



УДК 550.3:625.8

DOI 10.25628/UNIIP.2024.60.1.010

КУЗНЕЦОВ М. С., ПАТРУШЕВ Ю. В., МАЛЬЦЕВА О. В.

Возможность использования георадаров для определения глубины заложения фундаментов и толщин покрытий площадок в строительстве

**Кузнецов
Михаил
Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), Нижнетагильский технологический институт, Нижний Тагил, Российская Федерация

e-mail: kms.rf@rambler.ru



**Патрушев
Юрий
Владимирович**

кандидат технических наук, доцент, Уральский государственный горный университет (УГГУ), Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: up_patr@mail.ru



**Мальцева
Ольга
Васильевна**

начальник лаборатории, ООО «Проекция», Нижний Тагил, Российская Федерация

e-mail: tamara.galeeva@urfu.ru

В статье рассмотрена возможность определения глубины заложения фундаментов сооружений с использованием георадара и проблемы, возникшие при этом. Предлагается определение диэлектрической проницаемости среды и скорости распространения электромагнитной волны в конструкциях производить с помощью калибровки аппаратуры на отдельных фундаментах в шурфах. Рассмотрена возможность измерения толщины асфальтобетонных покрытий с использованием георадара. Определена оптимальная скорость передвижения антенного блока по поверхности покрытий для более точного результата.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, георадар, глубина заложения фундаментов, георадарная съемка, радарограмма, диэлектрическая проницаемость среды, асфальтобетонные монолитные покрытия площадок.

Kuznetsov M. S., Patrushev Yu. V., Maltseva O. V.

Possibility of using georadars to determine the depth of foundations and thicknesses of covering sites in construction

The article discusses the possibility of determining the depth of foundations of structures using ground penetrating radar and the problems that arose in this case. It is proposed to determine the dielectric constant of the medium and the speed of propagation of the electromagnetic wave in structures by calibrating equipment on individual foundations in pits. The article discusses the possibility of determining the thickness of asphalt and concrete pavements using ground penetrating radar. The optimal speed of movement of the antenna unit along the surface of the coatings was determined for a more accurate result.

Keywords: non-destructive testing, georadar, foundation depth, georadar survey, radargram, dielectric constant of the medium, asphalt concrete monolithic surfaces of sites.

Введение

Решение об использовании георадара для определения глубины заложения подземной части фундаментов строительных сооружений и для измерения толщин бетонных и асфальтобетонных покрытий промышленных площадок и внутризаводских дорог на объектах горнодобывающей и металлургической отрасли, в том числе на территориях ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат», ПАО «Корпорация «ВСМПО-Ависма», ООО «НТЗМК» (г. Нижний Тагил) и пр., было принято в связи с пониманием георадара как средства неразрушающего контроля, а также для минимизации количества вскрытий некоторых конструкций фундаментов шурфованием. С помощью метода георадарной съемки решались, в частности, задачи по определению толщин асфальтобетонных покрытий площадок открытых складов хранения оборудования и материалов на территории ООО «Ев-

роХим-Усольский калийный комбинат». Георадиолокационное обследование не оказывает негативного влияния на объект и не изменяет его структуру. Этот вид исследования полностью безопасен для человека и окружающей среды, поэтому для проведения работ не нужно получать дополнительные разрешительные документы.

Для проведения геофизических работ применялся радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-2» (производство ООО «Логические системы») с антенным блоком АБ-400М (Иллюстрация 1). Георадар — это современный геофизический прибор, предназначенный для обнаружения различных объектов, в том числе неметаллических в различных средах. Георадары используются для решения инженерно-геологических, гидрогеологических и поисковых задач, в том числе и для обследования строительных кон-

струкций. Выбор антенного блока АБ-400М обусловлен тем, что он построен с применением моноблочной архитектуры. Такой подход позволил разработчикам уменьшить габаритные размеры прибора и подать питание к антенному блоку по кабелю, то есть отпала необходимость в дополнительных блоках питания. Единый герметичный корпус позволил избежать собирания воды, снега, песка внутри антенного блока, что существенно повысило надежность в тяжелых полевых условиях.

Антенный блок георадара «ОКО-2» состоит из двух антенн: приемной и излучающей. Все антенны в георадаре — дипольные и экранированные.

Антенный блок АБ-400М имеет следующие характеристики: экранированный антенный блок; центральная частота 400 МГц; глубина зондирования 5 м; разрешающая способность 0,15 м; габариты 500 × 290 × 140 мм; масса 5,5 кг; потребляемая мощность 6,0 Вт; перемещение на монольжѐ.

Работа георадара основана на свойстве радиоволн отражаться от границ раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью или проводимостью. Излученный передающей антенной в исследуемую среду электромагнитный импульс должен отражаться от находящихся в ней объектов или неоднородностей, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость. Такими неоднородностями могут быть пустоты, границы раздела слоев различных пород, участки с различной влажностью и т. д. Отраженный сигнал приходит в приемную антенну, преобразовывается в цифровой вид и запоминается для дальнейшей обработки. При перемещении георадара по поверхности исследуемой среды на экран монитора выводится радарограмма, по которой можно определить местонахождение, глубину залегания и протяженность объектов. Основными величинами, измеряемыми при георадарных исследованиях, являются время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника, а также амплитуда этого отражения [1; 10–14].

После получения полевых радарограмм производится их обработка с помощью встроенных алгоритмов в программном обеспечении «GeoScan32» (ООО «Логические системы»). Стандартный граф обработки радарограмм включает в себя несколько процедур [8]. Для удаления помех переотражения с целью выделения отдельных объектов в грунте

используется горизонтальная полосовая фильтрация. Если объекты на радарограмме просматриваются плохо, то применяется медианный фильтр. Использование автоматической регулировки усиления (АРУ) позволяет четко увидеть волновую картину для последующей интерпретации. Опция обработки «Сглаживание» применяется для удаления хаотических шумов из радарограммы путем локальной фильтрации в окне. После применения такого фильтра шум сглаживается, но вместе с тем размываются контуры изображения. Для удаления регулярных помех по горизонтали и визуализации полезных отражений применяется опция «Вычитание среднего». Результатом проведения вышеуказанных процедур обработки ослабляются или удаляются с записи сигналы-помехи, а полезные отраженные сигналы от границ раздела сред или объектов подчеркиваются (Иллюстрация 2), и радарограмма становится пригодной к последующей интерпретации.

Определение толщин покрытий

При выполнении работ по обследованию и оценке технического состояния строительных конструкций новых объектов строительства или реконструированных объектов необходимо подтверждать глубину заложения и вертикальные размеры фундаментов. Обычно эти исследования проводятся с помощью откапывания (шурфования) фундаментов и непосредственным измерением фундаментов измерительной или лазерной рулеткой. Работы по шурфованию весьма трудоемки и не всегда возможны технически. Частичная замена объемов шурфования другими способами измерений отметки заложения фундаментов и его вертикальных размеров, например геофизическими методами, такими как георадиолокационные, приносит существенное сокращение финансовых, трудовых и временных затрат. Такие работы проводились на объектах нового строительства и реконструкции ПАО «Корпорация «ВСМ-ПО-Ависма» (г. Верхняя Салда), ООО «НТЗМК» (г. Нижний Тагил) и некоторых других. На каждом объекте требовалось исследовать от 8 до 26 фундаментов, имеющих заглубление от 2,0 до 3,5 м. Георадиолокационные исследования таких малоразмерных фундаментов проводились стационарным способом: антенна георадара устанавливалась непосредственно на фундамент, и проводилось сканирование конструкции в неподвижном



Иллюстрация 1. Антенный блок георадара «ОКО-2». 2018 г.
Источник: URL: <https://rusgeoradar.ru/wp-content/uploads/2018/11/00-2.png>

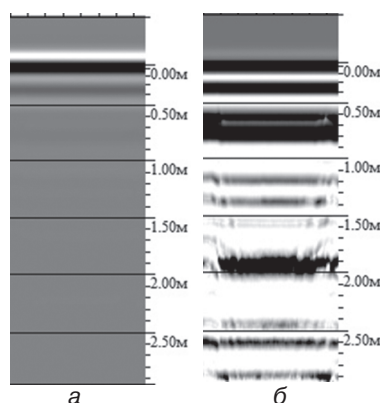


Иллюстрация 2. Результат обработки георадарных данных, исходная (а) и обработанная (б) радарограмма.
Рисунок Ю. В. Патрушева. 2019 г.

режиме в течение 10–20 секунд. Записывалась радарограмма для дальнейшей обработки и интерпретации. Сложность определения глубины заложения фундаментов при обработке заключалась в точности определения влажности материала фундамента, от которой существенно зависит главный параметр радиолокационных измерений — диэлектрическая проницаемость среды (ϵ) и далее скорость распространения электромагнитной волны в фундаменте (V) [9].

Попытки достоверно установить влажность или диэлектрическую проницаемость бетона фундаментов в образцах или непосредственно в фундаментах сложны и затратны, так как требуют наличия дополнительной измерительной аппаратуры [9] и оснащенной лабораторной базы. Для решения этой проблемы выполнено шурфование от двух до пяти фундаментов для калибровки настройки аппаратуры. Выбор фундаментов для шурфования осуществлялся по схожести гидрогеологических условий мест установки фундаментов, исходя из того, что влажность бетона фундаментов, находящихся в одинаковых гидрогеологических условиях, будет примерно одинакова. При шурфовании фундамент открывался с одной из сторон,

Таблица 1. Результаты георадарных измерений глубины заложения фундамента

№ п.п.	Идентификатор фундамента в проекциях	Наименование фундамента	Глубина заложения фундамента фактическая (мм)	Георадарные измерения глубины заложения фундамента (мм)
Цех подготовки металла ООО «НТЗМК»				
1	П/1-13	Фм4	2300	2200
2	Ц/1-13	Фм4	2300	2200
3	С-15	Фм1	2300	2400
4	Т/1-15	Фм1	2300	2400
ПАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА»				
1	Ж-12	ФМ-7	2500	2600
2	Ж-9	ФМ-1-9	2520	2500
3	Ж-8	ФМ-1-8	2520	2400
4	В/1-13	ФМ-4а	2500	2500

от верха ростверка фундамента до его подошвы. Фактическая высота фундамента измерялась рулеткой. На радарограмме, полученной на обследуемом фундаменте, определялась фаза отраженного сигнала от подошвы фундамента. Далее с помощью подбора диэлектрической проницаемости в программном обеспечении «GeoScan32» устанавливалась измеренная ранее фактическая высота фундамента. Полученное значение диэлектрической проницаемости использовалось далее для обследования и определения глубины заложения на остальных нескрытых фундаментах. Практика показала, что на один объект исследования достаточно трех-четырех шурфов для калибровки параметров георадарной съемки, подбора оптимальных для соответствующих гидрогеологических условий значений диэлектрической проницаемости.

После проведения калибровки и выбора оптимального значения диэлектрической проницаемости производились измерения для подтверждения глубины заложения всех остальных, не вскрытых, фундаментов строительных зданий и сооружений. В Таблице 1 представлены результаты георадарных измерений глубины заложения фундаментов цеха подготовки металла ООО «НТЗМК» и здания корпуса по механической обработке штамповок корпорации «ВСМПО-Ависма» по сравнению с фактическими размерами геометрических размеров фундаментов, произведенными в шурфах. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что с помощью описанного выше способа определения глубины заложения фундаментов георадиолокационной съемкой можно производить измерения с достаточной точностью и удовлетворяющие требованиям заказчика.

Определение толщин покрытий

При обследовании асфальтобетонных монолитных покрытий площадок открытых складов хранения оборуду-

дования и материалов общей площадью более 500 тыс. м² ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат» встал вопрос о подтверждении толщин данных покрытий. Поставленная задача решалась георадиолокационными исследованиями, которые проводились пешеходной съемкой по нескольким профилям на каждой площадке. По поверхности исследуемого покрытия перемещался антенный блок при помощи штанги-ручки. Информация от антенного блока подавалась на регистрирующее устройство (ноутбук с программой регистрации и обработки), закрепленное на специальной подвеске, переносимой оператором. Значение диэлектрической проницаемости, как и в случае с определением глубины заложения фундаментов, подбиралось по калибровочным фактическим значениям толщины покрытий [2–5; 7].

Еще одна проблема, которая возникает при работе с георадаром в полевых условиях, — это определение оптимальной скорости передвижения антенного блока. Скорость передвижения прибора не должна быть слишком малой, так как будут дублироваться трассы, и слишком большой. В случае превышения оптимальной скорости происходит потеря трасс, т. е. регистрирующее устройство, не успевая принять текущую трассу, получает от датчика перемещения команду записать данные для последующей трассы и вместо потерянных данных копирует информацию из предыдущей трассы. Вследствие этого радарограмма принимает «ступенчатый» вид (Иллюстрация 3) [6].

Для определения оптимальной скорости в пешеходном режиме передвижения антенного блока по поверхности покрытий было выполнено несколько опытных съемок с различной скоростью передвижения: 1–3 км/час, 4–6 км/час и более 6 км/час с целью определения предельной скорости, при которой регистрирующее устройство, представленное ноутбуком, способно без ошибок регистрировать радарограмму. Экспе-

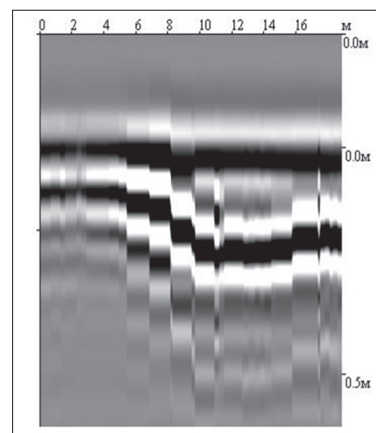


Иллюстрация 3. Пример радарограммы, имеющей характерный «ступенчатый» вид. 2008 г. [5]

рименты со скоростью передвижения показали, что в пешеходном режиме передвижения антенного блока трассы на скоростях до 6 м/сек не теряются, «ступенчатость» не появляется. Однако повышение скорости более 6 м/сек перемещения для антенного блока на неровностях покрытия, вследствие чего на записи радарограммы появляются пропуски, «скачки» трасс (Иллюстрация 5), ухудшается качество записи. Также из-за малого веса в некоторых случаях при несоблюдении скоростного режима происходит переворачивание антенного блока или смещение под действием ветровой нагрузки.

Из-за малого веса антенного блока при повышении скорости перемещения более 6 м/сек происходит «подпрыгивание» антенного блока на неровностях покрытия, вследствие чего на записи радарограммы появляются пропуски, «скачки» трасс (Иллюстрация 5), ухудшается качество записи. Также из-за малого веса в некоторых случаях при несоблюдении скоростного режима происходит переворачивание антенного блока или смещение под действием ветровой нагрузки.

Избегать ухудшения качества георадарной пешеходной съемки на асфальтобетонных покрытиях площадок можно соблюдением стабильного скоростного режима, и скорость съемки не должна превышать более 6 км/час. Для проведения съемки с равной скоростью необходимо заранее подготовить трассу, выбрать самый оптимальный маршрут, очистить его от посторонних предметов (камни, мусор, ветки и пр.). Качество съемки также возможно улучшить утяжелением антенного блока, например, закрепив на корпусе деревянный брусок массой 2–3 кг или другой немагнитный материал.

В итоге георадарная пешеходная съемка на асфальтобетонных покрытиях площадок открытых складов хранения оборудования и материалов ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат» при средней скорости перемещения в 5 км/час антенного

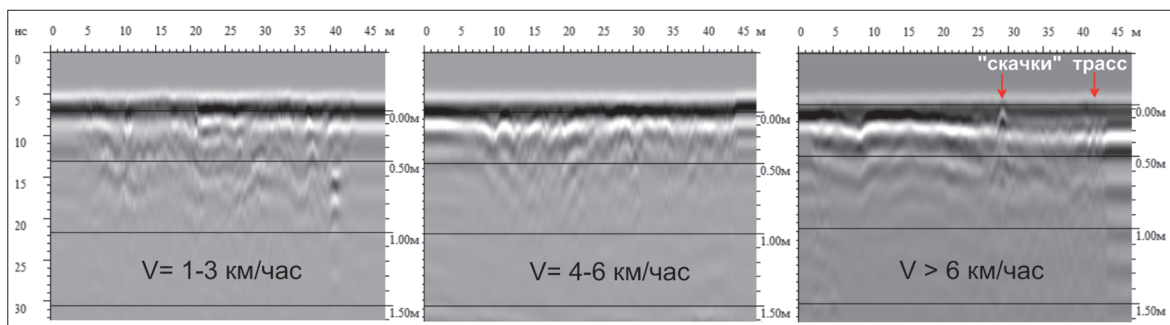


Иллюстрация 4. Примеры радарограмм на разных скоростях перемещения антенного блока. Рисунок Ю. В. Патрушева. 2019 г.

блока с утяжелением дала хорошие результаты измерений как по точности (Таблица 2), так и по производительности обработки площади.

Заключение

В результате проведенных измерений на объектах горнодобывающей и металлургической отраслей с помощью методов георадарной съемки достигнута достаточная точность определения величин глубины заложения фундаментов. Для точности измерений в работе применена методика калибровки аппаратуры на отдельных вскрытых фундаментах с известными геометрическими размерами, установленных в аналогичных гидрогеологических условиях.

Для проведения измерений толщины монолитных асфальтобетонных покрытий площадок была определена оптимальная скорость пешеходной георадарной съемки, которая не превышает 5 км/час. Отмечено, что качество георадарной съемки также улучшалось при утяжелении антенного блока, препятствуя его отрыву от поверхности.

Список использованной литературы

[1] Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию: учеб. пособие. — Вып. 57. — М.: Изд-во МГУ, 2004. — 153 с.

[2] Макеечева И. В. Дорожный рентген. Георадиолокационные исследования при дорожном строительстве и диагностике состояния дорог // Строит. техника и технологии. — 2001. — № 5. — С. 38–39.

[3] Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций / Министерство транспорта Российской Федерации; Гос. служба дорожного хозяйства Российской Федерации (РОСАВТОДОР). — М.: РОСАВТОДОР, 2003. — 37 с.

[4] Обследование дорожных конструкций городских ма-

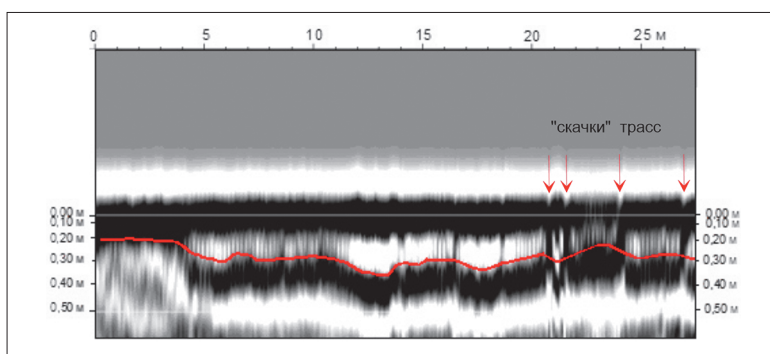


Иллюстрация 5. Пример радарограммы по определению толщины асфальтобетонного покрытия со «скачками» трасс. Рисунок Ю. В. Патрушева. 2019 г.

Таблица 2. Данные георадарной пешеходной съемки на площадке хранения ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат»

№ п.п.	Профиль	Пикет	Толщина асфальтобетонного покрытия проектная (мм)	Толщина асфальтобетонного покрытия, измеренная георадарной съемкой (мм)
1	1	20	250	230
2	1	30	250	250
3	2	10	250	260
4	2	20	250	240

гистралей георадиолокационными методами / А. М. Кулижников, С. Н. Бурда, А. А. Белозеров и др. // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. — 2003. — № 9–10. — С. 72–73.

[5] Применение георадаров при обследовании улиц Тюмени // Строительные вести. Тюменская обл. — 2003. — № 2 (23). — С. 68–69.

[6] Рекомендации по измерению строения дорожной одежды при помощи георадара «ОКО-2». — Раменское: ООО «Логические системы», 2008. — 31 с.

[7] Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). — М., 2016. — 72 с.

[8] Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач. — Раменское: ООО «Логические системы», 2008. — 27 с.

[9] Филоненко В. А., Чубинский Н. П. Прибор для измерений диэлектрической проницаемости сред со средними и большими потерями // Науч. вестник МГТУ ГА. Серия: Радиофизика. — 2008. — № 58. — С. 33–39.

[10] Финкальштейн М. И., Кутав В. А., Золотарев В. П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии / под ред. М. И. Финкальштейна. — М.: Недра, 1986. — 128 с.

[11] Harry M. Jol. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, Elsevier. — 2009. — P. 524.

[12] Hugenschmidt J., Parti M. N. Zerstörungsfreie Untersuchungen von Asphaltbelagen nth Georadar // Bitumen. — 1999. — М 4. — P. 125–130.

[13] Millard S. G., Shaari A., Bungey J. H. Resolution of GPR bowtie antennas. Proceedings of the 10 th International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR 2002. — P. 724–731.

- [14] Simonn J.-M. Evaluation de systemes radar pour controller l'epaisseur des couches de chaussees // Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussees. — 2002. — M 238, mai-juin. — P. 51–59.
- References**
- [1] Vladov M.L., Starovojtov A.V. Vvedenie v georadiolokaciju: ucheb. posobie. — Vyp. 57. — M.: Izd-vo MGU, 2004. — 153 s.
- [2] Makeecheva I.V. Dorozhnyj rentgen. Georadiolokacionnye issledovaniya pri dorozhnom stroitel'stve i diagnostike sostoyaniya dorog // Stroitel'naja tekhnika i tekhnologii. — 2001. — № 5. — S. 38–39.
- [3] Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu georadarov pri obsledovanii dorozhnyh konstrukcij / Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii; Gos. sluzhba dorozhnogo hozyajstva Rossijskoj Federacii (ROSAVTODOR). — M.: ROSAVTODOR, 2003. — 37 s.
- [4] Obsledovanie dorozhnyh konstrukcij gorodskih magistralej georadiolokacionnymi metodami / A.M. Kulizhnikov, S.N. Burda, A.A. Belozerov i dr. // Avtomatizirovannye tekhnologii izyskanij i proektirovaniya. — 2003. — № 9–10. — S. 72–73.
- [5] Primenenie georadarov pri obsledovanii ulic Tyumeni // Stroitel'nye vesti. Tyumenskaya obl. — 2003. — № 2 (23). — S. 68–69.
- [6] Rekomendacii po izmereniyu stroeniya dorozhnoj odezhdyy pri pomoshchi georadara «OKO-2». — Ramenskoe: OOO «Logicheskie sistemy», 2008. — 31 s.
- [7] Rekomendacii po kontrolyu kachestva vypolneniya dorozhno-stroitel'nyh rabot metodom georadiolokacii / Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor). — M., 2016. — 72 s.
- [8] Rekomendacii po provedeniyu georadiolokacionnyh izmerenij dlya resheniya geologicheskikh zadach. — Ramenskoe: OOO «Logicheskie sistemy», 2008. — 27 s.
- [9] Filonenko V.A., Chubinskij N.P. Pribor dlya izmerenij dielektricheskoj pronicaemosti sred so srednimi i bol'shimi poteryami // Nauch. vestnik MGTU GA. Seriya: Radiofizika. — 2008. — № 58. — S. 33–39.
- [10] Finkal'shtejn M.I., Kutav V.A., Zolotarev V.P. Primenenie radiolokacionnogo podpovernostnogo zondirovaniya v inzhenernoj geologii / pod red. M.I. Finkel'shtejna. — M.: Nedra, 1986. — 128 s.
- [11] Harry M. Jol. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, Elsevier. — 2009. — P. 524.
- [12] Hugenschmidt J., Parti M.N. Zerstorungsfreie Untersuchungen von Asphaltbelagen mit Georadar // Bitumen. — 1999. — M 4. — R. 125–130.
- [13] Millard S.G., Shaari A., Bungey J.H. Resolution of GPR bowtie antennas. Proceedings of the 10th International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR 2002. — R. 724–731.
- [14] Simonn J.-M. Evaluation de systemes radar pour controller l'epaisseur des couches de chaussees // Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussees. — 2002. — M 238, mai-juin. — P. 51–59.
- Статья поступила в редакцию 18.12.2023.
Опубликована 30.03.2024.
- Kuznetsov Mikhail S.**
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural Federal University named after First President of Russia B. Yeltsin (UrFU), Nizhny Tagil Technological Institute (Branch), Nizhny Tagil, Russian Federation
e-mail: kms.rf@rambler.ru
- Patrushev Yurii V.**
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural State Mining University (URSMU), Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: up_patr@mail.ru
- Maltseva Olga V.**
Lab Head, Projection LLC, Nizhny Tagil, Russian Federation
e-mail: tamara.galeeva@urfu.ru