

ренных через каждые 0,25 м геометрических параметров пути, результатов анализа измерений профиля рельсов, а также показателей качества геометрии пути и исключительных мест.

Эволюция геометрии пути

Соответствующие отчеты содержат информацию об изменениях во времени показателей качества геометрии пути и исключительных мест в масштабах всей страны.

Оценка работ по текущему содержанию пути

Соответствующие отчеты содержат информацию об оценке работ по текущему содержанию пути, выполненной путем сопоставления результатов измерений с результатами работ по текущему содержанию пути, таких, как подбивка балласта, шлифовка рельсов и т. п. Необработанную информацию можно использовать также при проведении научно-исследовательских работ и в качестве основы для моделирования.

W. Hanreich. Glasers Annalen, 2005, special edition, p. 17 – 26.

Эффективность и экологические аспекты уплотнения грунта акрилатными гелями

Уплотнение грунта вблизи различных объектов с помощью гелей уже более 20 лет практикуется при строительстве подземных сооружений. На железных дорогах Германии (DBAG) с 1983 г. успешно применяются инъекционные технологии введения в грунт гидроструктурированных смол. При этом, однако, остается открытым вопрос о длительной надежности введенного материала и его экологической безопасности. Инъекционные технологии были, в частности, использованы при восстановлении железнодорожного моста в районе г. Неккаргерах и плотины водохранилища у Нойштадта.

Инъекционная технология в настоящее время стала привычным элементом строительного процесса при сооружении инженерных объектов. Это технически и экономически оптимальный способ уплотнения, обеспечивающий надежную эксплуатацию объектов. Применяемые для инъекций материалы и технологии постоянно совершенствуются, а доверие к ним растет по мере увеличения числа успешно реализованных проектов.

Наряду с известными инъекционными материалами все чаще используют гидрогели, называемые еще гидроструктурированными смолами. Все гели, вступая в химические реакции, образуют желатиноподобные продукты. Вследствие крупноцеистого химического сшивания и наличия водоактивных боковых цепей продукт реакции сохраняет мягкоупругую гидроструктуру (отсюда второе название —

гидроструктурированные смолы). В качестве промежуточных элементов полимерной цепи действует поглощаемая вода, поэтому продукты называются еще и гидрогелями.

Новейшие гидрогели имеют следующие свойства:

- **реакционная способность** — материал представляет собой двухкомпонентную композицию, которая отверждается в течение небольшого промежутка времени, поддающегося регулированию. Благодаря этому реакция отверждения в основном не зависит от внешних условий;
- **упругость** — продукт реакции представляет собой мягко-упругое твердое тело, деформирующееся в большом диапазоне; дефекты сшивания компенсируются набуханием;
- **адгезия** — гидрогели имеют хорошее сцепление почти со всеми поверхностями; влажность и загрязнение, не образующие пленки, как правило, не создают проблем;
- **поведение при контакте с водой** — быстро сшивающийся продукт реакции не реагирует на воду. Некоторые гидрогели, обладающие определенной реакционной способностью, могут отверждаться под водой, при этом не происходит их разбавления или образования пены, достигается водонепроницаемость, присущая бетону;
- **изотропное расширение (увеличение объема)** — после отверждения гидрогель заполняет объем, в который его вводили. При последующем поступлении воды гидрофильный продукт набухает до насыщения. Образующая боковые цепи свободная вода де-

лает процесс набухания обратимым. Если этому процессу воспрепятствовать, развивается небольшое давление прижатия, которое способствует заполнению материалом трещин, швов, полостей, уплотняя их;

- **долговечность** — гидрогели в течение длительного времени устойчивы к воздействию обычных строительных материалов и многих типичных для грунтов химических веществ;

- **совместимость с окружающей средой** — допустим контакт компонентов гидрогелей и продуктов отверждения с грунтовыми водами и питьевой водой; согласно нормам КТВ (комитета по туризму и путешествиям) гидрогели могут быть использованы для герметизации водоемов.

Гидрофильный, изотропно увеличивающийся в объеме герметизирующий продукт разработан специально для создания инъекционных завес в строительных грунтах. В противоположность инертным инъекционным материалам гидроструктурированные смолы в состоянии следовать за изменениями размеров объекта. Благодаря этому обеспечивается оптимальное уплотнение подверженных вибрациям грунтов.

В отношении экологии водной среды особо подчеркивается совместимость с ней гидрогелей некоторых марок. Результаты испытаний, проведенных рабочей группой по питьевой воде министерства здравоохранения Германии, подтвердили допустимость применения гидрогелей для гидроизоляции больших поверхностей по классификации D1. Незначительная вымываемость является дополнительным доказательством длительной стойкости стабилизированного гидрогеля.

Для оценки стойкости акрилатных продуктов можно привести многочисленные примеры практики их применения в надземном строительстве: для заделки швов, нанесения покрытий и т. д. Действие таких факторов, ускоряющих старение, как, например, ультрафиолетовое излучение и колебания температуры, на материал, находящийся в грунте, незначительно. При этом акрилатные продукты устойчивы к химическим воздействиям, типичным для почв. Таким образом, факторы окружающей среды дополнительно способствуют продлению сроков службы герметизирующих завес. Это подтверждается практикой герметизации ряда объектов на DBAG, в частности путепровода в Неккаргегах.

Ремонт путепровода в Неккаргегах

В районе г. Неккаргегах двухпутная железнодорожная линия проходит над автомобильной дорогой по путепроводу, построенному из красного песчани-

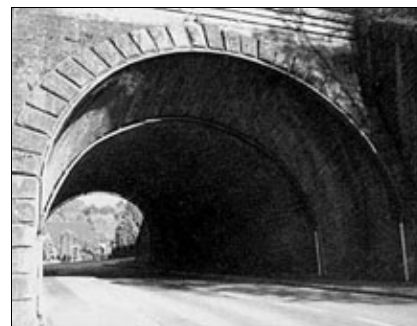


Рис. 1. Путепровод в Неккаргегах после ремонта

ка в 1877 г. Ширина пролета составляет примерно 13 м, высота в свету — 7 м.

К концу 1980-х годов свод, опоры и боковые поверхности моста уже имели значительные повреждения от выветривания. Воздействие влаги и морозов привело к тому, что отдельные облицовочные блоки выпали. После технической и экономической экспертизы было решено провести общий капитальный ремонт путепровода с использованием гелевой инъекционной технологии.

На ремонт путепровода потребовалось 12 лет. Дожливая осень 1998 г. упростила проверку герметичности: даже после дождей, не прекращавшихся в течение недели, слой геля остался плотным, а нижняя часть моста сухой. За прошедшие годы рекламации к состоянию моста не предъявлялись (рис. 1).

Чтобы обеспечить стойкость гидроструктурированной смолы, необходимо поддерживать влажность на уровне, соответствующем состоянию насыщения. Практика показала, что для этого достаточно естественной влажности грунта, при которой сохраняется стабильный объем гидроструктуры.

Многим специфическим требованиям потребителей в большей степени отвечают гидрогели, армированные полимерами. Поглощающая способность таких продуктов значительно выше, чем обычных гидроструктурированных смол. Гидрогели нового класса можно применять при больших колебаниях температуры, а также на объектах, где деформации или действие внешних нагрузок вызывают экстремальные перемещения, которым не в состоянии противостоять другие упругие инъекционные материалы.

Укрепление плотины водохранилища

Примером использования гидроструктурированных смол нового поколения, армированных полимерами, является отремонтированная плотина хранилища питьевой воды в Нойштадте под Нордхаузенем. Она построена из бутового камня в 1905 г., является старейшей в Тюрингии и охраняется как памятник.

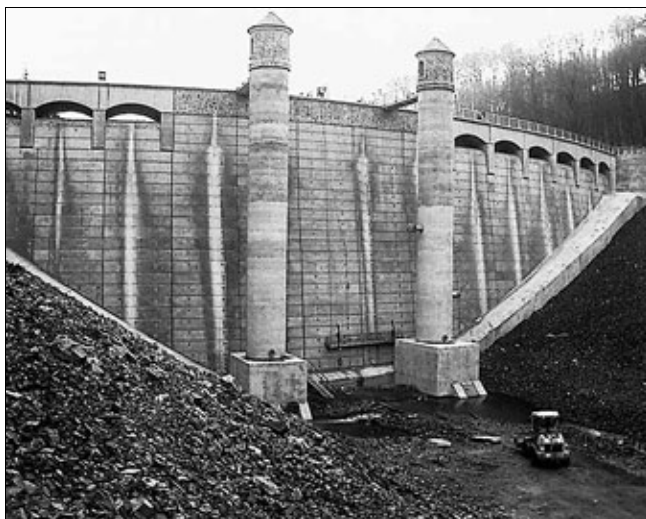


Рис. 2. Вид плотины с напорной стороны во время инъекционных работ

Плотина, перегораживающая долину, расположена в Южном Гарце на высоте 420 м над уровнем моря, имеет длину 134 м и высоту 32 м (рис. 2).

В 1999 г. был начат ее капитальный ремонт с целью продления срока службы еще на 80 – 100 лет. Концепция ремонта предусматривала следующее:

- герметизацию плотины со стороны водохранилища с помощью прилегающей уплотнительной стенки из асфальтобетона;
- ремонт и герметизацию основания низовой стороны;
- строительство контрольного прохода у основания плотины;
- сооружение водозабора из обсадных труб взамен существующего башенного;
- реконструкцию донных водоспусков, водозаборных устройств и паводковых водосбросов;
- ремонт гребня плотины и низовой грани.

Уплотнительная стенка из асфальтобетона, возведенная с напорной стороны, снабжена дренажными и защитными устройствами из бетона. Уплотнение



Рис. 3. Испытательная площадка для опробования инъекционной системы

такого типа известно давно и хорошо зарекомендовало себя, однако в данном приложении его функциональность еще не была полностью доказана.

При опробовании нового уплотнения после завершения работ были выявлены значительные утечки воды, вызванные просачиванием. Величина утечек превышала допустимые нормы, установленные заказчиком. Причиной просачивания могла быть неомогенность асфальтобетона, однако в этом случае утечки были бы локальными. Поскольку поверхность уплотнительной стенки площадью около 3000 м² покрыта бетоном, точно установить места утечек не удалось. Необходимо было полностью разобрать защитное бетонное покрытие, чтобы выявить места повреждения асфальтобетона и устранить их, или найти другое решение.

Возможные альтернативные решения должны были отвечать следующим требованиям:

- заметно не изменять архитектуру плотины;
- основываться на использовании материалов, долговечность которых не ниже, чем асфальтобетона, разрешенных для контактирования с питьевой водой и имеющих низкую вязкость. Последнее позволяет заполнять повреждения в асфальтобетоне и полости, которые по технологическим причинам возникают между ним и защитным слоем;
- исключить возможность проникновения армирующего материала через неплотности в зону бетонного дренажа с контрольными трубопроводами и в контрольную шахту в основании плотины.

При выборе метода было решено, что перечисленные требования лучше всего выполнить введением в асфальтобетон полимерных акрилатов с помощью инъекций. Выполнение таких работ регламентируется специально разработанными DBAG указаниями по планированию и реализации мероприятий по инъекциям гелей.

На экспериментальной площадке, оборудованной у плотины (рис. 3, 4), строители выполнили пробные инъекции гидроструктурированной смолы марки MC-Injekt GL-95TX, чтобы одновременно с проверкой эффективности самого продукта освоить используемое оборудование. При этом были решены следующие задачи:

- оптимизация расположения инъекционных головок;
- определение максимальной производительности инъекционной головки и времени отверждения продукта;
- оценка текучести продукта в зависимости от скорости его подачи, давления и темпа отверждения;
- проверка работы и освоение инъекционных головок различных типов;
- корректировка технологической документации на инъекционное оборудование с учетом условий эксплуатации;

- опробование изоляционного материала для оптимального заполнения швов между готовыми железобетонными элементами;

- проверка метода очистки поверхностей от выдавливаемого наружу изоляционного материала.

Эксперименты подтвердили правильность теоретических предпосылок. Было установлено также, что частичные или общие разрушения слоя асфальтобетона можно устранять простыми техническими средствами, не требующими значительных расходов. Работы проводили в следующем порядке:

- установка строительных лесов;
- бурение по заданной сетке колонковых отверстий диаметром 25 мм в железобетонных элементах для размещения инъекционных головок;
- изоляция вертикальных и горизонтальных швов между элементами;
- инъектирование гидроструктурированных смол;
- отвод инъекционных головок, предварительное удаление геля с краев отверстий, заливка в отверстия специального раствора;
- снятие излишков изолирующего материала в зоне стыков железобетонных элементов;
- очистка элементов.

После завершения инъекционной обработки в зоне уплотнительной стенки (до высоты 4 м) начали создавать подпор воды. На обработанной поверхности не были обнаружены заметные места просачивания, а выше отметки 4 м утечки были значитель-



Рис. 4. Керн, взятый из опытной системы бетонная панель — асфальтобетон (правая часть — слой асфальтобетона, уплотненного гидроструктурированной смолой)

ными. Это стало последним доказательством эффективности инъекционной герметизации гидроструктурированной смолой.

На основе успешно проведенных пробных инъекций было принято решение о герметизации этим методом всей поверхности плотины. По завершении работ водохранилище заполнили до уровня, соответствующего состоянию на 5 декабря 2002 г. Требования по соблюдению норм утечек и просачивания воды были выполнены.

R. Angst, H. Graeve. Eisenbahningenieur, 2004, № 7, S. 44 – 49.

Динамические свойства резиновых рельсовых подкладок

Для оптимизации статического и динамического поведения пути между рельсами и шпалами помещают подкладки. Требования, предъявляемые к ним, определяются в основном взаимодействием подвижного состава и пути, а также уровнем излучаемого шума качения. В берлинском техническом университете проведены экспериментальные исследования упругих подкладок типа ZW 700, выпускаемых компанией Saargitmi (SGW). Эти исследования были направлены на изучение поведения резиновых подкладок при нагрузках с низкой, средней и высокой цикличностью. Дополнительно рассмотрена математическая модель взаимодействий в системе подвижной состав — путь, предназначенная для проведения расчетов и определения параметров материала упругих подкладок.

Совершенствование рельсовых подкладок играет важную роль в связи с возрастающими нагрузками на путь и подвижной состав и шумом, излучаемым в процессе качения колес по рельсам. Подкладки являются единственным элементом пути, который без особых проблем можно выборочно заменять в эксплуатации, а также полностью при изменившихся условиях эксплуатации.

При динамическом моделировании пути подрельсовую подкладку представляли ранее в виде параллельного соединения пружины и демпфера. Результаты расчета коэффициентов жесткости и упругости такой системы приводились во многих исследованиях, однако при этом оставался неясным вопрос о том, какое затухание должно использоваться в модели в сочетании с комплексной жесткостью — вязкостное или структурное. Оставались также не-