуемой среды $S\tau$, определяют по формуле:

$$S_{\tau} = \frac{F(\overline{m})}{k \cdot \overline{B}} \quad (1)$$

Таблица 1. Эксплуатационные характеристики СДИ К-5

№ п/п	Эксплуатационные характеристики	Значение
1	Глубина зондирования, в зависимости от типа грунта, м	от 1 до 100
2	Точность определения по глубине и в плане в зависимости от величины измерения, %	≤ 5
3	Вес приемной антенны с теодолитным штативом, кг	$\leq 4,5$
4	Вес генераторной антенны с теодолитным штативом, кг	≤ 6
5	Электропитание СДИ К-5 батарейное, В	6 и 12
6	Время непрерывной работы СДИ К-5, час	8
7	Диапазон рабочих температур, $^{\circ}C$	от -10 до +50
8	Емкость электроннй карты памяти SD-карты, GB	4

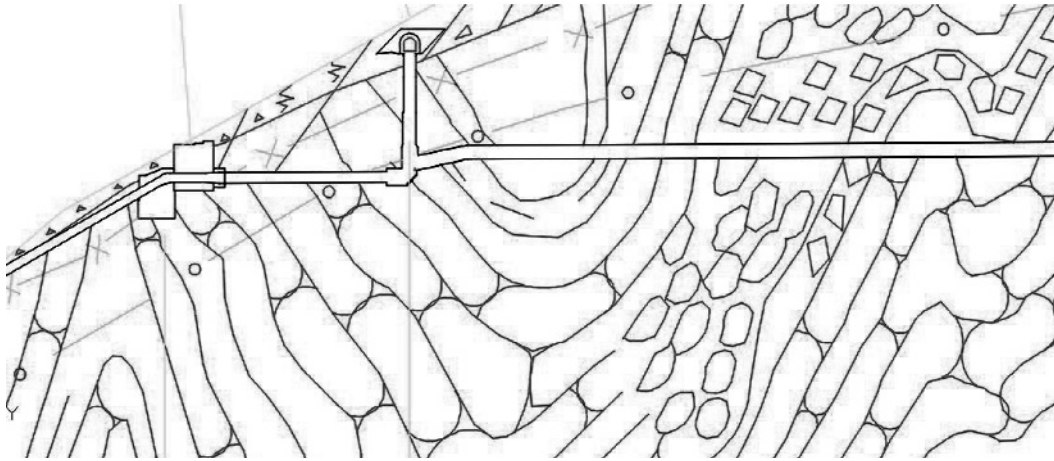


Рис.1. Фрагмент геологического строения горного массива вокруг туннеля



Рис.2 Дипольный индуктивный структуроскоп СДИ К-5

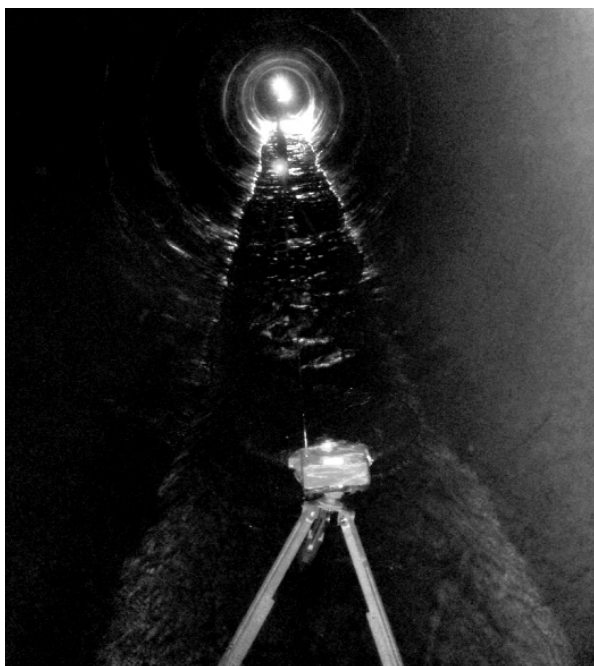


Рис.3. Размещение измерительной системы в туннеле.
На переднем плане – приемная антенная система.

Цветные рисунки к статье Григоровского П.Е.,
Кудели А.М, Чукановой Н.П., Мурасевой Е.В.
ОБСЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНОГО
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТУННЕЛЯ ТЕРЕБЛЕ-
РИЦКОЙ ГЭС И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ГОРНОГО
МАССИВА РАДИОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ стр. 32-38

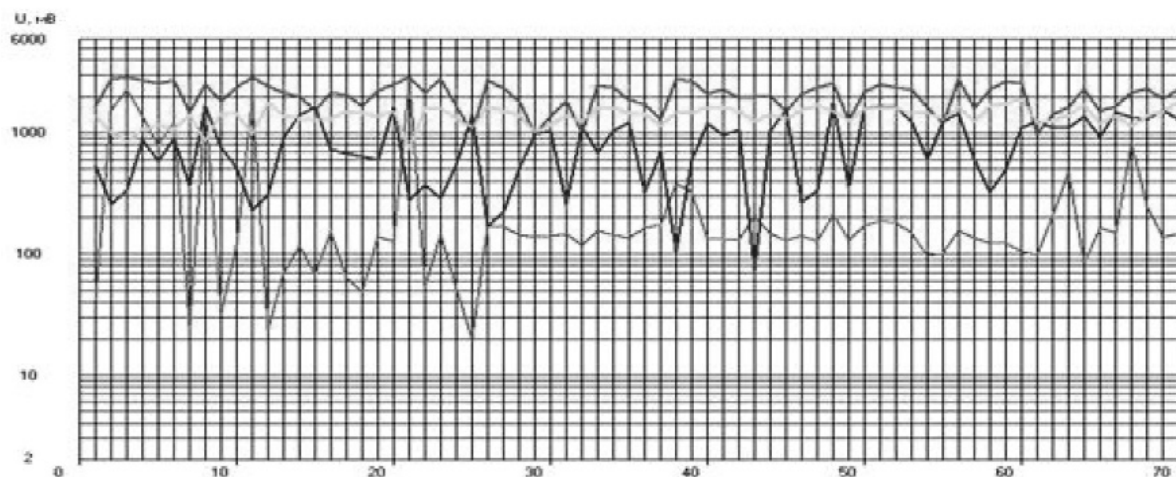


Рис.4. Графики профилирования с базой 6 м.

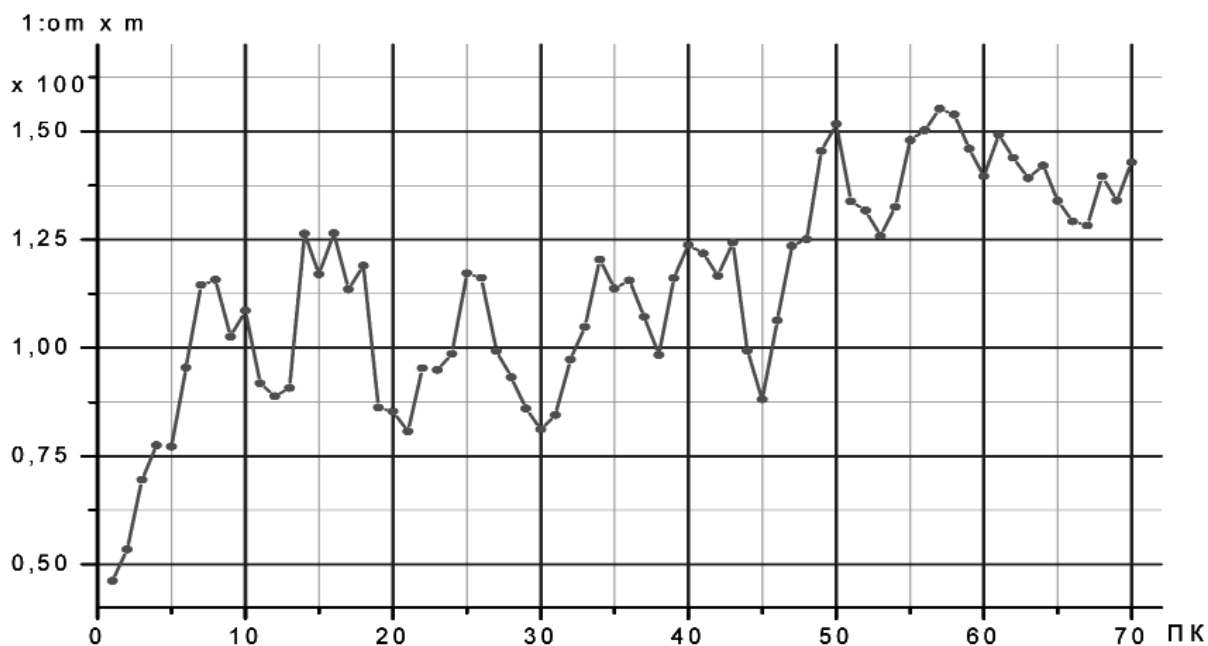


Рис.5. График продольной проводимости горных пород на расстоянии (0,8-1,5)м. от тела туннеля

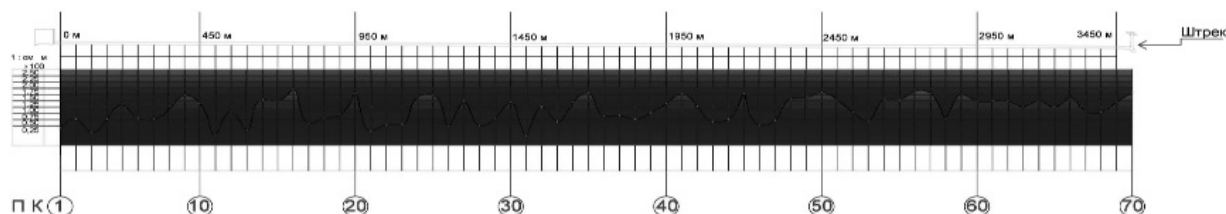


Рис.6. Продольная проводимость грунтового массива вокруг тела туннеля на расстоянии до 3,5 м.

Цветные рисунки к статье Григоровского П.Е., Кудели А.М, Чукановой Н.П., Мурасовой Е.В.
 ОБСЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТУННЕЛЯ ТЕРЕБЛЕ-РИЦКОЙ
 ГЭС И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ГОРНОГО МАССИВА РАДИОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ стр. 32-38

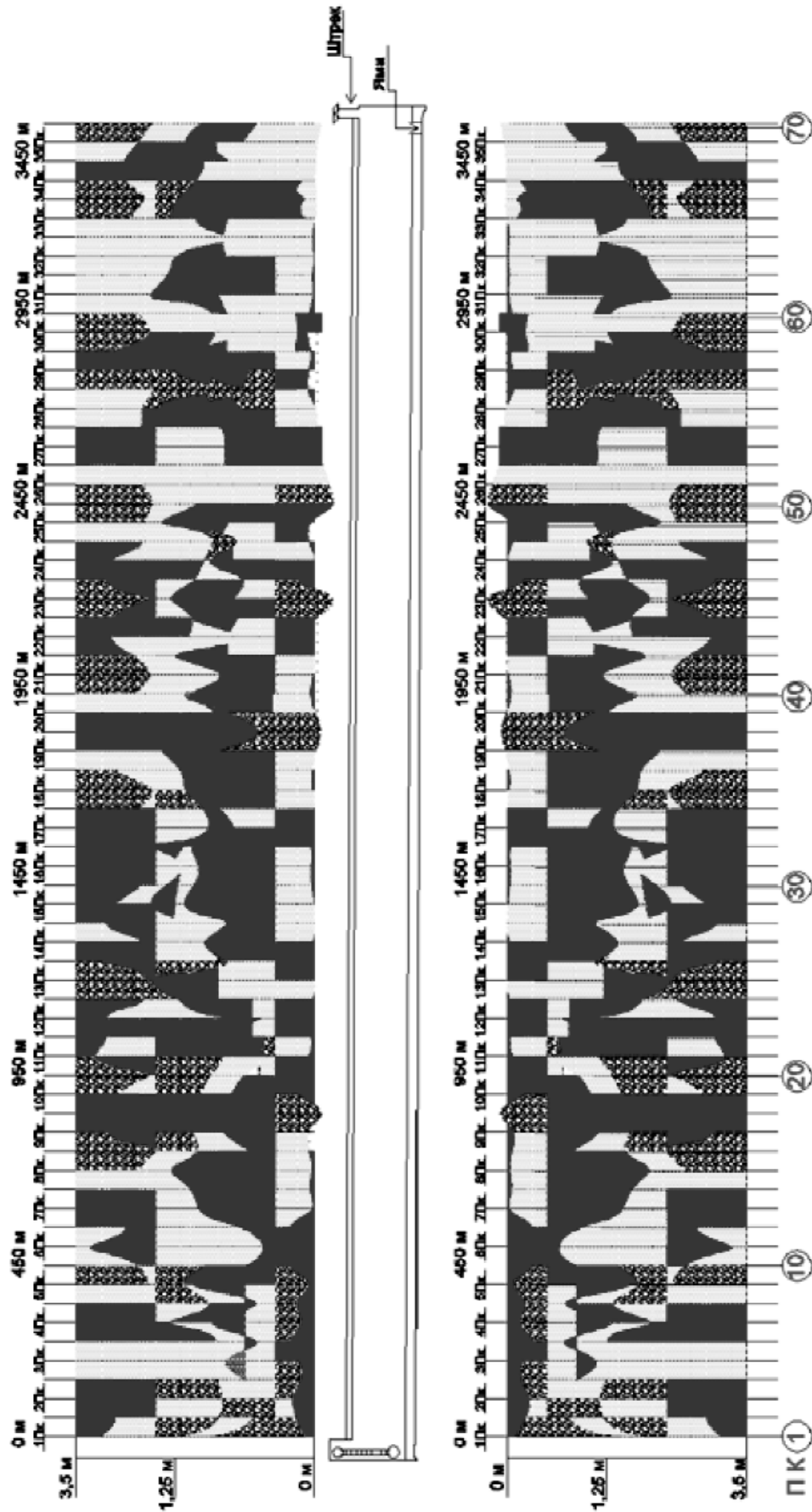


Рис.7. Геофизическая структура горного массива по протяженности дна и верхнего свода на глубинах до 3,5 м.

Цветные рисунки к статье Григоровского П.Е., Кудели А.М., Чукановой Н.П., Мурасовой Е.В.
ОБСЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТУННЕЛЯ ТЕРЕБЛЕ-РИЦКОЙ ГЕС И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ГОРНОГО МАССИВА
РАДИОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ стр. 32-38

где $F(m)$ – величина, которая отображает переходную характеристику исследуемой проводящей среды;

k – коэффициент, учитывающий размеры генераторной и приемной антенн;

E – измеренное значение напряженности электромагнитного поля.

Причем, значение $F(m)$ определяют по формуле:

$$F(m) = \frac{m(3 - 8m^2)}{(1 + 4m^2)^2} \quad (2)$$

и значение k определяют по формуле:

$$k = \frac{\pi r^2}{3Qq} \quad (3)$$

где r – расстояние между генераторной и приемной антеннами;

Q та q – эффективные площади генераторной и приемной антенн;

При этом значение m определяют по формуле:

$$m = P \frac{R}{E^2} \quad (4)$$

где E – значение производной от измеренной величины напряженности компонент электромагнитного поля;

P – коэффициент, зависящий от расстояния измерения и определяемый по формуле:

$$P = \frac{\mu * r}{k} \quad (5)$$

где μ – диэлектрическая проницаемость воздуха;

r – расстояние между генераторной и приемной антеннами;

k – коэффициент, учитывающий размеры генераторной и приемной антенн.

Значение кажущегося удельного сопротивления исследуемой среды ρ_{τ} определяют по формуле:

$$\rho_{\tau} = 2\pi * 10^{-7} * \frac{r^2}{E^2 * t} \quad (6)$$

где: r – расстояние между генераторной и приемной антеннами;

E – измеренное значение напряженности электромагнитного поля.

t – величина, обратно пропорциональная к частоте электромагнитного поля f , которая определяется по формуле:

$$t = 1/f \quad (7)$$

Построение графиков зависимости значений продольной проводимости, S_{τ} , грунтового массива и значений кажущегося удельного сопротивления, ρ_{τ} , исследуемой среды от глубины зондирования производится по программе, которая обрабатывает полевые данные, записанные в SD – карту.

Значения продольной проводимости горных пород вокруг тела туннеля рассчитывались по формулам (1)– (5) и изменяется от 30 до 200 1/ Ом х м.

В качестве примера на рис. 5 (см. цветную вкладку на стр. 35) приведен график продольной проводимости горных пород на расстоянии (0,8-1,5)-м. от тела туннеля по ПК 0-70.

При обработке полевых данных и расчете продольной проводимости горных пород оказалось, что без

уменьшения общей информативности

результатов работы можно принять к дальнейшему рассмотрению величины продольной проводимости горных пород примыкающих к телу туннеля на расстоянии до 3,5м, рис. 6. (см. цветную вкладку на стр. 35).

Графическая интерпретация графиков компонент вторичного электромагнитного поля в зависимости от глубин зондирования, (рис. 4) с базами 2,4,6 и 8 м позволяет предположить следующее:

- бетонная оболочка туннеля и примыкающие к ней горные породы слоем до 0,5м являются неоднородными на пикетах 7, 13, 18, 45, 48, 49;

- на пикетах 33 и 61 наблюдается резко выраженная неоднородность, где наблюдались большие напорные потоки и фонтаны грунтовых вод;

- на расстояниях от тела туннеля от 0,8 до 3,5 м наблюдается блочная структура горных пород, которая хорошо коррелирует с геологическим строением района исследований;

- особенно выделяется блочная структура горных пород на расстояниях от тела туннеля приблизительно до 3,5м на пикетах: 9 – 18, 23 – 26, 31 – 45.

Интерпретация результатов геофизических исследований, совместно с геологическими данными, позволила построить продольный разрез туннеля с геофизической версией состояния горных пород примыкающих к телу туннеля на расстояние до 3,5м рис.7, (см. цветную вкладку на стр. 36) и выделить следующие горные породы:

- скальные породы, слабо увлажненные;
- крупно-обломочные пещаники и сланцы, среднеувлажненные;
- водонасыщенные глинистые сланцы и глины, т.е. объемы выделяющиеся малыми значениями S_{τ} .

Из геологической информации о строении горного массива о валунном строении и внешнем осмотре поверхности горного массива.

Синим цветом изображены насыщенные влагой грунты, такие как сланцы, глины.

Желтым цветом изображены крупно-обломочные песчаники и сланцы, средне увлажненные грунты

Черным цветом изображены скальные породы, малоувлажненные грунты валуны размерами от мелких до очень крупных можно сделать допущение, что междувалунное пространство первоначально заполненное сыпучими грунтами, после длительной эксплуатации туннеля было вымыто грунтовыми водами, как природного происхождения, так и напорными из туннеля. Можно предположить, что междувалунное пространство представляет собой полые объемы, которые ослабляют горный массив.

Из имеющихся геометрических и геофизических данных представляется возможным выполнить расчет полых объемов для оценки эффективности заполнения методом инъекции с целью повышения прочности туннеля и надежности его эксплуатации.

Выводы.

1. Структура оболочки туннеля неоднородна на пикетах 7, 13, 18, 45, 48, 49.

2. По результатам геофизических исследований грунтовой массив вокруг тела туннеля имеет блочную структуру, которая особенно выражена на пикетах: 9 – 18, 23 – 26, 31 – 45.

3. Горные породы на расстояниях от тела тунеля, приблизительно до 3,5м, неоднородные и с чередованием блоками:

- скальных мало увлажненных пород;
- средне-увлажненными крупно-обломочными пещаниками и сланцами;

– водоносищами глинистыми сланцами та глинами.

4. После уточнения геофизических результатов были вычислены геометрические данные ослабленных и предполагаемых пустот, заполненных грунтовыми водами.

Литература

1. В.Н.Илюшин, к.тех.наук, С.Н.Крылова, инженер. Аварии в подземных водоводах и методы восстановления поврежденных. Из опыта зарубежной техники.1993.
2. Шилин А.А., д-р техн. наук, проф.; Кириленко А.М., канд. техн. наук; Знайченко П.А., ЗАО "Триада-Холдинг", Москва, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. Транспортное строительство № 06/2015.
3. Ю.В. Якубовский, Л.Л. Ляхов. Электроразведка. 5-е издание. Москва "Недра". 1988. стр. 394.
4. M.S. Zhdanov and G.V. Keller. The geoelectrical methods in geophysical exploration. Elsevier. Pp. 873.
5. ТУ УЗЗ.2-35981535.001:2009. ООО "Научно-технический центр подповерхностного зондирования". 03040, Украина, г. Киев, ул. Васильковская, 1, корп.2/6, оф.206.
6. А.М.Куделя. Оценка радиоволнового метода зондирования Гео журнал Том 36, №1, 2014.
7. В.К. Хмелевской, Б.П. Петрухин, П.Ю. Пушкарёв. Магнитотеллурика и радиоволновые интерференционные зондирования //Физика земли №9, 2010, МГ У.
8. В.А.Сидоров. Импульсная индуктивная электроразведка. Москва "НЕДРА", 1985.

References

1. В.Н.Илюшин, к.тех.наук, С.Н.Крылова, инженер. Аварии в подземных водоводах и методы восстановления поврежденных. Из опыта зарубежной техники.1993.
2. Шилин А.А., д-р техн. наук, проф.; Кириленко А.М., канд. техн. наук; Знайченко П.А., ЗАО "Триада-Холдинг", Москва, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. Транспортное строительство № 06/2015.
3. Ю.В. Якубовский, Л.Л. Ляхов. Электроразведка. 5-е издание. Москва "Недра". 1988. стр. 394.
4. M.S. Zhdanov and G.V. Keller. The geoelectrical methods in geophysical exploration. Elsevier. Pp. 873.
5. ТУ УЗЗ.2-35981535.001:2009. ООО "Научно-технический центр подповерхностного зондирования". 03040, Украина, г. Киев, ул. Васильковская, 1, корп.2/6, оф.206.
6. А.М.Куделя. Оценка радиоволнового метода зондирования Гео журнал Том 36, №1, 2014.
7. В.К. Хмелевской, Б.П. Петрухин, П.Ю. Пушкарёв. Магнитотеллурика и радиоволновые интерференционные зондирования //Физика земли №9, 2010, МГ У.
8. В.А.Сидоров. Импульсная индуктивная электроразведка. Москва "НЕДРА", 1985.

ОБСТЕЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ПІДЗЕМНОГО ПІДРОТЕХНІЧНОГО ТУНЕЛЮ ТЕРЕБЛЕ-РІЦЬКОЇ ГЕС І ПРИЛЕГЛОГО ГОРНОГОМАССІВА РАДІОХВИЛЬОВИМ МЕТОДОМ

Анотація. Науково-дослідним інститутом будівельного виробництва виконані геофізичні роботи з метою виявлення ослаблених ґрунтових зон, прилеглих до тіла тунелю Теремле-Ріцької ГЕС, Хустського району Закарпатської області. Геофізичні роботи виконані розробленим в інституті методом радіохвильового зондування із застосуванням експериментального зразка структуроскопа дипольного індуктивного СДІ К-5. На підставі отриманих геометричних і геофізичних даних представляється можливим виконати розрахунок порожнистих обсягів для оцінки ефективності їх заповнення методом ін'єкції з метою підвищення міцності тунелю і надійності його експлуатації.

Ключові слова: інструментальне обстеження, геофізичні методи, інструментальні вимірювання, гідротехнічні тунелі, радіохвильове зондування.

Григорівський П.Е., к.т.н., ORCID ID:0000-0003-0527-5890

Куделя А.М., к.ф.м.н., Чуканова Н.П., Мурасева Е.В., інж.

ДП Науково-дослідний інститут будівельного виробництва, м.Київ.

INVESTIGATION OF CONSTRUCTIONS OF THE UNDERGROUND HYDROTECHNICAL TUNNEL OF TEREBLE-RITSKAYA HPP AND ADJACENT MOUNTAINOUS MASSES USING THE RADIO WAVE METHOD.

Abstract. The research institute of construction production made geophysical works in order to identify the weakened soil zones adjacent to the body of the Tereble-Ritskaya HPS tunnel, Khust district of the Zakarpattia region. Geophysical works were performed by the method of radio waves sounding in the institute using the experimental pattern of the constructoroscope of the dipole inductive SII K-5. Based on the received geometric and geophysical data, it is possible to perform a calculation of hollow volumes to evaluate the filling efficiency of the injection their method in order to increase the tunnel strength and reliability of its operation.

Key words: instumentalnye survey, geophysical methods, instrumental measurements, hydrotechnical tunnels, radio-wave sounding.

Grigoryevsky P.E., Kudelia AM, Chukanova N.P., Muraseva E.V.,