



Крицкий Михаил Яковлевич окончил в 1973 г. факультет «Автомобильные дороги» Воронежского инженерно-строительного института. В 1978 г. пришел в научно-исследовательскую группу «Геология». В 1992 г. защитил кандидатскую диссертацию. Основные направления научной деятельности М.Я. Крицкого — обследование деформированных зданий и сооружений, разработка мероприятий по стабилизации их деформаций, усиление грунтов основания зданий и сооружений различными методами, лечение болезней земляного полотна железных и автомобильных дорог. С 1998 г. возглавляет лабораторию «Геология, основания, фундаменты и земляное полотно». Является действительным членом академии ЖКХ России.

УДК 625.122:624.131.54

М. Я. КРИЦКИЙ

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ВЫСОКИХ НАСЫПЕЙ НАД ВОДОПРОПУСКНЫМИ ТРУБАМИ

В районах с суровыми климатическими условиями железнодорожный путь подвержен специфичным деформациям. Одними из наиболее сложных деформаций являются осадки и расползание высоких насыпей над водопропускными трубами. В настоящей работе приводится опыт инженерно-геологического и геофизического обследования деформированных высоких насыпей над водопропускными трубами в Западной Сибири, описываются способы восстановления их эксплуатационной надежности.

В районах с суровыми климатическими условиями земляное полотно железных и автомобильных дорог подвержено специфичным деформациям. Одними из наиболее сложных таких деформаций являются осадки и расползание высоких насыпей над водопропускными трубами. Такого рода деформации наблюдаются и на вновь построенных железных дорогах [1], и на давно уже эксплуатируемой Транссибирской магистрали.

Основными факторами, определяющими характер деформаций высоких насыпей над водопропускными трубами, являются [2]:

- слабые грунты под насыпями, не выдерживающие их веса;
- неудовлетворительное качество грунта, из которого отсыпается насыпь;
- смачивание подошвы насыпи грунтовыми водами;
- деградация под насыпями вечной мерзлоты и др.

Во многих случаях деформации обуславливаются совместным влиянием нескольких факторов.

Одними из самых многочисленных и опасных деформаций являются растяжки труб с раскрытием швов между секциями. Развитие растяжки начинается во время или вскоре после отсыпки насыпи и в большинстве случаев основная ее часть проявляется в первые два года. У труб, в основании которых залегают оттаивающие вечномерзлые грунты, деформации продолжаются более длительное время. Растяжки средней части трубы обычно сопровождаются неравномерными осадками секций.

Осадка секций, в свою очередь, является следствием сжатия грунтов основания. Величина ее тем больше, чем выше насыпь и слабее грунты основания. Растяжки концевых участков и отжатие оголовков зачастую наблюдаются одновременно. Эти деформации связаны с подвижкой грунта в откосах

насыпи, которая может проявляться в виде оползания или оплывания (рис. 1), а также с горизонтальным давлением грунта насыпи на элементы оголовков [3].



Рис. 1. Оползание откоса насыпи над трубой на 101-м км автомобильной дороги Воронеж — Луганск

Скорость и характер растяжки труб и насыпей определяются пластическими свойствами грунтов и конструктивными особенностями сооружений.

Нарушения технических требований при отсыпке высоких насыпей способствуют активному развитию в них пластических деформаций. Основным и недопустимым видом этих нарушений является недостаточное уплотнение грунтов и повышенная их влажность, а также быстрая засыпка прогалов насыпей над трубами, вызывающая резкое увеличение нагрузки на трубу и развитие дополнительных горизонтальных усилий [4].

Как правило, высокие насыпи приурочены к пониженным участкам и депрессиям рельефа, логам, оврагам, балкам, служащими водосборами. Даже при сегодняшнем развитии техники зачастую отсыпка насыпи в таких местах производится с ее головы наклонными слоями без достаточного уплотнения. Анализ показывает, что и для недавно осыпанного земляного полотна наиболее частными причинами деформаций являются недостаточное уплотнение грунтов при отсыпке насыпей и некачественное ведение работ на подходах к искусственным сооружениям и над трубами [5].

Кроме того, состояние водопропускных труб и насыпей над ними зависит от условия протекания воды по трубе. Вода попадает в насыпь сквозь неплотности в зазорах между звеньями и вызывает разжижение и вымывание грунта, прилегающего к сооружению. При проникновении воды в насыпь происходит обводнение грунтов с изменением их свойств, что приводит к спывам и оползанию откосов, в результате чего возрастает давление на звенья и оголовки.

Нередки случаи, когда водопропускные трубы устраиваются не в месте расположения водотока, а там, где удобнее строителям. В дальнейшем оформляется новое русло, а старое засыпается. Опыт показывает, что в этом случае старые подрусловые потоки могут сохраняться. В результате в низовой части

насыпи создается взвешивающее гидродинамическое давление. Влажность земляного полотна и основания там, где поток имеет восходящее направление, возрастает, а устойчивость краевых участков откосов снижается [6]. Такая ситуация сложилась, например, на 3362-м км перегона Сокур — Мочище Западно-Сибирской ж. д., где фильтрация воды через тело насыпи является одной из причин непрекращающихся деформаций (рис. 2).

Нередки случаи, когда в результате расхождения швов между звеньями водопропускной трубы возникают суффозионные процессы, приводящие к появлению на поверхности насыпи воронок и провалов. Такие деформации, в частности, имели откосы насыпи над водопропускной трубой на 88-м км линии Алтайская — Бийск Западно-Сибирской ж. д. (рис. 3).

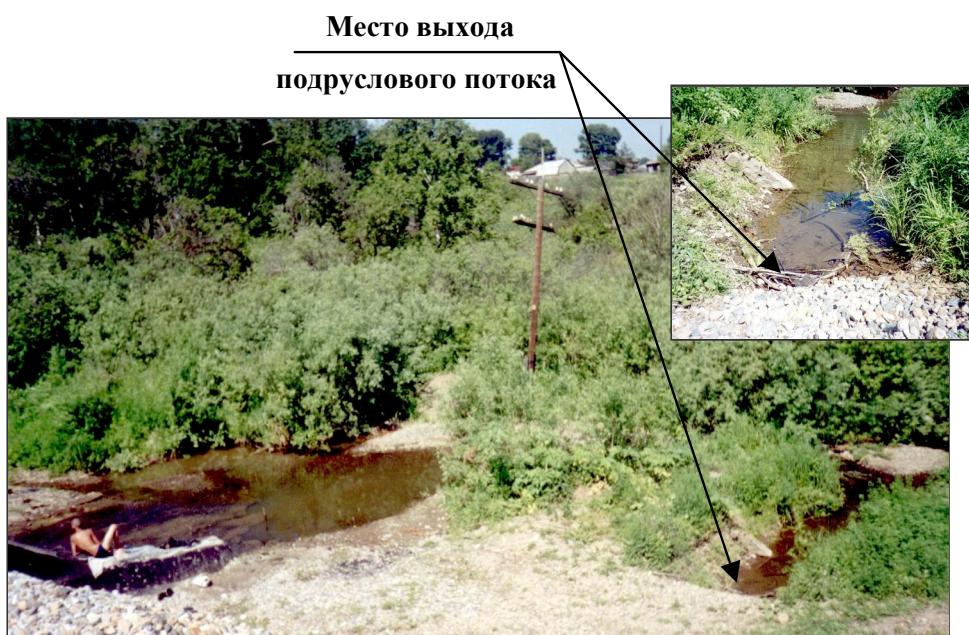


Рис. 2. Фильтрация воды через тело насыпи



Рис. 3. Воронки провалов в откосе насыпи над водопропускной трубой

Для разработки мероприятий по стабилизации деформированных насыпей важно правильно установить причину этих деформаций. Однако сложность задачи диагностики деформированного земляного полотна над водопропускными трубами не позволяет эффективно оценить техническое состояние земляного полотна одними традиционными инженерно-геологическими методами [7].

В сложившейся ситуации возможен комплексный подход, при котором наряду с традиционными методами диагностики широко применяется геофизическое обследование проблемных участков земляного полотна. Кроме того, очень часто сложность и разнообразие задач, возникающих при обследовании деформируемых насыпей над водопропускными трубами, не позволяет решать их с достаточной полнотой и точностью даже при использовании какого-либо одного из геофизических методов [8]. Более достоверную информацию, как правило, может дать лишь комплексный анализ результатов геофизических технологий, изучающих различные физические параметры исследуемых объектов. Этот анализ позволяет получать адекватную оценку процессов, протекающих в земляном полотне под воздействием подвижной нагрузки и влиянием природно-климатических факторов. Наиболее точные результаты, по нашему мнению, дает геомагнитное сканирование и сейсмические методы разведки.

Электромагнитное сканирование представляет собой новую высокоразрешающую технологию исследования приповерхностных слоев грунта до глубины, составляющей несколько десятков метров, с применением контролируемого электромагнитного излучения в диапазоне частот от 1 кГц до 1 МГц [9]. Этот метод предполагает использование более низкой, чем в георадарах, главной частоты спектра, поэтому практически не имеет ограничений, связанных с повышенной электропроводностью среды, и меньше зависит от приповерхностных неоднородностей. Электромагнитное сканирование позволяет эффективно решить многие вопросы, возникающие при диагностике деформируемых участков земляного полотна.

На рис. 4 представлено расположение пустот, полученное в результате электромагнитного сканирования упоминавшегося выше участка земляного полотна с провальными деформациями над трубой на 88-м км линии Алтайская — Бийск Западно-Сибирской ж. д. Разуплотненные участки за обделкой трубы обладают резко выраженной пониженной проводимостью, что позволило их достаточно точно оконтурить.

На рис. 5 представлен план электромагнитного сканирования участка земляного полотна с провальными деформациями над водопропускной трубой на ст. Жеребцово на 26-м км перегона Новосибирск — Сокур, полученный путеобследовательской станцией диагностического центра Западно-Сибирской ж.д. На плане четко видны аномальные зоны с ярко выраженным повышенным удельным сопротивлением, которые с поверхности не просматриваются.

Приведенные примеры показывают, что в тех случаях, когда есть четкая дифференциация слоев грунта по влажности (а следовательно и проводимости), когда требуется поиск мест расположения и конфигурации обводненных зон, исследование направления фильтрационных потоков, определение уровня грунтовых вод, их режима питания и т.д., данная методика дает наиболее полную и объективную информацию.

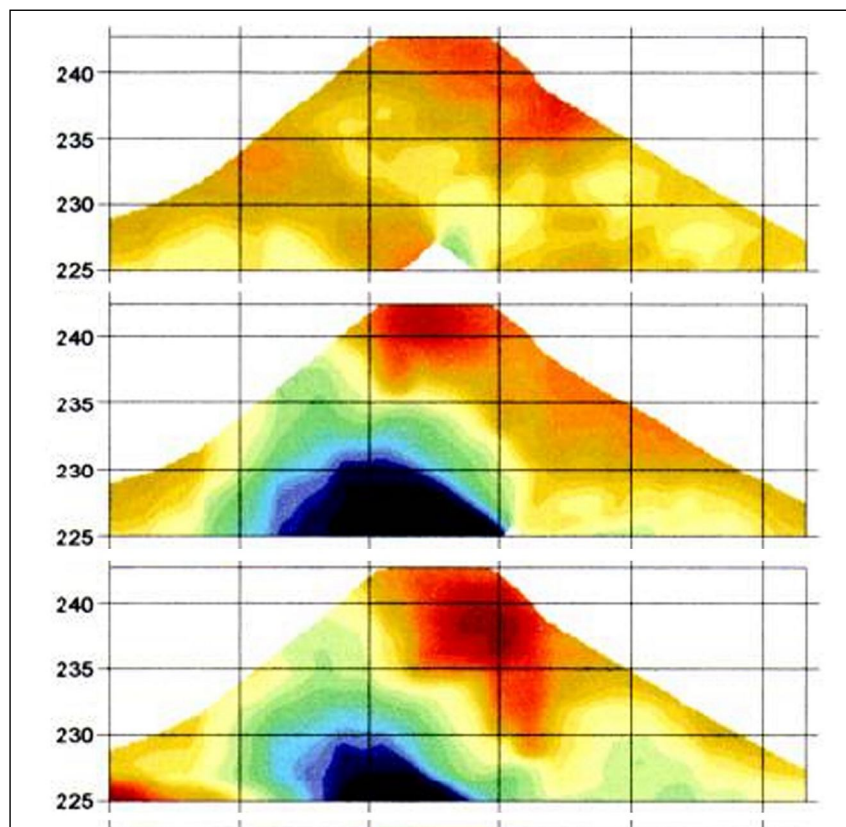


Рис. 4. Расположение пустот за обделкой водопропускной трубы на 88-м км линии Алтайская – Бийск Западно-Сибирской ж. д.

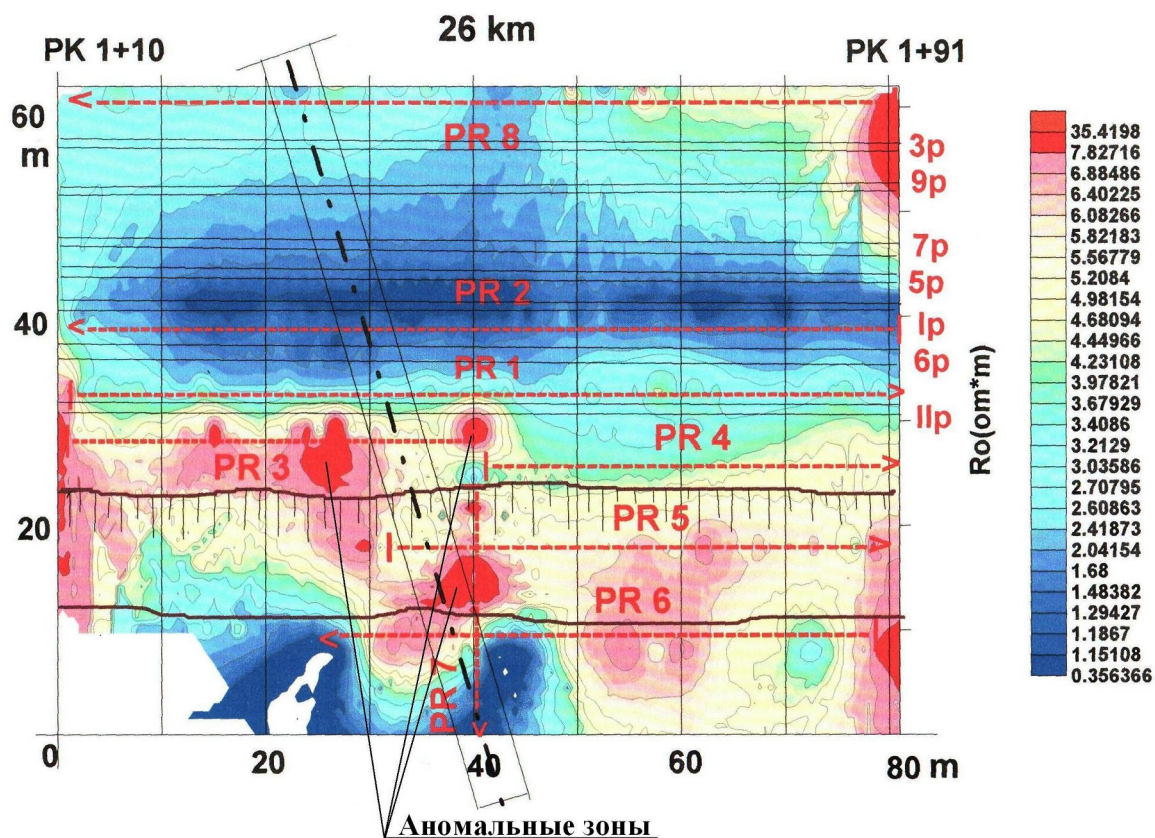


Рис. 5. План электромагнитного сканирования на 26-м км перегона Новосибирск – Сокур

Вместе с тем там, где требуется литологическое расчленение слоев грунта, близких по влажности, установление границ ослабленных зон, пустот, каверн и т. д., следует дополнительно привлекать другие геофизические методы, прежде всего сейсмические.

Сейсморазведка как метод диагностики состояния земляного полотна стала распространенной в значительной мере благодаря простоте интерпретации [10]. Получаемые сейсмотомографические разрезы позволяют с весьма высокой детальностью оценить строение насыпи по скоростям распространения продольных и поперечных волн, а также их отношений. При определенных условиях эти параметры могут быть использованы для прогноза физико-механических свойств грунтов, их вещественного состава, характера водонасыщения, для выделения нестабильных участков земляного полотна [11]. Сейсмотомографический метод обладает большой глубиной и позволяет выявлять в земляном полотне и основании различные напластования, простирающиеся ослабленных зон и положение коренных пород.

Недостатком сейсморазведки является трудоемкая технология полевых измерений и слабая мобильность. Однако при обследовании насыпей над водопропускными трубами возможности сейсмотомографии значительно расширяются, что делает ее предпочтительнее других технологий. Дело в том, что обычно при геофизическом обследовании земляного полотна сейсмотомографическим методом прием и возбуждение упругих колебаний осуществляются только на дневной поверхности. Если насыпь расположена над водопропускной трубой, появляется возможность использовать для обследования саму трубу, т. е. пространство внутри земляного полотна. Качество наблюдений повышается благодаря многократным перекрытиям сигналов. Дополнительно используются следующие системы наблюдений:

1. Возбуждение колебаний проводится на дневной поверхности по профилям вдоль оси пути (перпендикулярным оси трубы), прием колебаний осуществляется по окружности трубы. При этом линии возбуждения и линии приема должны располагаться в одной вертикальной плоскости.

2. Возбуждение колебаний проводится на профилях, расположенных параллельно оси трубы, на разных расстояниях от нее, прием колебаний осуществляется по образующей трубы (вдоль ее стенки).

3. Возбуждение колебаний осуществляется ударами кувалды по стенке трубы, прием колебаний осуществляется по образующей трубы (вдоль ее стенки). Такая система наблюдений позволяет более детально исследовать свойства грунтов непосредственно за обделкой трубы, определить в этой зоне пустоты и области разуплотнения.

Метод многократных перекрытий сигналов был с успехом использован при обследовании деформаций над линией метрополитена на перегоне ст. «Маршала Покрышкина» — ст. «Березовая роща» [12].

Отдельной задачей является восстановление эксплуатационной надежности насыпей над водопропускными трубами. Анализ материалов наблюдений за деформирующимися насыпями железных дорог показывает, что во многих случаях применение типовых общепринятых методов не дает надлежащего и долговременного эффекта.

Отсыпка контрбанкетов является надежным способом усиления откосов, однако они требуют больших объемов дренирующих грунтов и занимают значительные площади культурных земель в полосе отвода. Именно из-за дефицита площадей и дренирующих грунтов использование контрбанкетов на зарубежных дорогах ограничено. Кроме того, при использовании контрбанкетов во многих случаях необходимо удлинять водопропускные трубы, что составляет 40–70 % стоимости всего усиления [13].

В последнее время вторую жизнь на сети железных дорог России получили незаслуженно забытые габионные конструкции [14]. Они занимают меньшие площади, имеют хороший архитектурный облик, отвечают всем экологическим требованиям. В то же время их устройство связано с большими объемами ручного труда и предполагает наличие больших объемов дефицитного каменного материала.

От вышеназванных недостатков свободны армогрунтовые удерживающие конструкции [14, 15]. Они позволяют гораздо более эффективно выполнять стабилизационные мероприятия, экономить полезные площади и дорогостоящие дренирующие материалы.

Здесь необходимо отметить, что все перечисленные традиционные мероприятия не устраняют саму причину возникновения деформаций. Остается нерешенной проблема усиления ослабленных зон за обделкой и в основании трубы. Поэтому очень часто после возведения дорогостоящих удерживающих конструкций деформации продолжают продолжаться или переходят из одного вида в другой. Например, вместо оползневых деформаций, сплывов балластных шлейфов и т.д. начинают интенсивно развиваться суффозионные процессы, просадки, провалы, боковые подвижки пути.

Выход из сложившейся ситуации видится в активном внедрении инъекционных методов упрочнения и армирования грунтов, которые в последние 15–20 лет получили широкое распространение при усилении оснований зданий и сооружений. Такими методами в полной мере владеет НИЛ «Геология, основания, фундаменты и земляное полотно» СГУПС [16]. Пример использования метода напорных инъекций для стабилизации провальных деформаций земляного полотна приведен ниже.

Труба на 88-м км линии Алтайская – Бийск Алтайской дистанции пути сдана в эксплуатацию в 1914 г. и служит для пропуска сезонного водотока. Труба возведена из каменной (бутовой) кладки и имеет овоидальное поперечное сечение 4,3×4,1 м, проложена под насыпью высотой 21 м и имеет длину около 90 м. В 1958 г. при устройстве пруда со стороны входного оголовка труба была реконструирована. Оголовок был удлинен и выполнен в виде портала с сохранением прежней внутренней конфигурации. На входе был устроен водобойный колодец с недостроенным шлюзом для сброса воды.

Деформации в виде провалов в районе оси трубы объемами до 2,0 м³ на левом откосе насыпи регистрируются последние 7 лет. Осенью 2002 г. было выполнено электромагнитное сканирование насыпи с целью определения наличия в ней аномалий над водопропускной трубой. Сканирование проводилось аппаратурой «ИМПУЛЬС-С» точечной съемкой площади откоса насыпи с сеткой стоянок шагом 3,5×3,5 м над осью трубы. В результате обнаружена яркая аномалия строения насыпи, центр которой расположен в 6,0 м по ходу километров от оси

трубы. По характеру расположения аномалий можно предположить, что это наличие пустоты за левой боковой стенкой трубы, возникло вследствие значительного объема просыпания грунта в швы между секциями. На поперечном створе, расположенном в 7 м от оси трубы, по ходу километров видно распространение зоны разуплотнения на левый откос насыпи, где и фиксируются провалы.

В 2003 г. было принято решение произвести детальное обследование состояния насыпи и самой водопропускной трубы. Рекогносцировочным осмотром, выполненным в мае 2003 г. в рамках этого обследования, было установлено:

1. Из-за многолетнего выноса грунта за выходным оголовком образовалась дамба развитием вдоль оси трубы 185 м и высотой 2,2 м. Русло здесь имеет обратный уклон на большом протяжении и, как следствие, труба заполнена водой на высоту до 3–3,2 м.

2. На откосах насыпи над трубой обнаружены многочисленные воронки, большая часть которых частично или полностью засыпана щебнем. Наиболее ярко выражены 4 воронки на левом откосе насыпи и 2 — на правом (над выходным оголовком).

После откачки воды из трубы было установлено следующее:

1. Входной оголовок имеет в замке сквозную вертикальную трещину по оси трубы с раскрытием 2 см у портала и поперечную оси трещину с раскрытием 3–4 мм, расположенную на расстоянии 1 м от устья трубы.

2. Трещины в звеньях (секциях) не обнаружены, однако раскрытие швов до 10–15 см в средней части трубы и до 3–5 см на периферии позволяет утверждать, что произошла деформация в виде продольной растяжки трубы. Осадка звеньев не наблюдается.

3. Лоток заилен из-за оседания взвеси в заполненной водой трубе и вымывания грунта из тела насыпи. В семи межсекционных швах наблюдается суффозионный вынос грунта. Конусы выноса грунта здесь имеют размеры по высоте до 1 м и по горизонтали до 3,5 м.

Полученные результаты позволили запроектировать стабилизационные мероприятия по заполнению пустот и уплотнению ослабленных зон. Проектом стабилизации деформаций насыпи и самой трубы были предусмотрены следующие мероприятия:

1) очистка и конопатка швов промасленной ветошью и древесиной с последующей затиркой штукатурным раствором;

2) инъектирование цементно-песчано-глинистого раствора в затрубное пространство через заделанные в швах специальные патрубки;

3) уплотнение грунта в ослабленных областях земляного полотна напорными инъекциями вяжущего раствора.

Схема ликвидации пустот и разуплотнений в насыпи над трубой приведена на рис. 6. Работы выполнены в 2003 г. За объектом установлено наблюдение. До настоящего времени никаких признаков возобновления деформаций не обнаружено.

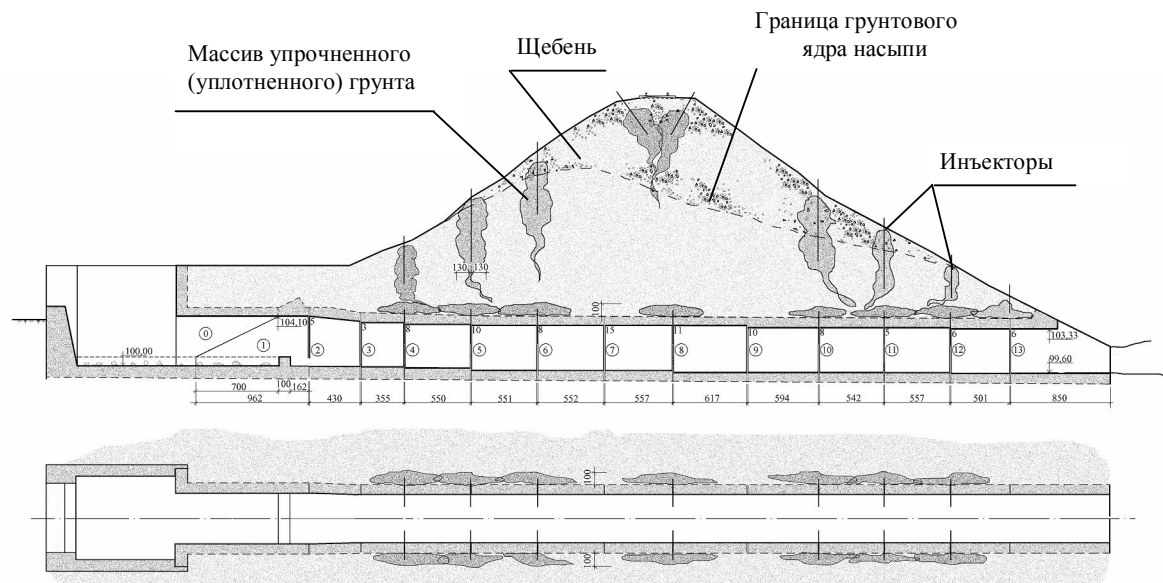


Рис. 6. Схема ликвидации разуплотнений в насыпи над трубой на 88-м км линии Алтайская — Бийск

Литература

1. Лобанов И.З., Пусков А.В., Крицкий М.Я. Деформации водопропускных труб БАМ железной дороги на оттаивающих основаниях из вечномёрзлых грунтов // Совершенствование искусственных сооружений на железных дорогах. Новосибирск, 1991. С. 46–59.
2. Гнедовский В.И. Трубы под железнодорожными насыпями. М.: Трансжелдориздат, 1938. 267 с.
3. Водопропускные трубы под насыпями / Е.А. Артамонов, Е.С. Клейнер, Р.Е. Подвальный и др.; Под ред. О.А. Яновского М.: Транспорт, 1982. 232 с.
4. Большаков С.М., Обозинский С.М., Потатыева Т.В. Деформации насыпей и водопропускных труб в районах сурового климата // Транспортное строительство. 1965. № 12. С. 35–37.
5. Яриз А.П. Анализ состояния земляного полотна // Ремонт и содержание земляного полотна. Обзорная информация. Вып. 3. М., 1988. С. 2–21.
6. Коган А.Я., Дыдышко П.И., Шарапов С.Н. Повреждения и возможности стабилизации железнодорожного основания // Железнодорожный транспорт. 1995. № 2. С. 30–36.
7. Крицкий М.Я., Тригубович Г.М. Проблемы диагностики земляного полотна транспортных магистралей в современных условиях // Научный вестник ВГАСУ. Сер. Дорожно-транспортное стр-во. Воронеж, 2005. Вып. № 4. С. 90–95.
8. Методические рекомендации по геофизическому обследованию насыпей железных дорог. М.: Стройиздат, 1975. 73 с.
9. Тригубович Г.М. Импульсная индуктивная электроразведка при исследовании сложно построенных сред: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1999. 40 с.
10. Коншин Г.Г. и др. Методические указания по способам сейсмического контроля эксплуатационного состояния железнодорожного полотна. М., 1985. 46 с.
11. Канарейкин Б.А. и др. Опыт использования сейсмотомографии при изучении строения железнодорожных насыпей // Изв. вузов. Стр-во. 1993. № 1. С. 133–139.
12. Отчет «Сейсмотомографическое исследование физико-механических характеристик грунтов левого перегона тоннеля ст. «Маршала Покрышкина» — ст. «Березовая роща»». Новосибирск: СНИИГГиМС, 2003. 76 с.
13. Яковлева Т.Г. Обеспечение эксплуатационной надежности насыпей // Обеспечение эксплуатационной надежности земляного полотна железных дорог. СПб., 1991. С. 22–26.
14. Альбом чертежей конструкций групповых технических решений для усиления деформирующихся насыпей / МПС РФ, МГУПС. М., 2002. 77 с.
15. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. М.: Транспорт, 1999. 405 с.
16. Крицкий М.Я. Нетрадиционные технологии лечения болезней земляного полотна // Научный вестник ВГАСУ. Сер. Дорожно-транспортное стр-во. Воронеж, 2004. Вып. № 2. С. 90–97.