

620.179.1:624.195:625.42

**А.И. Вознесенский, В.В. Набатов, Н.Н. Симонов,
В.А. Ромашенко**

ОПЫТ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГРАНИЦЫ «ОБДЕЛКА-ГРУНТ» ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

Рассмотрен опыт применения комплекса методов неразрушающего контроля при выявлении областей разуплотнения в затюбинговом пространстве. Комплекс составлен из сейсмоакустических и ультразвуковых изысканий. Дано обоснование комплекса, приведены примеры сигналов и их интерпретация.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, тоннели метрополитена, обделка, граница «обделка-грунт», области разуплотнения, расслоения путевого бетона, сейсмоакустические и ультразвуковые изыскания, донный сигнал.

С каждым годом Московский метрополитен вводит в эксплуатацию большой объём новых тоннелей. Однако вместе со строительством новых выработок возникает проблема слежения за давно построенными. В контексте этой задачи одной из основных проблем является контроль заобделочного пространства.

Основной проблемой здесь являются зоны разуплотнения на границе «обделка-грунт». Эти области возникают по ряду причин: вибрации от проходящего состава, подмывы тоннелей грунтовыми водами (эта проблема часто обостряется из-за влияния строительства на режимы грунтовых вод), оттаивание замороженных грунтов, воздействие строящихся зданий вблизи от проходящего тоннеля (при неглубоком заложении выработки).

Обделки перегонных тоннелей метрополитена кругового очертания обычно выполняются из чугунных тюбингов или железобетонных блоков, а прямоугольного очертания – из железобетонных блоков и монолитного железобетона. В лотковой части пе-

регонных тоннелей и на путях станций укладывается слой путевого бетона.

Последствия от возникновения областей разуплотнения могут привести к аварийным ситуациям. В случае железобетонных конструкций есть вероятность образования трещин и нарушений гидроизоляции на участках с открытым способом проходки. Для чугунного кольца возможны деформации кругового очертания с образованием пустот за кольцом и с перемещением в них грунта [1]. Всё это может приводить к неравномерному распределению напряжений в геомассиве, которое может влиять на строящиеся близи от тоннеля здания. К просадке дневной поверхности с нарушением дорожного покрытия. Расслоения в путевом бетоне могут приводить к деформации железнодорожных путей.

В случае выявления подобных областей до возникновения аварийных ситуаций можно будет произвести ремонтные работы, например тампонаж пустот. Однако сам процесс выявления представляет собой сложную

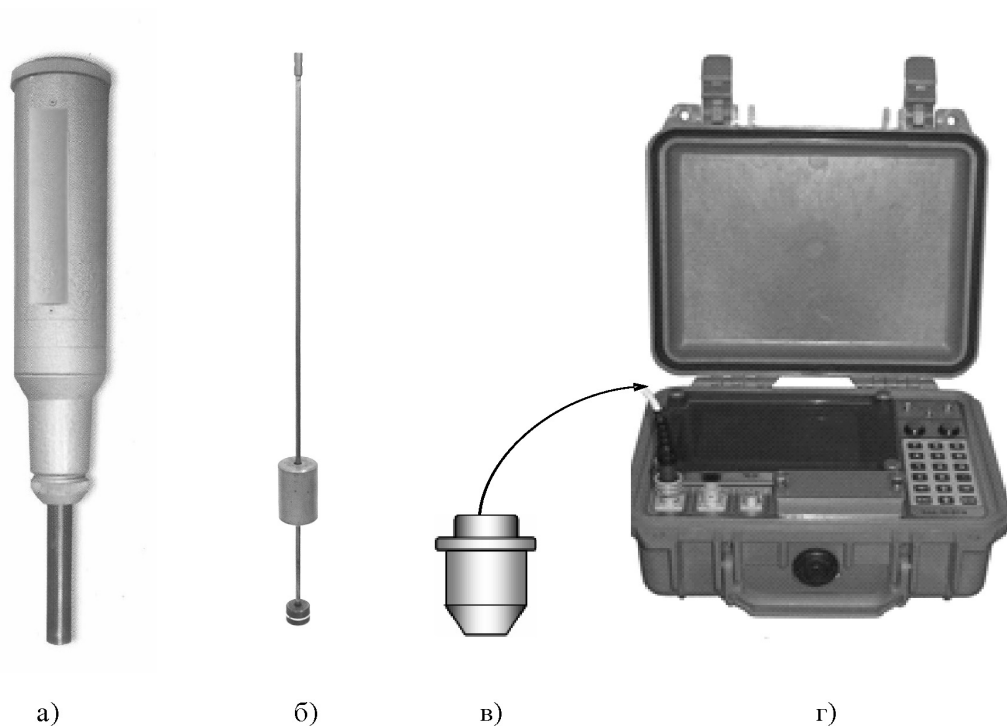


Рис. 1. Система сейсмоакустического контроля: А) источник возбуждения колебаний ОМШ-1; Б) источник возбуждения колебаний РЗГ-2; В) датчик; Г) блок регистрации данных

проблему, которую невозможно решить прямым методом со вскрытием обделки. Косвенные методы позволяют производить неразрушающий контроль большого объема площадей за короткие сроки и выявлять потенциально опасные участки.

Данная проблема в течение ряда лет успешно решается лабораторией конструкций и технологий сооружения тоннелей и метрополитенов НИЦ «ТМ» ОАО.

Для этих работ традиционно используются методы упругих волн. По способу возбуждения упругих волн эти методы можно разделить на методы с гармоническим возбуждением упругой волны (вибрационное возбуждение) и методы с кратковременным, ударным возбуждением. Первая

группа обычно характеризуется узким спектром излучения, второй метод даёт сигналы более широкого спектра. Учитывая, что полости за обделкой обычно выявляются по резонансному характеру сигналов, желательно ориентироваться на ударный способ возбуждения, поскольку при исследовании среды волновым полем с широким спектром повышается возможность выявить все возможные резонансы.

Для работ использован комплекс методов, состоящий из сейсмоакустических и ультразвуковых изысканий. Сейсмоакустические изыскания осуществлялись с помощью двухканальной сеймостанции «ИДС-1» (см. рис. 1). Основная причина необходимости использования дополнительных ульт-

развуковых изысканий состоит в том, что сейсмоакустический метод не позволяет дать оценку точного расположения дефекта по глубине. Т.е. в случае измерения на лотке, не ясно находится ли нарушение в путевом бетоне, в обделке или в заобделочном пространстве. При решении этой задачи сейсмоакустические изыскания не подразумевают изучение характера прохождения и отражения упругой волны в среде, они лишь позволяют по характерным особенностям резонансного поведения самой обделки выявить нарушение на профиле и построить карту нарушений.

Комплект для сейсмоакустического обследования состоит из системы регистрации данных, сейсмоприемника и источника возбуждения колебаний обделки. Регистрация колебаний производилась с помощью сейсмоприёмника «GS-20DX», подключающегося к сейсмостанции посредством коаксиального кабеля (рис. 1, в).

Для возбуждения колебаний в стеновых блоках и своде обделки кругового очертания использовался молоток одиночного удара, созданный на базе склерометра ОМШ-1, с постоянной энергией удара 1,93 Дж (рис. 1, а). При работе в лотковой части из-за сложного многослойного строения конструкции этой энергии удара оказалось недостаточно. Поэтому в лотковой части обделки в качестве источника возбуждения использовался мерный молот, созданный на базе ручного зонда РЗГ-2, с постоянной энергией удара 20,8 Дж (рис. 1, б).

Оба источника возбуждения обеспечивают постоянство энергии удара, что необходимо для корректного сравнительного анализа результатов в различных точках обделки тоннеля. Для последующей осреднения в каждой обследуемой точке производилось по три удара с фиксацией отклика.

Проводились предварительные экспериментальные исследования на стенде НИЦ «ТМ» и на физических моделях, имитирующих различные состояния контакта «обделка-грунт». По факту исследований было выявлено, что хороший контакт характеризуется малой начальной амплитудой колебаний и быстрым их затуханием. И, наоборот, о плохом контакте свидетельствуют относительно долго затухающие колебания с высокой начальной амплитудой. Примеры осциллограмм полученных в точке хорошего и плохого контакта границы «обделка-грунт» представлены на рис. 2.

Принятие решения о состоянии контакта происходило в автоматическом режиме, в специально разработанном программном обеспечении СУД «Анализ состояния контакта». Решение принималось по следующим параметрам записанных колебаний обделки: время затухания колебаний; начальная амплитуда колебаний; коэффициент затухания колебаний. Обработка данных в программном пакете включала в себя цифровую фильтрацию записей, осреднение результатов, автоматическое выделение зон качества контакта, построение карт качества контакта «обделка-грунт».

Дополнительные ультразвуковые изыскания производились с помощью дефектоскопа «Монолит А1220» (см. рис. 3). В среду излучается упругая волна ультразвукового частотного диапазона (55КГц). На этих частотах длина волны мала по сравнению с элементами конструкции. В результате существует возможность изучать распространение волнового процесса в среде с формированием откликов от нарушений и донного сигнала. Толщина обделки (200 мм) соответствует возможностям прибора по глубинности.

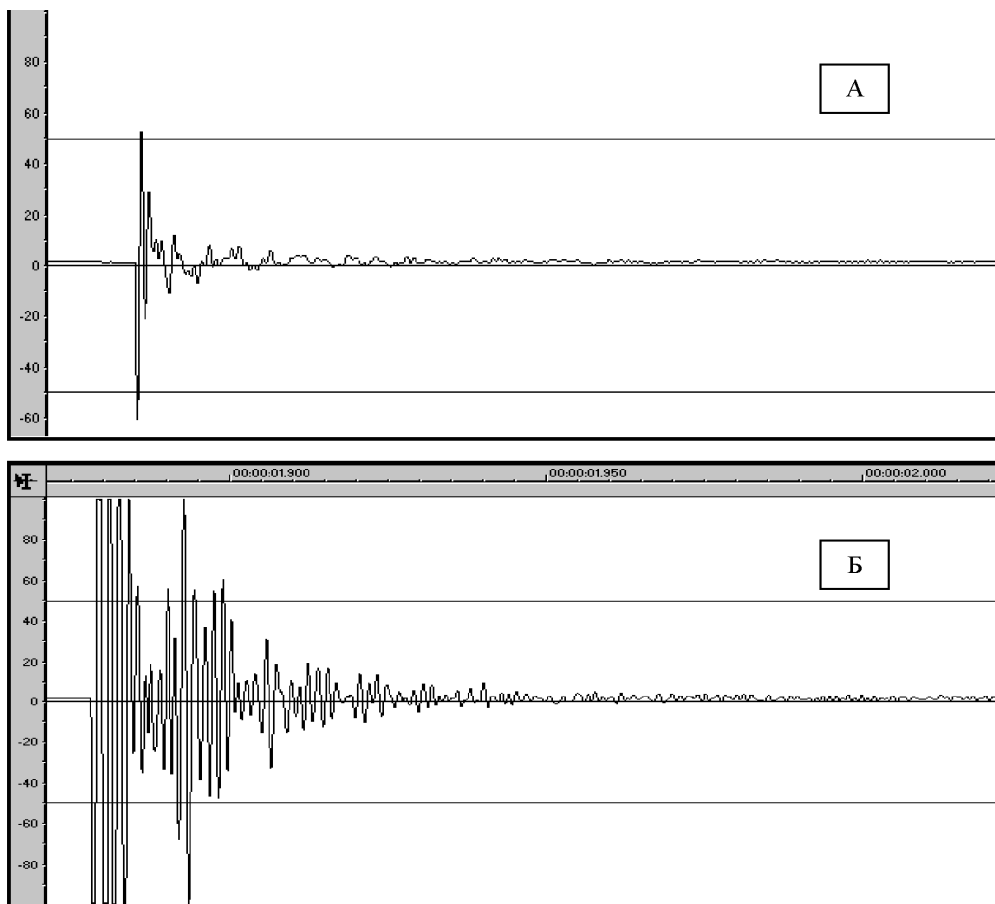


Рис. 2. Примеры сейсмоакустических осциллограмм для вариантов хорошего (а) и плохого (б) контактов «обделка-грунт»



Ударное возбуждение в случае ультразвуковых изысканий не позволяет получать сигналы со стабильными характеристиками и узким спектром, что важно для этого метода. Резонансное поведение обделки в этом случае выявлять не нужно, нарушение определяется по другим критериям. Поэтому излучение упругих волн и регистрация откликов производится с помощью

Рис. 3. Дефектоскоп «Монолит А1220»

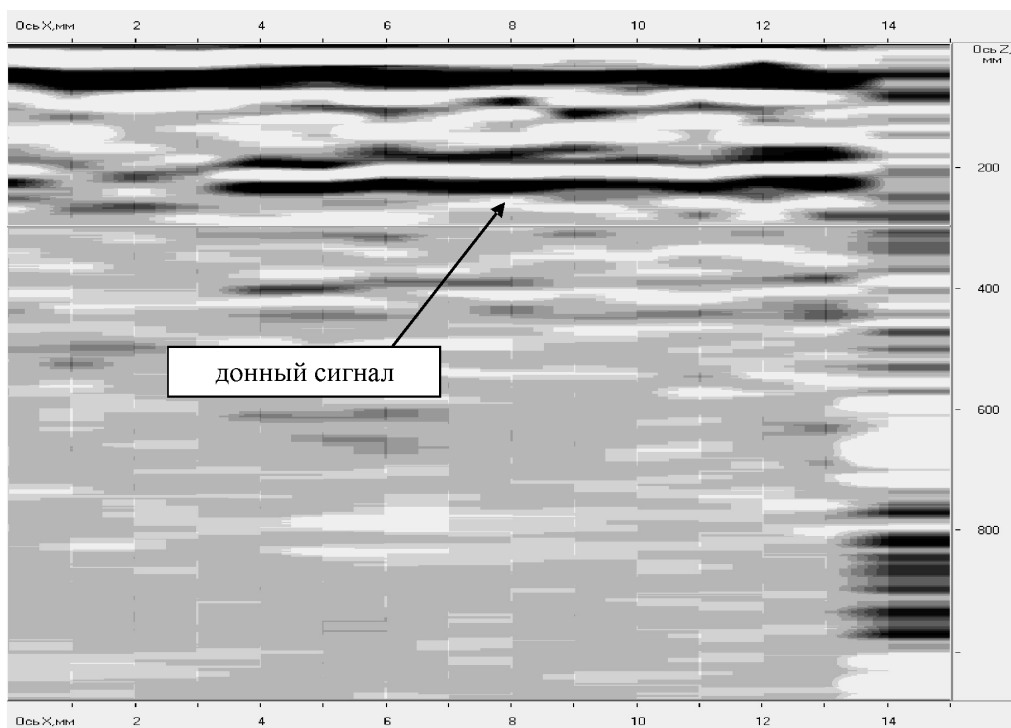


Рис. 4. Ультразвуковой Б-скан, снятый в области плохого контакта «обделка-грунт»

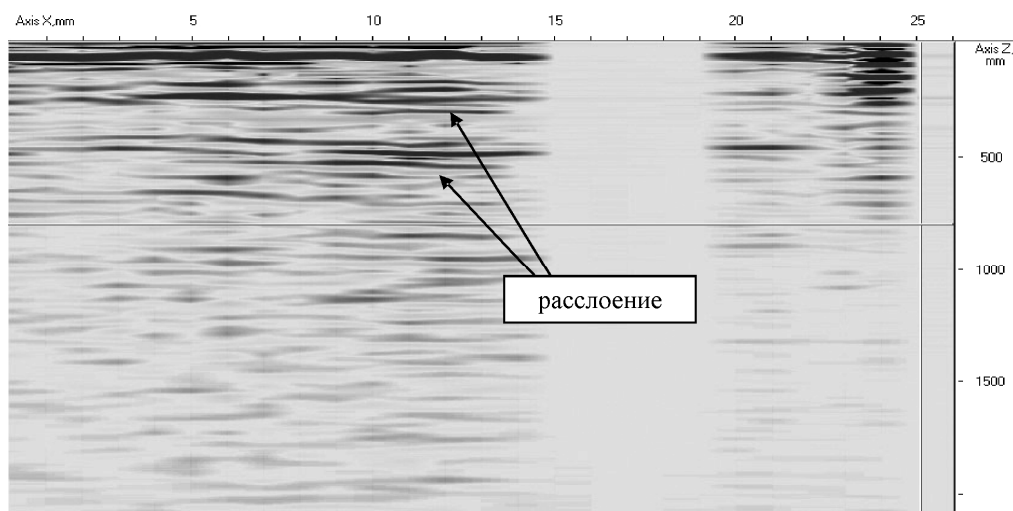


Рис. 5. Ультразвуковой Б-скан, снятый в области расслоения путевого бетона

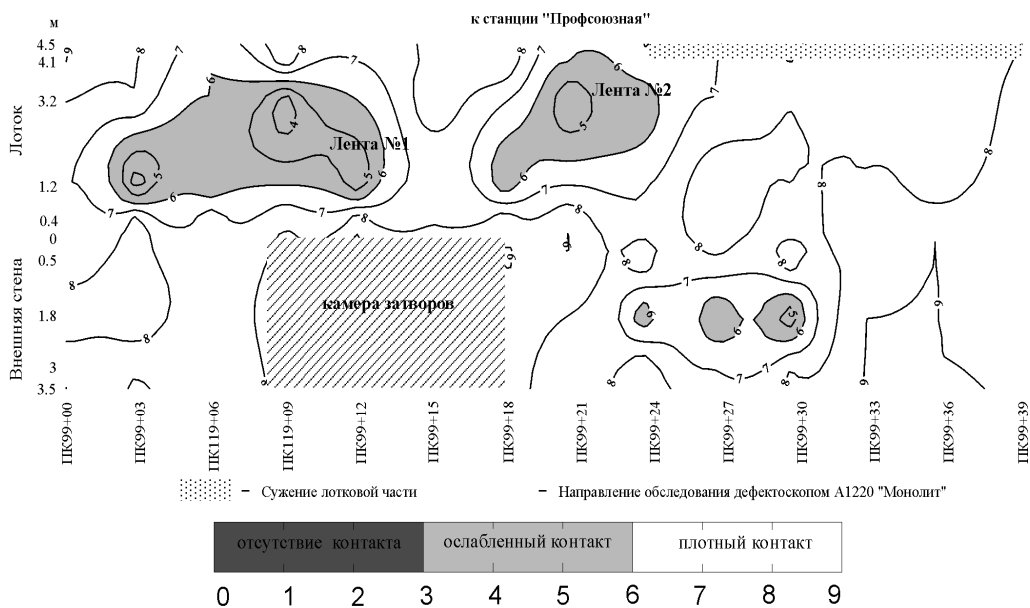


Рис. 6. Пример карты качества контакта «обделка-грунт»

антенной решётки представляющей собой матричный блок пьезокерамических элементов с точечным контактом (см. рис. 3).

При ультразвуковых измерениях главным критерием наличия разуплотнения за обделкой является присутствие в сигнале ярко выраженного донного отклика. В случае если контакт плотный, то упругая волна проходит сквозь границу «обделка-грунт» почти не отражаясь, что связано с малым контрастом акустических параметров двух сред. В случае отсутствия контакта волна фактически проходит через границу «обделка-воздух», контраст акустических параметров которой существенен. В результате большая часть энергии волны отражается назад на приёмник.

На рис. 4 приведён так называемый В-скан – ряд сигналов, снятых последовательно на точках профиля. Амплитуда здесь кодируется цветом (серая шкала), а значения времени от

начала сигнала (вертикальная ось) по известным значениям скоростей упругих волн пересчитываются в расстояния от поверхности. Горизонтальная ось - расстояние на профиле.

В левой части В-скана рис. 4 плохо просматривается слабый донный отклик, что говорит о плотном контакте обделки и вмещающего грунта. В средней части хорошо просматривается ось синфазности, сложенная высокоамплитудным донным откликом, что свидетельствует об отсутствии контакта обделки с грунтом.

Примером выявленного расслоения в путевом бетоне может послужить В-скан рис. 5. Этот результат получен на лотковой части тоннеля. Оценить здесь качество контакта границы «обделка-грунт» ультразвуковым методом сложно – граница находится за пределами возможностей прибора по глубинности (750 мм). Однако на меньших глубинах хорошо просмат-

риваются две оси синфазности, указывающие на расслоения в слое путевого бетона.

По результатам ультразвуковых обследований производилась коррек-

тировка карт оценок качества контакта «обделка-грунт», полученных по результатам изысканий с «ИДС-1». Пример скорректированной карты представлен на рис. 6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарбер В.А. Научные основы проектирования тоннельных конструкций с учетом технологии их сооружения. Часть 2. М., АО «ЦНИИС», 1996. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Вознесенский А.И. – аспирант, Московский государственный горный университет, инженер филиала ОАО ЦНИИС НИЦ «Тоннели и метрополитены»,

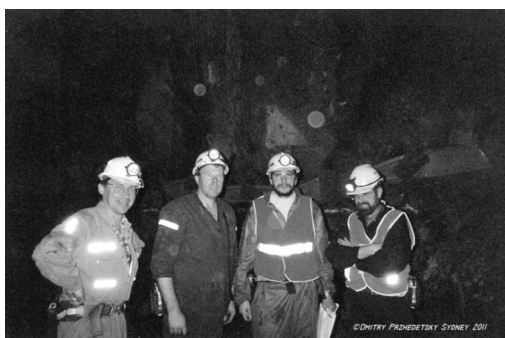
Набагов В.В. – кандидат технических наук, доцент, Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

Симонов Н.Н. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник филиала ОАО ЦНИИС НИЦ «Тоннели и метрополитены».

Ромашенко В.А. – инженер филиала ОАО ЦНИИС НИЦ «Тоннели и метрополитены».



По завершению работы я и несколько сопровождавших меня коллег-горняков оказались отрезанными от поверхности из-за того, что основной ствол был занят. Нам пришлось получить разрешение на выход через вентиляционный ствол, который, надо сказать, вместо клетки имел весьма примитивную подъемную корзину, кроме того, он еще и находился в другой части рудника. Так или иначе, мы выбрались на поверхность.



Д.Б. Пржедецкий на руднике Бикэнс-филд в 2000 году (третий слева)

Местные шахтеры привыкли к холодному (по сравнению с Сиднейским) климату Тасмании. Однако я помню, что холод пронизывал даже сквозь шерстяной свитер. Во мне до сих пор живы эти впечатления, в чем я лишний раз убедился, глядя на найденную в архиве фотографию.

Не знаю, как бы я себя чувствовал в тот момент, если бы знал, что через несколько лет – в 2006 году на этом руднике произойдет трагедия, новость о которой облетит весь мир. Впрочем, мне доводилось бывать на рудниках и после гибели людей... Об этом – в следующих выпусках.

Окончание. Начало на с. 124, 129, 172