

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/JBVN5702>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/YWUFU9756>***Д. Ж. Омарханова, Ж. О. Оралбекова**Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нур-Султан қ.

КӨЛДЕНЕҢ ҚАБАТТЫ ОРТАДАҒЫ ГЕОРАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕ ДЕРЕКТЕРІН ИНТЕРПРЕТАЦИЯЛАУ

Гиперболалық және параболалық типті теңдеулер үшін кері коэффициентті есептерді шешудің тиімді алгоритмдерін жасау және теориялық зерттеу өзекті болып табылады. Бұл жұмыс тура есептерді қайта санау әдісімен тез шешу тәсіліне арналған. Қабаттап қайта есептеу әдісі қабаттан қабатқа қайта есептеу кезіндегі қателер жиналмайтындай етіп алуға мүмкіндік береді. Бұл дифференциалдық теңдеулер мен екінші ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесін көлденең-қабатты орта үшін сандық шешудің ең тиімді әдісі болып табылады. Кері есеп қарастырылған. Қазіргі уақытта жер асты және басқа жер үсті қондырғылары түрінде шығарылатын жер асты радиолокациялық құрылғылар (георадарлар) қолданылады. Алыс және жақын шетелде кең коммерциялық қолданысқа ие құрылғылардың әртүрлі модификациялары бар. Далалық эксперименттерді жүргізу көбінесе объективті және субъективті сыртқы факторлардың әсерінен қиын болатыны белгілі. Мысалы, өлшеу құралдарының дәлдігі, қызметкерлердің кездейсоқ қателіктері эксперименттерді қайталаған кезде бірдей болуы керек, эксперимент шарттары есептеу нәтижелеріне әсер етуі мүмкін, бірақ бұл іс жүзінде әрдайым бола бермейді және т.б. 300 мГц антенасы бар «Zond-12e» георадар кешені арқылы зерттеулер жүргізілген. Интерпретация үшін «Zond-12e» георадар кешені деректері алынып өңделген.

Кілтті сөздер: интерпретация, көлденең-қабатты орта, геофизика, біртекті орта, зерттеу.

Кіріспе

Электромагниттік зондтау деректерін дәстүрлі интерпретациялау олар алынған ортаның физикалық-геологиялық моделі көлденең-қабатты деген болжамда геоэлектрлік қиманың қабаттарының кедергілері мен қуаттарының қисық көрінетін кедергілер бойынша анықтаудан тұрады.

Мұндай интерпретацияның қателіктері аз тереңдетілген зерттеулер жағдайында геологиялық ортаның жоғарғы бөлігінің құрылысының мынадай ерекшеліктеріне байланысты өседі:

1 қуаттардың жату тереңдіктерімен салыстырғанда аз қабаттар қатарының болуымен байланысты қималардың қолайсыз геометриялық құрылымы эквиваленттік принципі әрекетінің кең шегінен тыс және -ді жеке анықтау мүмкіндігін немесе кері есепті шешудің дұрыс еместігін болдырмайды;

2 қабаттардың сыналуының, қабаттардың көлбеу тік бұрыштарының болуы көлденең қабатты үлгілер шеңберінде зондтау деректерін теориялық тұрғыдан түсіндіру мүмкін емес, ал басқа үлгілерді пайдалану тәсілдері әлсіз және күрделі әзірленген;

3 литологияны, жарықшақтықты, сулануды, яғни созылу бойынша электр кедергілерін ауыстыру көрші зондтау деректерін геометриялық түсіндіру үшін параметрлік ұңғымалардан алынған аралық горизонттардың кедергілерін бекітудің белгілі тәсілін қолдануды қиындатады;

4 техногенді сипаттағы техникалық кедергілер мен әдістемелік қателіктердің жоғары деңгейі ірі ауқымды жұмыстар кезінде нақты бастапқы ақпаратты алуды қиындатады.

Алайда зерттеулердің аздаған тереңдігі және қол жетімді және арзан геологиялық ақпараттың болуы, әсіресе геологиялық зерделеу кезеңінде зондтау деректерін түсіндіруді жеңілдетеді.

Аталған қиындықтарды жеңу және аз тереңдетілген зондтау тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді: а) қисық зондтаудан алынатын физика-математикалық ақпарат санын арттыру, атап айтқанда қисық формаларын ғана емес, олардың дифференциалдық және интегралдық сипаттамаларын да пайдалану; ә) кедергіге төзімді құрылғыны қолдану, сигналдарды топтау және жинақтау жолымен бастапқы деректердің сапасын арттыру; б) жаңа күрделі физика-геологиялық үлгілерді физикалық түсіндіру үшін қолдану; в) электр параметрлері арасындағы статистикалық және логикалық-эмпирикалық байланыстарды нақтылау және кеңейту үшін инженерлік-геологиялық әдістермен неғұрлым тығыз кешендеу [1].

Материалдар мен әдістер

Геофизикалық деректерді түсіндіру есептерінде тек электромагниттік параметрлерді немесе серпімділік параметрлерді ғана емес, сонымен қатар қабаттардың үзілу нүктелерінің координаттарын да анықтау қажет. Геофизикада бұл шекараларды анықтаудың бірқатар әдістері бар, бірақ бұл әдістер дәл емес және қателер бірнеше метрге жетуі мүмкін. Мысалы, ұңғымада шекаралардың жату тереңдігін анықтау кезінде зонд бекітілген арқанның созылуы жүргізіледі [2].

Осыған байланысты үзілу шекарасын анықтау бойынша оңтайландыру әдісті қолдану үшін ортаның үзілу нүктесінің координаты бойынша

үйлеспеушілік функционалын дифференциалдау білу қажет. Оңтайландыру әдісін қолданғанда итерациялық әдістерді қолдану қажеттілігі туындайды, сондықтан тура және кері есептерді шешудің үнемді әдістерін құру қажет [3].

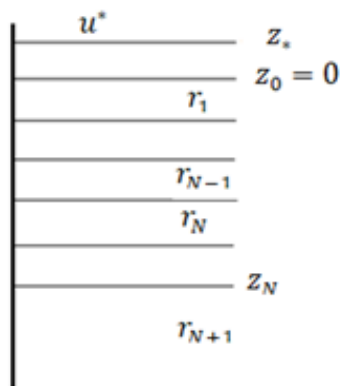
Көлденең-қабаты біртекті орта үшін екінші ретті дифференциалды теңдеуді шешу қайта есептеудің алғашқы технологиялық алгоритмдерінің бірі А. Н. Тихонов және Д. Н. Шахсуарова алгоритмі болды. Бірақ ол кейбір шектеулерге ие болды: оның сандық іске асыру кезінде экспаненттің қатысуымен жазылған, оң нақты бөліктері бар көрсеткіштері бар өрнектер болды, бұл қабаттап қайта санау кезінде дөңгелектеу қателерінің жиналуына әкелді.

Кері есептер математикалық модельдеуде және бақыланатын деректерді интерпретациялауда үлкен рөл атқарады. Математикалық тұрғыдан $Aq=g$ (1) жазуға болады. Мұнда A - q ізделінген функцияға әрекет ететін оператор, g – белгілі ақпарат. Іс жүзінде өте жиі кері есеп келесі түрдегі үлеспеушілік функционалын минимизациялау арқылы шешіледі:

$$J[q] = \|Aq - g\|^2 \quad (2)$$

Егер q есептің шешімі (1) болса, онда үлеспеушілік функционалының мәні (2) нөлге тең, яғни бұл функционалдың жаһандық минимум нүктесін табу қажет. Кері есепті шешудің бұл тәсілінде бір кемшілік бар: кері есепті шешу жылдамдығы тура есепті шешу жылдамдығына байланысты, себебі үлеспеушілік функционалды минимизациялау кезінде тура есепті бірнеше рет шешу керек [4].

N -қабаты құрылым ортасын қарастырайық (z_k ($k=\overline{0, N}$), $z_0 = 0$), шекара бөлігі, m -ші қабат - $[z_{m-1}, z_m]$ интервалы, $N+1$ соңғы қабат - жартылай кеңістік, ауа - $[z_N, \infty)$ ($-\infty, 0$) (жартылай кеңістігі).



Сурет 1 – Көлденең қабаты ортаның моделі

Әр қабаттың электромагниттік қасиеттері $\varepsilon_0 \varepsilon$ деэлектрлік өткізгіштік, σ өткізгіштік және μ, μ магнит өткізгіштігі мәндерімен сипатталады.

Орта көлденең-қабатты болғандықтан, онда ε және σ айнымалы z ($z \in (-\infty, \infty)$) тұрақты кесек функциялардың бір бөлігі болып табылады.

$$\begin{aligned} [u]_{z_*} &= \alpha \\ u \Big|_{z=z_0+0} - u \Big|_{z=z_0-0} &= 0 \\ s \Big|_{z=z_*+0} u \Big|_{z=z_*+0} - s \Big|_{z=z_*-0} u \Big|_{z=z_*-0} &= f\mu_0 \\ u^*(s^* - r_0) &= f\mu_0 \\ u^* &= \frac{f\mu_0}{(s^* - r_0)} \\ u_z &= su \\ (\ln u)' &= s \\ \ln u &= \int_{z_*}^z s d\xi \end{aligned}$$

Электромагниттік өрістерді математикалық модельдеудің қажеттіліктері заманауи компьютерлік технологияларды қолдану арқылы тез шешілетін тікелей есептерді сандық шешу әдістерін құруды талап етеді. Көлденең-қабатты орта моделі электр барлауда геофизикалық деректерді математикалық модельдеу және интерпретациялау үшін ортаның кең таралған үлгісі болып табылады. Электромагниттік өрістерді есептеу екінші ретті дифференциалдық теңдеулерді немесе дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешу біріктірілуі мүмкін. Көлденең қабатты ортаның моделі тура есептерді шешу алгоритмдерін құруға мүмкіндік береді, олар компьютерде оңай жүзеге асырылады және есептеулерге аз уақытты қажет етеді. Бұл тура есепті көп шешуді талап ететін геофизикада туындайтын есептерді шешуге мүмкіндік береді.

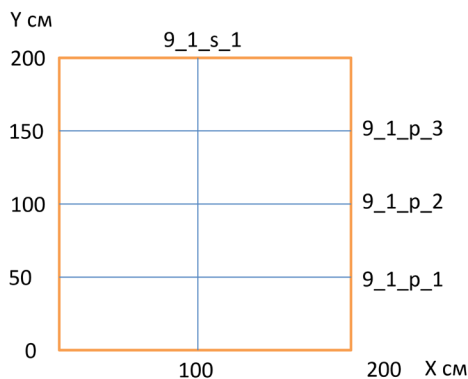
Нәтижелер мен талқылаулар

Нур-Султан қаласынан 68 шақырым жерде Қорғалжын тас жолында орналасқан «Дәуір» ЖШС Құм карьерінде георадар «Zond-12e» құрылғы (2-сурет) арқылы зерттеу жұмыстары жүргізілді.



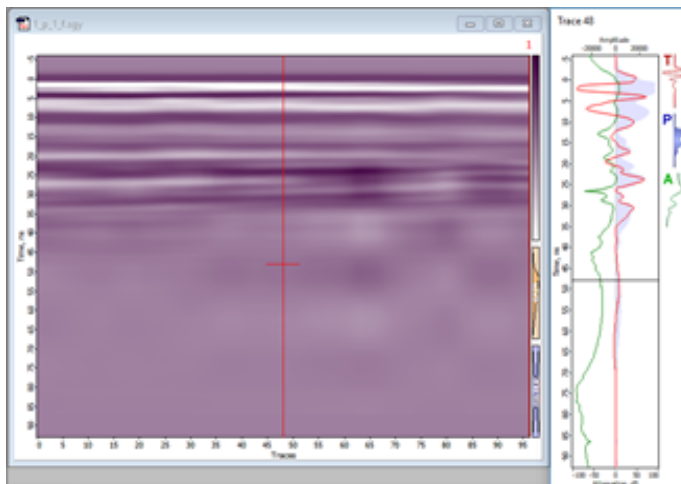
Сурет 2 – Zond-12e георадары

Объект «Біртекті құм». Объект біртекті құрылымы бар бұзылмаған орта моделі қарастырылған. Объект сызбасы 3-суретте көрсетілген.

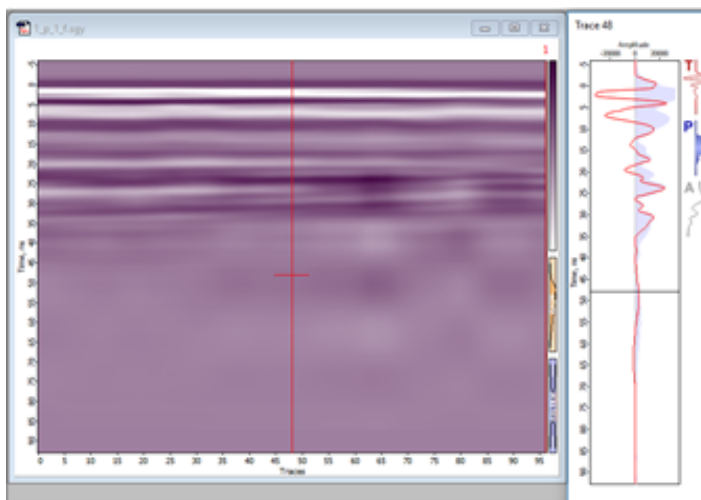


Сурет 3 – Объект сызбасы

«Zond-12e» георадардан алынған мәліметті «Prism2» бағдарламасында өңделген радарограммалар көрсетілген. Өңделген радарограммалар 4–5 суреттерде көрсетілген. Барлық радарограммаларда үлгіге сәйкес келетін қалыңдықтың біртекті бұзылмаған құрылымы көрінеді.



Сурет 4 – Объект профілінің радарограммасы



Сурет 5 – Объект профілінің радарограммасы

Инженерлік-геологиялық зерттеулер кезінде электрмагнитті зондау деректерін түсіндіру мынадай түрде жүргізілуі тиіс.

Қысққ зондауды сапалы талдау және электрлік геологиялық деңгей жиектермен салыстыру негізінде қойылған міндеттерді шешу мүмкіндігі

тұрғысынан зерттелетін ауданның алдын ала физикалық-геологиялық үлгілерін таңдау үшін ауданның жалпы геоэлектрлік сипаттамасы бағаланады.

Қиманың барлық ықтимал қабатты және жалпыланған параметрлерін ала отырып, кысық зондтау номограмма-палеткаларының көмегімен сандық интерпретацияны орындау ұсынылады. Ол дербес мәнге ие болуы мүмкін, яғни түпкілікті физикалық интерпретация болуы және ЭЕМ көмегімен трансформация үшін алдын ала ақпаратты беруі мүмкін. ЭЕМ-ді қолдану трансформация нәтижесін тездетіп, жеңілдетіп қана қоймай, кейінгі деректерді өңдеуді жеңілдетеді. Электрмагниттік зондтау деректерінің үлкен көлемін өңдеу кезінде машиналық өңдеу өте қажет [5].

Қорытынды

Қорытынды кезең физикалық параметрлер мен қиманың нақты геометриялық физикалық-механикалық қасиеттері арасындағы корреляциялық және логикалық байланыстарды пайдалана отырып, нәтижелерді геологиялық түсіндіру болып табылады. Нәтижесінде жалпы және жекелеген учаскелерде орнаның физикалық-механикалық қасиеттерінің геометриялық құрылымын, сондай-ақ сандық сипаттамасын қамтитын түпкілікті физикалық-геологиялық моделі алынады.

Заманауи ғылымның дамуының осы кезеңінде математикалық модельдеу зерттелетін объектінің қалай орналасқанын бұзбайтын зерттеудің қуатты құралы болып табылады. Математикалық модельдеу зерттеушіге үнемді алгоритмдер мен нысандардың белгілі бір ішкі параметрлерін анықтау есептерін шешу тәсілдерін ұсына алады және объект туралы қандай қосымша ақпарат қажет екендігі туралы және зерттеушіге қажетті объектінің ішкі қасиеттері жақсы дәлдікпен анықталуы үшін оны қалай және қандай нүктелерде өлшенуі тиіс ұсыныстар бере алады.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Шайгура С.В.** Информационные ресурсы в геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии – 2015. – №1 (9). – С. 103-108.

2 **Karchevsky, A.L.** Reconstruction of pressure velocities and boundaries of thin layers in thinly-stratified layers // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems, 2010, v. 18, n. 4, pp. 371-388.

3 **V de Hoop, M., Tittelfitz, J.** An inverse source problem for a variable speed wave equation with discrete-in-time sources, Inverse Problems, 31(7)(2015) 075007.

4 **Karchevsky, A.L.** Simultaneous reconstruction of permittivity and conductivity. Journal of Inverse and Ill-Posed Problems, 2009, v. 17, n. 4, p. 385-402. doi: 10.1515/JIP.2009.026

5 **Кабанихин, С.И., Искаков, К.Т., Бектемесов, М.А., Шишленин, М.А.** Алгоритмы и численные методы решения обратных и некоррктных задач // Астана, 2011. 328с. ISBN 978-601-80217-8-7

6 **Oksanen, L.** “Solving an inverse problem for the wave equation by using a minimization algorithm and time-reversed measurements,” arXiv preprint arXiv:1101.4836, p. 22, Jan. 2011.

7 **Caner, Ozdemir. Fevket, Demirci. Enes, Yiğit. Betül, Yilmaz.** A Review on Migration Methods in B-Scan Ground Penetrating Radar Imaging, *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, Article ID 280738

8 **Deguenon, J., Sallet, G., Xu, C.-Z.** Infinite dimensional observers for vibrating systems, in *Proc. IEEE Conf. on Decision and Control*. 2006, 3979-3983.

9 **Stolt, R.H.** Migration by Fourier transform, *Geophysics*, Vol.43(1), 1978, pp. 23-43.

10 **Romanov, V.G.** *Inverse Problem of Mathematical Physics*, VNU Science Press, Utrecht, 1987, pp. 182-207.

References

1 **Shaitura, S.V.** *Informacionye resursy v geoinformatike [Information resources in geoinformatics]. Obrazovatel'nye resursy i tehnologii – 2015. – №1 (9). – p. 103-108.*

2 **Karchevsky, A.L.** Reconstruction of pressure velocities and boundaries of thin layers in thinly-stratified layers // *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*, 2010, v. 18, n. 4, pp. 371-388.

3 **V de Hoop, M., Tittelfitz, J.** An inverse source problem for a variable speed wave equation with discrete-in-time sources, *Inverse Problems*, 31(7)(2015)075007.

4 **Karchevsky, A.L.** Simultaneous reconstruction of permittivity and conductivity. *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*, 2009, v. 17, n. 4, p. 385-402. doi: 10.1515/JIIP.2009.026

5 **Kabanihin, S.I., Iskakov, K.T., Bektemesov, M.A., Shishlenin, M.A.** *Algoritmy i chislennye metody resheniya obratnykh i nekorrektnykh zadach [Algorithms and numerical methods for solving inverse and non-specific problems]. Astana, 2011. 328p. ISBN 978-601-80217-8-7*

6 **Oksanen, L.** “Solving an inverse problem for the wave equation by using a minimization algorithm and time-reversed measurements,” arXiv preprint arXiv:1101.4836, p. 22, Jan. 2011.

7 **Caner, Ozdemir. Fevket, Demirci. Enes, Yiğit. Betül, Yilmaz.** A Review on Migration Methods in B-Scan Ground Penetrating Radar Imaging, *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, Article ID 280738

8 **Deguenon, J., Sallet, G. Xu, C.-Z.** Infinite dimensional observers for vibrating systems, in Proc. IEEE Conf. on Decision and Control, 2006, 3979-3983.

9 **Stolt, R.H.** Migration by Fourier transform, Geophysics, Vol.43(1), 1978, pp. 23-43.

10 **Romanov, V.G.** Inverse Problem of Mathematical Physics, VNU Science Press, Utrecht, 1987, pp. 182-207.

Материал 12.06.21 баспаға түсті.

**Д. Ж. Омарханова, Ж. О. Оралбекова*

Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан.

Материал поступил в редакцию 12.06.21.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО-СЛОИСТОЙ СРЕДЫ

Для уравнений гиперболического и параболического типов актуальным является разработка и теоретическое исследование эффективных алгоритмов решения задач обратным коэффициентом. Эта работа предназначена для быстрого решения точных задач методом пересчета. Способ пересчета слоя позволяет получить из слоя в слой таким образом, чтобы при пересчете не были собраны ошибки. Это наиболее эффективный метод численного решения системы дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений второго порядка для горизонтально-слоистой среды. Рассмотрена обратная задача. В настоящее время для диагностики используются подповерхностные радиолокационные приборы (георадары), которые выпускаются в виде подземных и других наземных сооружений. В дальнем и ближнем зарубежье существуют различные модификации приборов, нашедшие широкое коммерческое применение. Известно, что проведение полевых экспериментов зачастую затруднено под воздействием объективных и субъективных внешних факторов. Например, точность измерительных приборов, случайные ошибки персонала должны быть одинаковыми при повторении экспериментов, условия эксперимента могут влиять на результаты расчетов, но это не всегда имеет место на практике, и так далее. Исследования проводились с помощью георадарного комплекса «Zond-12e» с антенной 300МГц. Получены и обработаны данные георадарного комплекса «Zond-12e» для интерпретации.

Ключевые слова: интерпретация, горизонтально-слоистая среда, геофизика, однородная среда, исследование

**D. Zh. Omarkhanova, Zh. O. Oralbekova*

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 12.06.21.

INTERPRETATION OF DATA FROM THE RADAR SYSTEM OF HORIZONTALLY LAYERED MEDIUM

For equations of hyperbolic and parabolic types, the development and theoretical study of effective algorithms for solving problems with the inverse coefficient is relevant. This work is designed to quickly solve exact problems using the conversion method. The layer recalculation method allows you to get from layer to layer in such a way that errors are not collected during the recalculation. This is the most effective method for numerically solving a system of differential equations and second-order differential equations for a horizontally layered medium. The inverse problem is considered. Subsurface radar devices (GPR) are currently using for diagnostics and are available in the form of underground and other surface structures. In the far and near abroad there are various modifications of devices that have found wide commercial application. It is known, conducting field experiments is often difficult under the influence of objective and subjective external factors. For example, the accuracy of measurement instruments, random errors of personnel should be the same with the repetition of experiments, experimental conditions may affect the results of calculations, but this is not always the case in practice, and so on. The research was carried out using the ZOND-12e ground-penetrating radar. Data from the ZOND-12e GPR for interpretation.

Keywords: interpretation, horizontally layered medium, geophysics, homogeneous medium, research.

Теруге 12.06.2021 ж. жіберілді. Басуға 24.06.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

6,28 Мб RAM

Шартты баспа табағы 15,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3792

Сдано в набор 12.06.2021 г. Подписано в печать 24.06.2021 г.

Электронное издание

6,28 Мб RAM

Усл. печ. л. 15,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3792

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz