

УДК 622.831

В.В. Набатов, П.А. Морозов, А.Н. Семенихин

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА ПЛОЩАДКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА С ПОМОЩЬЮ ГЕОРАДАРОВ С РЕЗИСТИВНО-НАГРУЖЕННЫМИ АНТЕННАМИ

Обобщены результаты изыскательских работ, направленных на поиск инженерных коммуникаций (либо отсутствующих в документации, либо неточно внесенных в нее) на площадке строительства. Описаны основные трудности поиска. Даны примеры различных типов волновой картины, которая может указывать на наличие коммуникации. Приведён ряд методик поиска. В большинстве случаев приведены результаты работы на георадарах с резистивно-нагруженными антеннами.

Ключевые слова: прикладная геофизика, георадар, георадиолокация, резистивно-нагруженные дипольные антенны, подземные коммуникации, поиск, методики поиска, помеховые факторы, интерпретация результатов.

Проблема поиска коммуникаций обычно возникает по следующим причинам. Геоподосновы не достаточно точно отражают ситуацию на площадке строительства – они могут не содержать все существующие на площадке коммуникации (в частности по причинам секретности); либо нередко геоподосновы не точно отображают расположение коммуникаций. Еще одна проблема – это старые, уже не работающие коммуникации, которые не демонтировались и остались в геомассиве. В результате, когда геомассив вскрывается в процессе строительных работ, нередки случаи, как аварийного разрушения коммуникаций, так и порчи оборудования строительной организации. Чтобы предотвратить подобные ситуации во всём мире используются технологии неразрушающего контроля. По сравнению с прямыми методами (вскрытие трассы коммуникации шурфами) методы неразрушающего контроля позволяют обследовать площадку почти в каждой её точке, а не в нескольких

выбранных. С другой стороны неразрушающие методы не могут дать абсолютно достоверной оценки наличия или отсутствия коммуникации в определённой точке геомассива, поскольку выводы делаются по наблюдению характеристик физических полей, часто зашумлённых помехами.

Наиболее активно в задачах поиска коммуникаций используются регистраторы электрического поля, называемые трассоискателями. Работа ведётся как в пассивном варианте – регистрируется поле, создаваемое подключенным кабелем или катодной защитой. Так и в активном – на площадке изысканий используется генератор переменного электрического поля, который наводит токи в коммуникациях, вторичное поле от которых и регистрирует антенна трассоискателя. Если есть возможность, генератор подключается непосредственно к коммуникации. Основной проблемой таких приборов является ограничение спектра выявляемых объ-

ектов. Это либо силовые кабели и электрические системы связи, либо коммуникации, оборудованные катодной защитой. Строительный мусор, старая коммуникация, неметаллическая коммуникация выявлена им не будет.

Еще одной проблемой является то, что при пассивном поиске трассоискатель даёт размытую в плане картину расположения объекта (коммуникация может быть видна на расстоянии нескольких метров от места её расположения; этот эффект так же зависит от глубины заложения коммуникации). Это может привести к тому, что две коммуникации сольются. Активный поиск без подключения к коммуникации относительно хорошо работает, только если генератор поставить над коммуникацией – искать отсутствующие в документации объекты этим подходом достаточно сложно (не смотря на предлагаемые производителями конкретные методики). Наиболее эффективен трассоискатель при непосредственном подключении генератора к коммуникации. В пассивных режимах хорошо работает поиск по сигналу от антенны трассоискателя выведенному на наушники. Однако подключиться к коммуникации можно далеко не всегда. В результате дополнительно к трассопоисковым комплексам используют другие методы, в частности геофизический метод георадиолокации.

Сразу нужно сказать, что для георадиолокации поиск коммуникаций также является достаточно сложной задачей, которая часто ставится, как «найти все коммуникации, которые могут быть на площадке». Т.е. задача не пропустить объект, что в силу специфики геофизических методов (помехи) нельзя выполнить с абсолютной достоверностью. Поэтому

комплексирование трассопоисковых и георадиолокационных комплексов в описываемой задаче может сыграть определённую положительную роль.

Влияние помех, пожалуй, наиболее острая проблема при поиске коммуникаций георадарами. Хотя не редко так называемые «воздушные» помехи существенно зашумляют результаты георадиолокационной съёмки, не они являются самой острой стороной проблемы. В большинстве случаев профили вполне можно проложить на некотором расстоянии от надповерхностного объекта и получить менее зашумлённую радарограмму. При обработке результатов разделить надземные и подземные отражения можно по ряду факторов (анализ кинематических параметров в этом случае достаточно прост). Впрочем, в ряде случаев «воздушные» помехи делают работу невозможной.

Однако куда большей проблемой является неравномерность свойств (неоднородность) обследуемых грунтов [1]. Любая граница, на которой присутствует контраст значений диэлектрической проницаемости, является отражающей. В этом отношении грунты мегаполисов представляют собой достаточно сложный объект исследования – для них характерна нарушенность залегания, перекопанность; наличие искусственных грунтов (пески обычно не создают проблем, но щебень, камни в толще породы могут сильно осложнять поиск коммуникаций); наличие большого количества строительного мусора (особенно армированные плиты). Отдельно стоит выделить сложную гидрогеологическую ситуацию, возникающую по тем или иным причинам (нарушение естественных гидрорежимов в результате

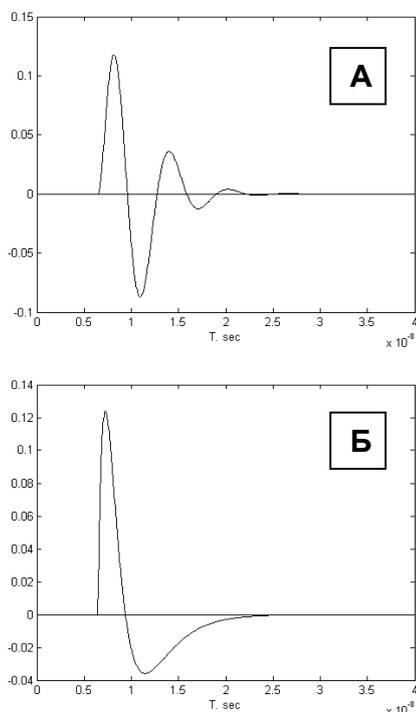


Рис. 1. Основные типы георадиолокационных сигналов. а) осциллирующий импульс с затуханием, функция пересекает нулевую ось многократно; б) аперриодический импульс, функция пересекает нулевую ось один раз.

строительства, а также из-за протечек из труб). Из естественных причин проблемой может стать наличие глинистых отложений в разрезе.

В результате сигнал, распространяющийся в грунтах, проходит через множество границ, ослабляясь на каждой из них, что может приводить к резкому падению максимальной достигаемой излучением глубины. А так же к тому, что приёмная антенна ловит большое количество помеховых отражений, маскирующих отражения от искомой коммуникации (слишком много объектов, которые выглядят похоже на коммуникацию и не дают возможности её выделить). Это провоциру-

ет ошибки, когда неоднородность принимается за коммуникацию и ошибки когда не выявляется реально присутствующая коммуникация.

Также стоит отметить, что специфика сигналов георадаров может играть существенную роль при поиске коммуникаций. Дело в том, что в большинстве случаев излучаемые георадаром сигналы имеют несколько периодов. Это означает что и отражения (как от коммуникации, так и от неоднородностей в геомассиве) являются многопериодными. В результате несколько периодов (идуших после первого вступления) предыдущих волновых пакетов накладываются на первые вступления последующих волновых пакетов. Выходом здесь может являться резистивная нагрузка антенн (фактически их демпфирование). В этом случае в конструктив антенны включается ряд сопротивлений с изменяющимися (вдоль длины антенны) характеристиками. Демпфирование антенны подразумевает необходимость существенно увеличивать мощность подаваемого на антенну импульса, что обычно требует смены типа источника импульса. Такой георадар даёт импульс, который называют аперриодическим (на рис. 1 [2] представлены примеры обычного и аперриодического импульсов). Радарограммы таких георадаров получаются более читабельными из-за аперриодичности зондирующих сигналов и минимизации так называемых «звонов». Существенно большой прирост мощности позволяет так же несколько повысить глубинность исследований [3]. В качестве примера такой конструкции можно привести георадар «Лоза». Отправной точкой для создателей «Лозы» была статья [4], так же с описанием подобного типа георадаров можно познакомиться в [5].

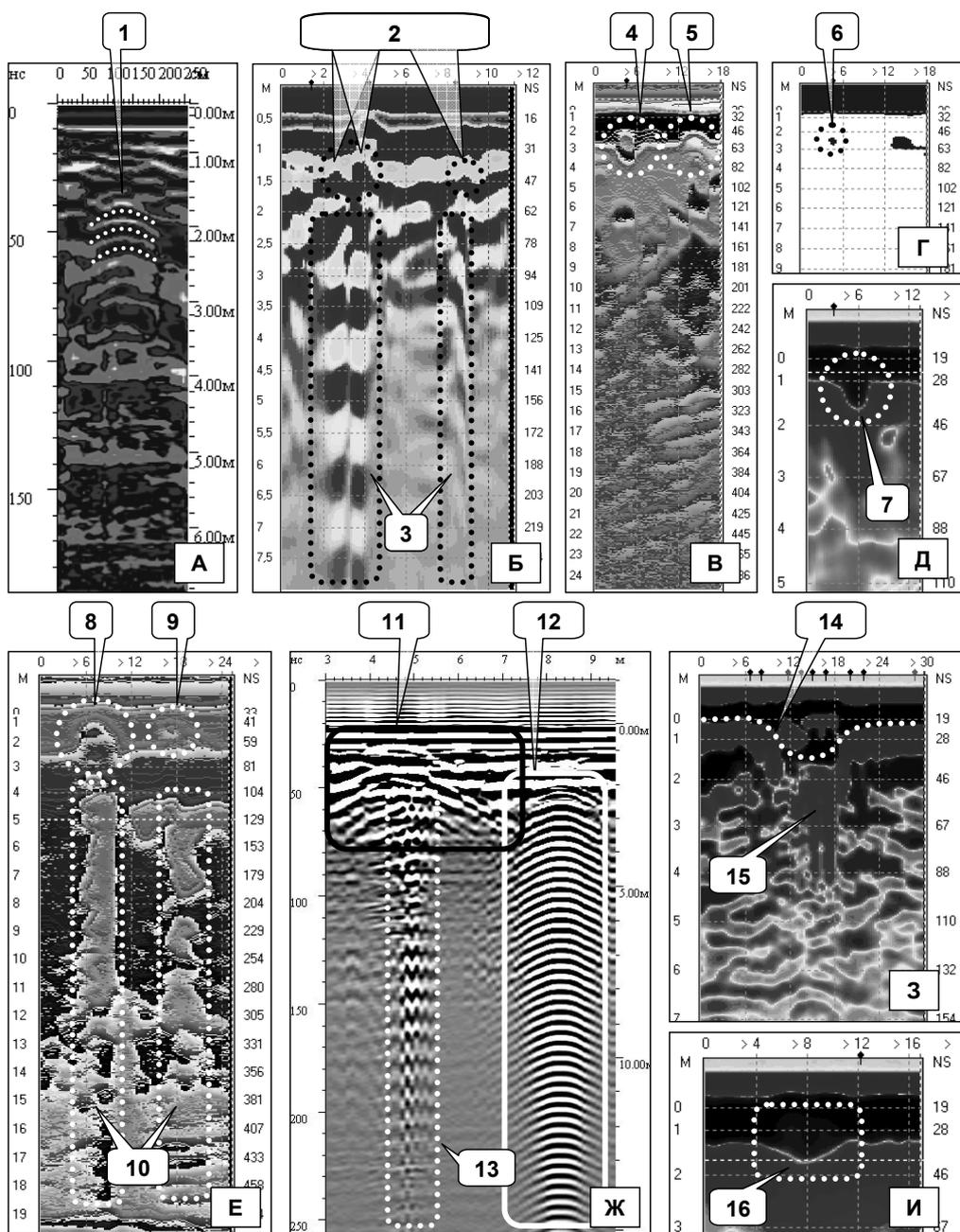


Рис. 2. Примеры волновых портретов подземных коммуникаций. Пояснения см. в тексте. Радарограммы сняты следующими георадарами: А – "Лоза 1В" 300МГц; Б – "Лоза 1В" 100МГц; В, Г, Д, Е – "Лоза 1Н" 50 МГц; Ж – "ОКО-2" 250 МГц; З, И – "Лоза 1Н" 50 МГц. А, Ж – время – левая шкала, глубина – правая. Б-Е, З, И – время – правая шкала, глубина – левая

С другой стороны по ряду причин в таких георадарах необходимо использовать компараторную оцифровку сигналов, которая позволяет снять некоторые проблемы и расширить динамический диапазон аппаратуры. Однако вместе с тем она замедляет и скорость съёмки. Так, например, георадары традиционной конструкции позволяют при скорости движения 1—3 км\ч получать трассы на профиле с шагом 2-5 см. С георадарами в которых используется компараторная оцифровка съёмку приходится вести по точкам. В этом случае вести съёмку с шагом 2-5 см становится слишком трудоёмко (обычно минимальный шаг – 10 см). Всё это приводит к некоторому снижению горизонтальной разрешающей способности. Здесь только нужно уточнить, что в связи с появлением новых АЦП есть возможность решить и эту проблему.

Также стоит упомянуть ту проблему, что с повышением частоты увеличивается разрешающая способность прибора, но падает глубинность [6]. В результате найти коммуникацию небольшого диаметра на большой глубине становится в ряде случаев практически невозможно.

На радарограммах коммуникации проявляются в виде следующих особенностей волнового поля (в основном представлены результаты, полученные на георадарах с резистивно-нагруженными антеннами; наличие коммуникаций в этих примерах подтверждено либо совпадением с данными геоподосновы, либо шурфлением):

1. Гиперболическая ось синфазности (далее по тексту – ГОС). Это хорошо известная [7, стр. 49-50; 8 стр. 6; 9, стр. 82-85] волновая картина, представляющая собой годограф дифрагированной волны. Такая картина

образуется при пересечении профилем локального или протяжённого объекта. В случае если профиль и коммуникация пересекаются под углом не слишком отличающемся от прямого, по этому годографу можно оценить среднюю диэлектрическую проницаемость грунтов над объектом. В качестве примера на рис. 2 А (цифра 1) три ГОС выделены пунктирной линией (это несколько периодов отражения от одной и той же коммуникации, многопериодность отражения в данном случае связана не с многопериодностью излучённого сигнала, а со спецификой самого отражения). На рис. 2 Ж (цифра 12) выделен целый ряд хорошо просматривающихся многопериодных ГОС. Такая многопериодность характеризует и другую волновую картину, так называемый «звон» (описан ниже).

В ряде случаев (из-за высокого затухания сигнала в геосреде или по причине большой глубины заложения коммуникации) видна только верхушка ГОС – так называемые «усы» не просматриваются (коммуникация находится в верхушке ГОС). Такие волновые картины можно наблюдать на рис. 2 Б (цифра 2) и В (цифра 4). Очень слабо, но всё-таки просматривается гиперболическая форма верхушки на рис. 3 Г и Д (цифры 6 и 7). Также на рис. 4 А и Б представлен яркий пример когда отражённые сигналы образуют только верхушку ГОС (выделены пунктирными окружностями). Особенно хорошо гиперболическая форма просматривается на рис. 4 Б. Глубина этой коммуникации 4,5 — 5 м (оценка диэлектрической проницаемости получена по методике «годограф», при которой измерения производятся с различным расстоянием между приёмной и излучающей антеннами).

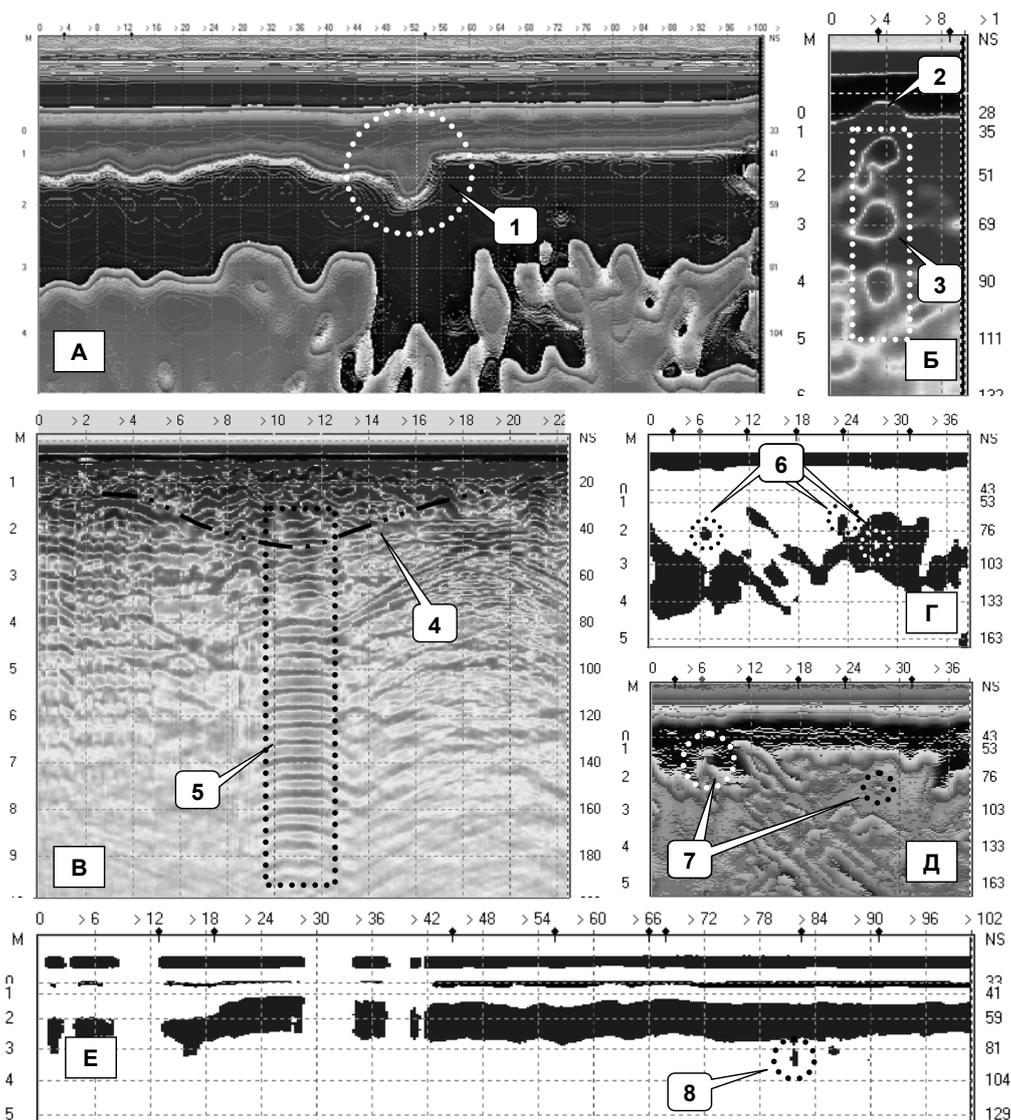


Рис. 3. Примеры волновых портретов подземных коммуникаций. Пояснения см. в тексте. Радарограммы сняты следующими георадарами: А, Б – "Лоза 1Н" 50МГц; В – "Лоза 1В" 300МГц; Г, Д, Е – "Лоза 1Н" 50 МГц. Время – правая шкала, глубина – левая

2. Специфическая форма границ в геомассиве вблизи коммуникации. Иногда границы в области коммуникации испытывают «просадку» (опускание). Видимо в этом случае отбивается граница траншеи, в которую укладывали коммуникации, либо какие-то элементы самой коммуникации.

Такие особенности волнового поля можно увидеть на рис. 2 В (цифра 4), Д (цифра 7) и З (цифра 14), на рис. 3 А (цифра 1) и В (цифра 4). Примеры «просадок» можно найти также в [10]. Ярко выраженные «просадки», подобные представленной на рис. 2 Д (цифра 7), появляются при рабо-

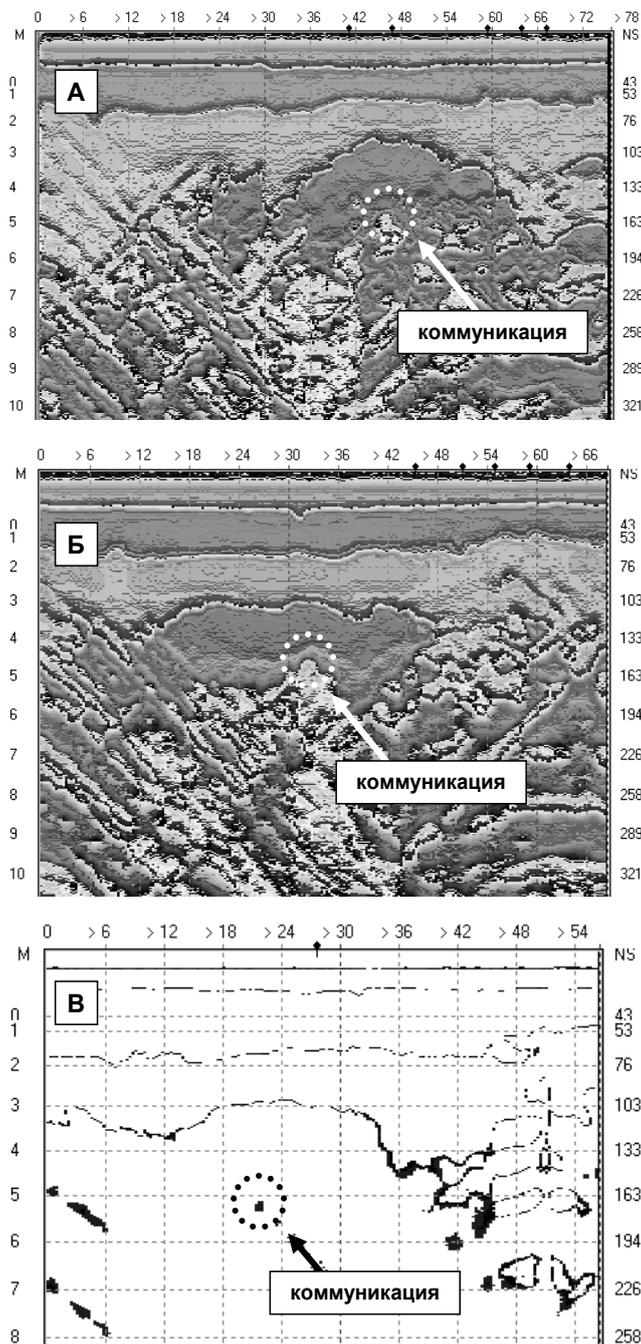


Рис. 4. Прослеживание коммуникации на соседних профилях. Георадар "Лоза-1Н" (50 МГц). Пояснения см. в тексте. Время – правая шкала, глубина – левая

тах на низкочастотных георадарах. При работах на высокочастотных картина скорее соответствует слабо просматриваемому примеру рис. 3 В. Однако, при низкочастотной георадиолокации часто приходится сталкиваться с ситуацией когда коммуникация не видна никаким образом (т.е. может быть пропущена).

Иногда границы в области коммуникации испытывают подъем. Возможно, так проявляются насыпи, либо конструктивные особенности самой коммуникации (например, кирпичная кладка над кабелем). В этом случае получается смешанная волновая картина, в которой можно различить и ГОС и геометрический подъем отражающей границы. Подобным образом себя ведут границы на радарограммах рис. 2 В (цифра 5), Е (цифра 8), Ж (цифра 11), рис. 3 Б (цифра 2). Из этих примеров рис. 2 Ж (цифра 11) скорее стоит читать, как пример где больше влияет ГОС. А рис. 2 В (цифра 5) как пример где больше влияет форма границ. Это стало ясно после оценки диэлектрической проницаемости по форме осей синфазности. На рис. 2 В оценка оказывается существенно заниженной, при том что источники «воздушных» помех в этом месте нет, а коммуникация судя по геоподоснове пе-

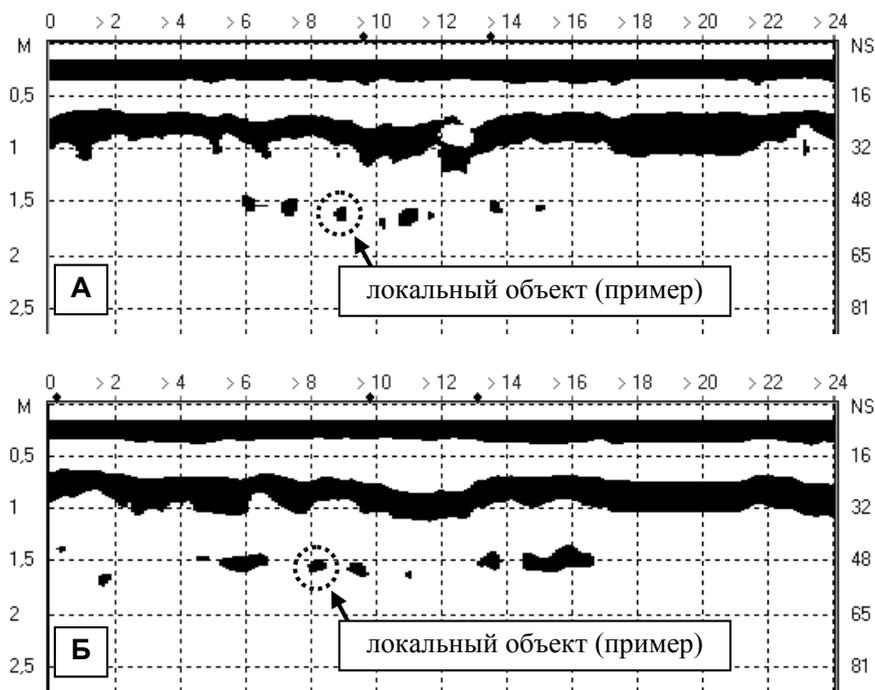


Рис. 5. Пример зашумления отражениями от локальных объектов: А и Б – радарограммы параллельных профилей, снятых в процессе площадной съёмки. Георадар "Лоза 1В" 100МГц. Время – правая шкала, глубина – левая

ресекается профилем под тупым углом.

3. «Звон». Это характерные высокоамплитудные, длительные, многопериодические сигналы, часто пониженной частоты [11], возникающие по различным причинам, в том числе и при отражении сигнала от коммуникации. «Звоны» могут быть достаточно длительными и зашумлять всю оставшуюся часть трассы. Природа «звона» может быть связана с переотражениями сигнала внутри объекта (если объект не металлический), с кратными отражениями между объектом и поверхностью [12], с высокой проводимостью тех или иных элементов коммуникации [13]. Оценка времени, на котором стоит искать первое вступление отражения от коммуникации, находится в области начала «звона».

Примеры этих сигналов представлены на рис. 2 Б (цифра 3), Ж (цифры 12 и 13), рис. 3 Б (цифра 3), В (цифра 5). Иногда «звон» образует «звенящую» ГОС (см. рис. 2 А – цифра 1, рис. 2 Ж – цифра 12). Объект рис. 2 Ж (цифра 12), является не коммуникацией, а засыпанной крышкой люка.

4. Высокая амплитуда отражения. Часто коммуникация даёт самые высокие амплитудные значения на профиле на одном и том же времени трасс. Иногда, для того чтобы выявлять такие особенности, удобно использовать бинарное кодирование уровней амплитуд (выше порога – белый, ниже порога – чёрный, или наоборот). Перебирая последовательный ряд порогов, вы будете видеть, как всё больше количество амплитудных значений будет окрашиваться в

один из двух цветов. Примером такого анализа может быть рис. 2 Г (цифра 6), это обработанная радарограмма рис. 2 В. Здесь на временах 50-60 нс уже все амплитудные значения кодируются белым цветом и только точка где находится коммуникация (первый максимум отражения от неё) по прежнему имеет чёрный цвет. Т.е. максимум в этой части радарограммы является самым большим амплитудным значением на временах 50-60 нс (до отметки профиля 12 м, где находится еще один объект). Иногда отражение от коммуникации, является самым большим амплитудным максимумом на десятках метров профиля. Такая ситуация представлена на рис. 3 Е, в диапазоне времён 81-104 нс максимум, вызванный отражением от коммуникации (цифра 8), является единственным столь высоким амплитудным значением на отрезке профиля 0 – 85 м. Сразу несколько таких сильных отражений можно увидеть на рис. 3 Г и Д (цифры 6 и 7). Рис. 3 Г, это та же радарограмма что и рис. 3 В, но в другой обработке.

5. Низкочастотный «хвост». Этот тип волновой картины характерен для радарограмм георадаров с апериодическим импульсом. Специфика импульса приводит к тому, что амплитудный подъём может существенно сместить значение сигнала относительно нуля, а вот спадать это амплитудное значение может достаточно долго (см. рис. 1 Б). Такой эффект, можно наблюдать при сильном отражении от объекта (которым часто и является коммуникация). Примером такой волновой картины может послужить радарограмма рис. 2 Е (цифра 10). Ярко выражен «хвост» и на радарограмме рис. 2 З (цифра 15).

Здесь важно сказать, что в качестве примеров представлены наиболее ярко выраженные волновые картины.

Нередко они просматриваются либо слабо, либо имеют необычную форму. Например, на рис. 2 И (цифра 16) можно увидеть «просадку» оси синфазности (выявленную в области заложения коммуникации), которую интерпретатор достаточно легко может не заметить из-за слабой её выраженности (изменение горизонтального масштаба облегчит работу не существенно, потому что обострит другие слабо проявляющиеся «просадки», не связанные с коммуникациями). Частично тут помогает то, что коммуникация обычно видна по нескольким волновым особенностям – т.е. решение можно принимать по комплексу доводов. Так, например, на рис. 2 А коммуникация просматривается по ГОС и «звону», на рис. 3 В по «просадке» и «звону». «Звона» не видно на рис. 2 В (цифра 4), но есть «просадка», вершина «ГОС» и высокое значение амплитуды (см. рис. 2 Г цифра 6). Радарограммы рис. 4 под обведёнными вершинами ГОС содержат «звенящие» записи (более явно просматриваются при другой обработке).

Тем не менее, и этот подход, не снимает всех проблем. Например, проблемой остаётся то, что локальные объекты (например, камни) дают такие же ГОС, как и коммуникации, а строительный мусор может так же «звенеть» как коммуникация. Отличить одно от другого можно было бы по анализу инверсии сигнала (при вступлении в среду с более высокой диэлектрической проницаемостью сигнал меняет свою полярность [14; 15, стр. 27,46,55-56; 2]). Однако подобный анализ подойдет, если не будут подавлены помехами первые вступления волновых пакетов [14].

Также возможным развитием методов выявления волновых «портретов» коммуникаций могут стать систе-

мы из атрибутного анализа с применением регрессионного, факторного, кластерного анализов и др. методов распознавания образов (искусственные нейронные сети, статистические подходы при распознавании образов). К сожалению публикаций по этой теме на данный момент очень мало [9, стр. 181; 16].

Помимо возможности выявления коммуникации по специфическим особенностям волнового поля (волновым «портретам»), есть ряд методических приёмов, позволяющих принять решение – наблюдается коммуникация или помеха. В первую очередь они связаны с тем аспектом, что коммуникации имеют большую протяжённость.

Наиболее очевидным и распространённым методическим приёмом является площадная съёмка. Площадь, на которой необходимо искать коммуникации обследуется серией параллельных профилей, расположенных с некоторым шагом. Камни, неоднородности, локальные объекты будут в этом случае видны на одном, либо двух профилях. В то время как коммуникация за счёт своей протяжённости пересекает обычно весь набор профилей.

Снятый таким образом объём данных анализируют разными способами. Например, профили наносят на план местности (в соответствии с точной их привязкой), далее наносят выявленные особенности волнового поля, указывающие на коммуникацию (ГОС-ы, «просадки» и т.п.), далее выбирают те из них, точки которых между профилями образуют прямую линию. Здесь только нужно учитывать тот аспект, что привязка трасс на профилях может идти с некоторой ошибкой (ошибку дают датчики пути; эта проблема менее остро стоит при съёмке по точкам, однако съёмка по точкам

характеризуется достаточно большой трудоёмкостью). Поэтому и волновые «портреты» коммуникации на соседних профилях могут образовывать прямую линию с некоторым отклонением. Помимо этого коммуникация может проходить под острым углом к сетке профилей и ГОС на первом профиле может просматриваться в начале профиля, а на третьем – в конце. Это можно проиллюстрировать с помощью рис. 4 – на нём пунктирными контурами обведены волновые «портреты» одной и той же коммуникации на трёх параллельных профилях (расстояние между ними – 3 м). Точки расположения волновых «портретов» образуют прямую линию на плане. Начинаются профили примерно в одном и том же месте, но имеют разную длину. На первом профиле коммуникация видна на 45.9 м, на втором на 32.5 м. Оценка глубины заложения коммуникации – 4.5 м (диэлектрическая проницаемость оценена по методике «годограф»). С этим можно бороться, проходя вторую перпендикулярную сетку профилей (по отношению к которой коммуникация будет проходить под тупым углом), хотя это сильно увеличивает трудоёмкость работ.

Другим подходом в контексте методов анализа результатов является построение 3D кубов параметров волнового поля. Площадная съёмка позволяет получить набор трасс, которые условно равномерно распределены по поверхности (их точки привязки образуют поверхность с, обычно, небольшим перепадом высот). Третьим измерением является сама временная протяжённость трассы, которая так же может быть пересчитана в глубину. Здесь достаточно проинтерполировать значения между трассами, чтобы получить куб значений (это может быть куб мгновенных ам-

плитуд или других атрибутов), который далее можно разрезать плоскостями и анализировать объёмное распределение параметров. Коммуникации внутри такого куба будут выглядеть как протяжённый ряд повышенных значений мгновенных амплитуд, а строительный мусор, камни будут представлены локальными всплесками амплитудных значений. При этом достаточно удобно использовать не исходные значения амплитуд, а рассчитать значения мгновенных амплитуд через амплитудное преобразование Гильберта. Такие сечения куба читаются гораздо легче, поскольку сигналы лишены информации о мгновенных частотах и фазах.

Однако описанные подходы тоже не решают всех проблем. Например, обследуемый массив может содержать слои отсыпки и просто большое количество камней. Это приводит к тому что, нанося все объекты на план, вы можете обнаружить, что через сетку профилей с точками, где выявлены объекты можно провести сколько угодно прямых линий (якобы указывающих на коммуникацию) и проходящих через профили под любыми углами. Особенно остро это может стоять при работе в городе. Примером здесь может стать рис. 5, на котором представлено два параллельных профиля. На типичной для коммуникаций глубине находится слой отсыпки, дающий множество высокоамплитудных отражений. Через эту группу объектов на плане можно провести достаточно большое количество прямых линий.

Другой проблемой является то, что старая коммуникация может не просматриваться на части профилей (вплоть до случаев, когда из 9 профилей коммуникация была видна только на трёх). Это может быть вызвано различными причинами – ржавлением

труб, интерференцией с «воздушными» помехами и т.п. В этом случае коммуникация, как и локальный объект на соседних профилях не просматривается. Все эти проблемы обостряются при увеличении глубины исследований.

Здесь выходом в ряде случаев может быть методика, которая в некоторой степени напоминает так называемое накопление сигналов и может быть названа пространственным накоплением. Традиционное накопление подразумевает осреднение амплитудных значений нескольких сигналов в одной точке профиля. Эти сигналы «разнесены» во времени и поэтому волновые пакеты отражений от объектов (как надземных, так и подземных) находятся на одинаковых фазах трасс и при суммации когерентно складываются. Амплитуды же шумов в различные моменты времени варьируются, а потому при накоплении они суммируются не когерентно. Таким образом, процедура накопления улучшает отношение сигнал\шум. Стоит заметить, что подход слабо эффективен при попытке исключения регулярных помех (модулированные сигналы вещания, «воздушные» помехи).

То, что можно назвать пространственным накоплением использует ту особенность, что коммуникация является протяжённым объектом. Если пройти один профиль, а затем отступить на небольшое расстояние и пройти соседний параллельный профиль, то с первого профиля некий локальный объект (камень) будет виден, а со второго будет просматриваться гораздо слабее либо не просматриваться вообще. В то же время искомая коммуникация будет находиться примерно одной и на той же глубине, а поэтому и на основном и

на дубль-профиле она будет давать отражённый сигнал приблизительно на одних и тех же фазах трассы. Далее трассы одинакового номера, но разных профилей суммируются. В этом случае отражения от локальных объектов ведут себя как шумы, а отражения от коммуникации как полезный сигнал, который складывается когерентно.

Приём требует корректно выполненной методики съёмки. В первую очередь, очевидно, необходимо соблюдать постоянство шага между трассами на обоих профилях. Если использовать датчики перемещения колёсного типа, то в основном из-за неровностей поверхности придётся наблюдать картину, когда отражения от коммуникации будут проявляться на разных по номеру трассах. Менее капризны датчики, привязывающие трассы по длине размотанной нити (однако для такого датчика трудно обеспечить прямолинейность нити в конце профиля – часто ветер смещает нить). Наиболее удачным решением (но и наиболее трудоёмким) будет съёмка по точкам с контролем расстояния по разостланной рулетке.

Также важно корректно выбрать расстояние между основным и дубль-профилем. Расстояние не должно быть слишком большим. При избыточном расстоянии между профилями нельзя рассчитывать, что коммуникация будет на той же глубине (абсолютный уровень поверхности будет изменяться). Впрочем, здесь возможно введение поправок за высоту при известном топографическом рельефе местности. Также начнёт играть роль угол между двумя профилями и коммуникацией. Острый угол между коммуникацией и профилями разнесёт номера трасс, на которых прояви-

лось отражение тем больше, чем дальше отстоят профили. Помогает здесь тот факт, что коммуникации обычно параллельны либо перпендикулярны улицам в городах. А значит, размечая сетку профилей, параллельную улицам, геофизик может надеяться, что большинство выскиваемых коммуникаций будут либо параллельны профилям, либо перпендикулярны. Также здесь можно предположить особый подход при обработке данных, когда трассы суммируются при различных смещениях второго профиля. Эффективность суммации и наличие фрагментов ГОС на радарограмме будет говорить в пользу предположения, что выявлена коммуникация.

Слишком близко проходить профили тоже не стоит. Георадар снимает в глубине массива не точку, а некую площадку, определяемую радиусами зон Френеля (размеры зон растут с увеличением глубины, с которой приходит отражение и с увеличением длины волны излучения). При слишком малом смещении эти зоны будут слишком сильно перекрываться и георадар будет снимать почти один и тот же геомассив. Из-за увеличения размеров зон Френеля с глубиной пространственное накопление будет работать хуже.

В целом, исходя из практики, при частоте 100-300 МГц хорошим расстоянием между профилями является 0,3 – 0,5 (в некоторых случаях допустимо расстояние и 1 м). Единственным недостатком методики будет слишком высокая трудоёмкость полевых работ, которые при наиболее шепетильном подходе требуют съёмку по точкам двойной сетки профилей двумя системами профилей.

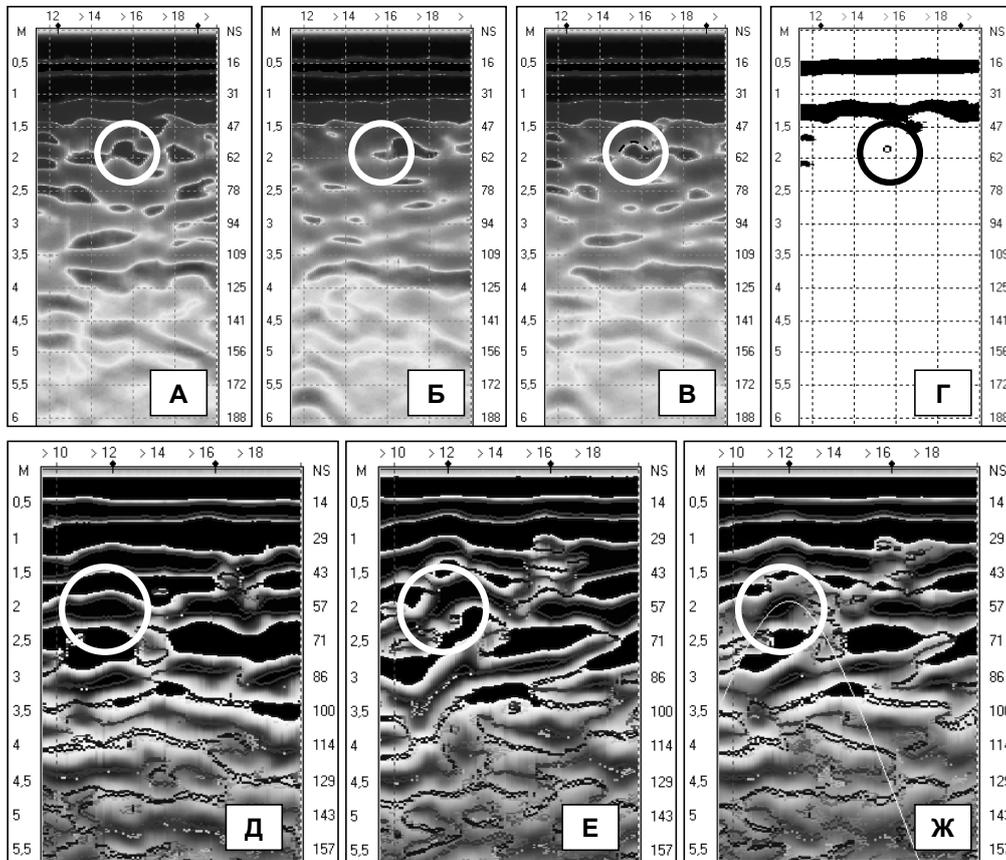


Рис. 6. Выявление подземных коммуникаций съёмкой с дублирующими профилями. Георадар "Лоза 1В" 100МГц. Пояснения см. в тексте. Время – правая шкала, глубина – левая

При задаче уточнения расположения коммуникации трудоёмкость методики может снижаться.

Особенно хорошо эта методика влияет на улучшение просматриваемости вершущек ГОС. На рис. 6 представлены примеры радарограмм, полученных с этой методикой. Рис. 6 А и Б это основной и дополнительный профиль. Сплошным кругом обведены одни и те же точки радарограмм. Рис. 6 В это результат их суммации. В месте, отмеченном окружностью, появилась хорошо просматриваемая

вершущка ГОС (выделена пунктирной дугой). Форма этой ГОС вполне соответствует оценке средней диэлектрической проницаемости для этого геомассива на участке от поверхности до этих глубин. Здесь нужна та оговорка, что взять оценку диэлектрической проницаемости только по вершущке ГОС достаточно сложно (т.е. ошибка может быть велика), хотя значения всё-таки сильно отличаются от ГОС-в «воздушных» помех. На рис. 6 Г также видно, что определённая область описываемого волнового «портрета»

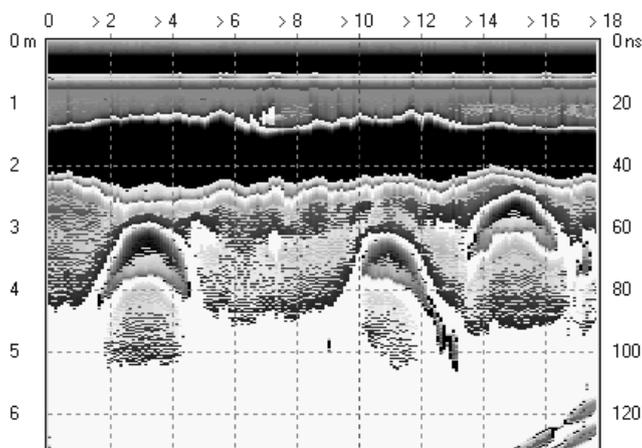


Рис. 7. Выявление подземных коммуникаций вне черты мегаполиса. Георадар "Лоза 1В" 100 МГц. Время – правая шкала, глубина – левая

(первый максимум) является самым большим амплитудным значением на временах 52-62 нс.

Без суммации этот анализ давал менее ясные результаты.

На рис. 6 Д и Е также представлены основной и дополнительный профиль, снятые уже в другом месте. На рис. 6 Ж представлен результат суммации. В сплошной окружности стала просматриваться левая часть ГОС. Её форма также соответствует оценке средней диэлектрической проницаемости для этого геомассива. Чуть ниже этой ГОС дана модель годографа дифрагированной волны (модель смещена, чтобы не снизить читаемость примера), форма которого соответ-

ствует средней диэлектрической проницаемости для этого геомассива. Так же как и с примерами волновых «портретов», на рис. 6 представлены наиболее яркие результаты, часто результаты бывают менее выразительны.

Под конец статьи нужно сделать важное уточнение. Все описанные выше проблемы поиска коммуникаций ярко проявляются из-за большого количества «воздушных» помех, неоднородности

техногенных грунтов и прочих особенностей грунтов мегаполисов. Если эти факторы не проявляются в острой форме работать становится значительно легче. Примером результатов такого (внегородского) обследования может послужить радарограмма рис. 7. Эти результаты не зашумлены «воздушными» помехами, а грунты представляют собой однородный массив. Результаты интересны еще и тем, что геомассив здесь сложен глинистыми влажными сильно поглощающими грунтами. Тем не менее, получена ярко выраженная картина, по которой легко определить место расположения коммуникаций (трубы нефтепроводов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин В.В. Георадарное исследование техногенных грунтов // Разведка и охрана недр. 2009. №9. С. 43-46.
2. Копейкин В.В. Первичная обработка георадарных сигналов: [Электронный документ]. (<http://www.geo-radar.ru/articles/article3.php>). Проверено 10-03-2012.
3. Владов М.Л., Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Шалаева Н.В. Становление

- георадиолокации в МГУ // Разведка и охрана недр. 2004. № 5. С. 13-15.
4. T.T. Wu, R.W.P. King. The Cylindrical Antenna with Nonreflecting Resistive Loading. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. May 1965. V. AP-13, N.3.
5. Kangwook Kim, Waymond R. Scott Jr. Design of a Resistively Loaded Vee Dipole for Ultrawide-Band Ground-Penetrating Radar

Applications // IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 53, No. 8, August 2005.

6. Калинин А.В., Владов М.Л., Старовойтов А.В., Шалаева Н.В. Высокорастворимые волновые методы в современной геофизике // Разведка и охрана недр. 2002. №1. С. 23-27.

7. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных: Учеб. пособие / М.: «Издательство МГУ», 2008. - 192 с.

8. Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач [Текст]: Технические рекомендации ООО "Логические системы" – Раменское, 2008. – 24 с.

9. Изюмов С.В., Дручинин С.В., Вознесенский А.С. Теория и методы георадиолокации: Учеб. пособие / М.: «Горная книга», 2008. - 196 с.

10. Набатов В.В., Гайсин Р.М., Гораньков И.И. Опыт георадиолокационного обследования массива для прогнозирования условий шитовой проходки коллекторов в условиях мегаполиса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011, №8. С. 202-211.

11. Капустин В.В. Дополнительные возможности компьютерной обработки геора-

дарных и сейсмических данных // Разведка и охрана недр. 2005. №12. С. 26-30.

12. Изюмов С. В., Дручинин С. В. Применение георадаров серии «ТР-ГЕО» в инженерной геофизике и строительстве // Разведка и охрана недр. 2005. №12. С. 22-24.

13. Копейкин В.В. Распространение электромагнитных импульсов в подземной среде: [Электронный документ]. (<http://www.geo-radar.ru/articles/article5.php>). Проверено 11-04-2012.

14. Набатов В.В., Гайсин Р.М. Георадиолокационное обследование массивов горных пород вблизи эксплуатирующихся коллекторов с целью выявления областей разуплотнения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 9. С. 201-207.

15. Изюмов С.В. Совершенствование опережающего контроля массива горных пород радарными при проходке подземных горных выработок: дис. ... канд. техн. наук : 25.00.14 : защищена М., 21.11.2002.

16. Долгий А.И., Ковалев С.М., Хатламджиян А.Е. Модель локализации неоднородностей в георадиолокационных данных на основе нейросетей Кохонена // Известия ТРТУ. Тематический выпуск: «Интеллектуальные САПР». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. № 8. - С. 180-186. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Набатов В. В. – кандидат технических наук, доцент, e-mail: nv4@mail.ru,

Семенухин А.Н. – студент,

Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

Морозов П.А. – кандидат физико-математических наук, заместитель директора ВНИИСМИ, (495) 5719471



РАЗМЫШЛЕНИЯ И ДИАЛОГИ

- Ты меня уже извел своими вопросами.
- Во многих случаях вопросы важнее ответов.