

ОТ БОЛЬШЕГО К МЕНЬШЕМУ – ИННОВАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ НА НЕБОЛЬШИХ ПРОЕКТАХ

А. Дж. ПАУДЭРХЭМ – д-р техн. наук, директор по транспорту компании «Mott MacDonald Group», член Королевской инженерной Академии наук, г. Лондон, Великобритания.

Лекция, прочитанная на XIII Дунайско-Европейской конференции по геотехнике в Любляне, Словения (29–31 мая 2006 г.).

Рассмотрен процесс введения инноваций в гражданском строительстве с учетом типичных преимуществ и ограничений. К ним относятся вопросы надежности, управления рисками и желание быть уверенными в результате. Возможность того, что предполагаемые изменения выходят за рамки соглашений и установленных предписаний, чаще всего вызывает беспокойство и сопротивление инновациям. Представлен случай из практики, иллюстрирующий решение этих проблем.

Подчеркивается важность слаженной работы группы и постепенного перехода к управлению рисками. На случай непредвиденных обстоятельств (а не для их предотвращения) предлагается применение метода наблюдений для анализа возможных последствий использования инновационных технологий. Проект предусматривал применение «слепых» распорок с проведением земляных работ с лазерным контролем в качестве альтернативы традиционным системам раскрепления.

ВВЕДЕНИЕ

Чрезвычайно важно поддерживать высокий уровень надежности проектов, особенно в процессе строительства, когда необходимо учитывать возможные последствия использования тех или иных методов проектирования и строительства. Это следует учитывать при любом усовершенствовании посредством введения инноваций или стоимостного проектирования. В большинстве случаев внедрению инноваций препятствуют врожденный консерватизм и желание получить определенный результат. Поэтому именно кризис может стимулировать внедрение новых технологий (о чем свидетельствует, например, категория Пека «лучший выход» применительно к методу наблюдений – Peck, 1969). Однако при выполнении проекта это трудно назвать оптимальным решением. Инновации часто способствуют уменьшению риска и увеличению уверенности в результате (Peck & Powderham, 1999; Powderham, 2002), это автор понял на собственном опыте.

© А. Powderham, 2006

Приведенный ниже случай из практики показывает, как решаются вопросы, связанные с инновациями и рисками. Здесь описывается дорожный туннель, расположенный рядом со взлетно-посадочной полосой (ART) в аэропорту Хитроу, при строительстве которого применение метода наблюдений сыграло решающую роль. Строительство ART – большой проект, в данной статье особое внимание уделено сооружению порталов открытым способом. Исходя из любого возможного применения метода наблюдений необходимо рассматривать каждый портал как группу отдельных элементов. Они рассматриваются как набор небольших проектов, поскольку важно выявить преимущества для каждого элемента. Применение метода наблюдений при сооружении ART подробно описано в работах Hitchcock (2005), Powderham, Rust D'Eye (2003).

1. СЛУЧАЙ ИЗ ПРАКТИКИ

Аэропорт Хитроу находится в собственности и управляется компанией ВАА. В настоящее время происходит его значительное

расширение, в том числе строится новый терминал. Возведенный в 2005 г. дорожный туннель, расположенный рядом со взлетно-посадочной полосой ART, является важным стратегическим элементом развития аэропорта и имеет две основных функции. В краткосрочной перспективе, до открытия Терминала 5 (Т5), он будет обеспечивать беспрепятственный доступ к отдаленным местам стоянки самолетов, уменьшая интенсивность движения транспорта по поверхности поля. В долгосрочной перспективе ART станет частью общего транспортного пути между зоной центрального терминала Хитроу (СТА) и Т5 (рис. 1).

ART представляет собой сооружение длиной 1,2 км, состоящее из двух одинаковых туннелей, расположенных с востока на запад между двумя порталами (рис. 2). Стоимость проекта – 140 млн фунтов стерлингов, за его строительство отвечала компания ВАА, которая применяла интегрированный командный подход (Powderham, Rust D’Eye С, 2003).

Конструкции порталов спроектированы и построены с учетом требований программы бурения туннелей. Для проходки туннелей использовалась машина сбалансированного давления ТВМ диаметром 9 м (Darby, 2003). Для размещения, установки и извлечения

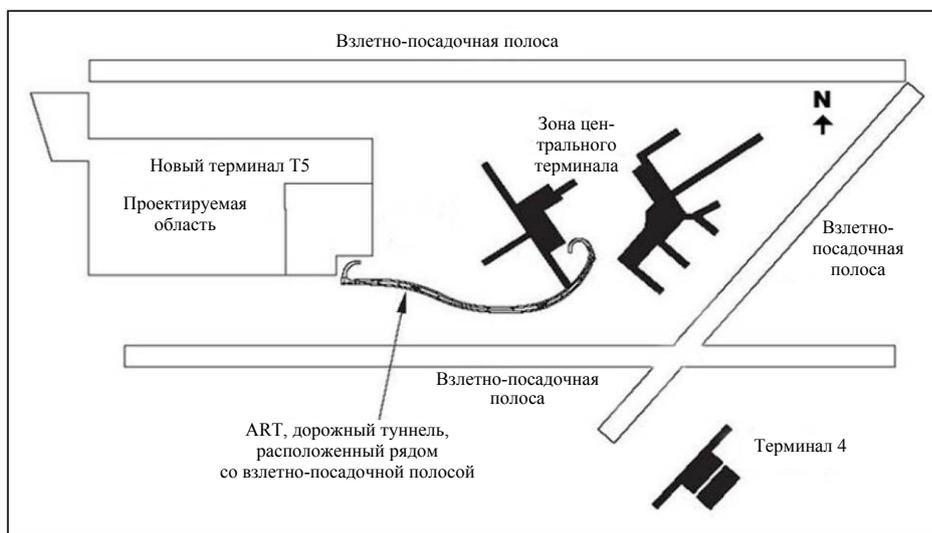


Рис. 1. План аэропорта



Рис. 2. План аэропорта Хитроу с туннелем ART

такой большой машины потребовалось соорудить 17-метровый котлован между смежными шпунтовыми стенами большого диаметра. Проходка туннеля велась в две стадии – с июня 2002 г. до июня 2003 г., причем в обоих случаях – от западного портала к восточному.

Площадка западного портала была ограничена местами стоянки самолетов и границей существующего петлеобразного туннеля метро (линия Пиккадилли), построенного в 1984–1986 гг. и находящегося в ведении Лондонского метро (LU). Туннель проходит под западным порталом в двух местах (см. рис. 2, 3), это 4,1-метровый сегментный сборный бетонный туннель. В местах пересечения котлован находился меньше чем на 5 м выше туннеля метро. Это накладывало ограничения на длину свайной стенки: острие свай не должно входить в 3-метровую зону отчуждения, установленную вокруг всех туннелей лондонского метро. Во время строительства ART все службы аэропорта, а также линия Пиккадилли должны были функционировать в обычном режиме.

Портал (см. рис. 3) состоит из камеры запуска машины TBM, секции, возводимой от-

крытым способом, пересечения и съезда. Все эти элементы по отдельности анализировались с помощью метода наблюдений.

2. ГРУНТОВЫЕ УСЛОВИЯ

Грунтовые условия в аэропорту Хитроу хорошо известны по документам, отражающим 4 стадии исследования грунта (с 1995 по 2000 г.) в ходе проектирования терминала T5. Была создана база данных по T5, объединенная с данными прежних исследований, в том числе геотехнических изысканий, проходивших до и после аварии в тоннеле Хитроу Экспресс (HEX) в 1990 и 1995 гг., которая включала всю доступную информацию (Hitchcock A.R., 2005).

Для ART грунтовые условия в основном представлены 5-метровым слоем террасного гравия, под которым залегает пласт лондонской глины (табл. 1). Под глиной находятся грунты группы Lambeth и верхние меловые породы. Грунтовые воды обычно находятся на глубине 2 м от поверхности, в слое террасного гравия. При проектировании основания ART использовалась лондонская глина.

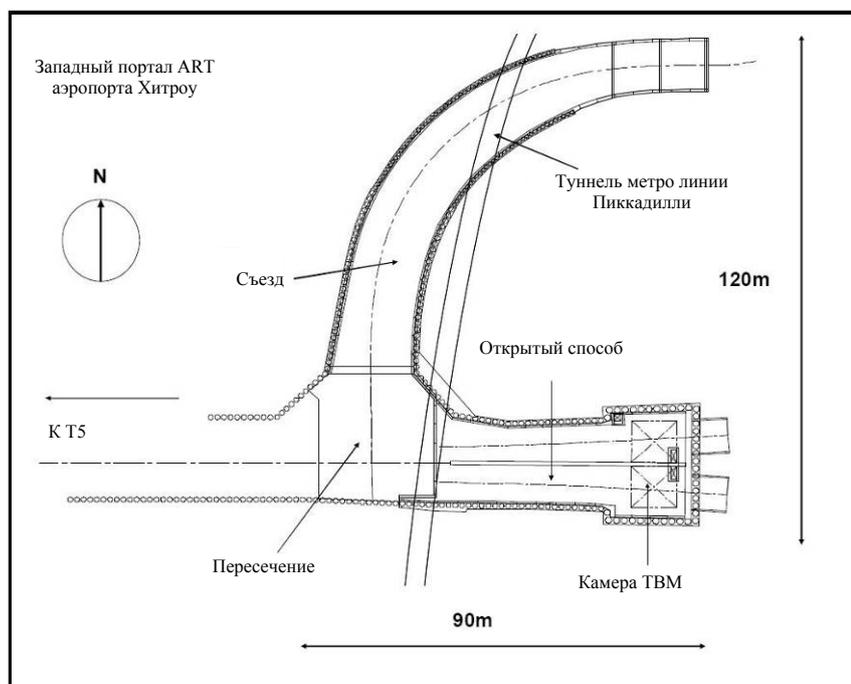


Рис. 3. План западного портала ART

3. ОСНОВНОЙ ПРОЕКТ

Основной проект конструкций порталов ART был выполнен в 2000–2001 гг., сначала проектировался западный портал, затем – восточный, в том же порядке, как они строились. Согласно требованиям компании ВАА, следовало найти максимально надежное и экономичное техническое решение в соответствии с программой бурения туннелей. Производство работ должно было оказывать минимальное влияние на функционирование как взлетного поля, так и лондонского метро. Простота и надежность стали основными критериями достижения безопасности, улуч-

шения качества и упрощения строительства. Проект обоих порталов предполагал использование одинаковых методов строительства, заводов и оборудования. Были стандартизованы размеры конструктивных элементов, применялись одинаковые поперечные размеры.

3.1. Последовательность строительства

Для сооружения камеры запуска западного портала ТВМ открытый способ строительства представлялся наилучшим с экономической и практической точек зрения. Включение максимально возможного числа временных работ

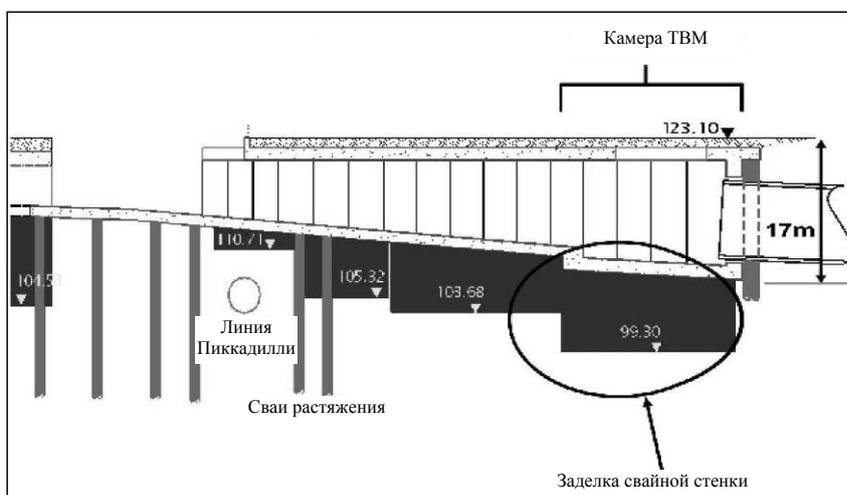


Рис. 4. Продольный разрез западного портала ART

Таблица 1

Обобщение геотехнических проектных характеристик

Грунт	γ_b , кН/м ³	$\phi'_{\text{пик}}$, °	$\phi'_{\text{крит}}$, °	c' , кН/м ²	E' , МН/м ²	k , м/с	K_0
Террасный гравий	19,5	38	35	0	30	1×10^{-4}	0,4
Лондонская глина	20,0	23	20	8	$0,77E_u$	$5 \times 10^{-10} (h)$ $0,5 k_b (v)$	1,5

Таблица 2

Проектные характеристики лондонской глины, использованные при проектировании основания ART

Параметр	Проектная величина
Недренированная прочность на сдвиг s_u	$67,5 + 6z$ кН/м ²
Недренированный модуль Юнга E_u	$27 + 2,4z$ МН/м ²
Дренированный модуль Юнга E'	$21 + 1,8z^{\#}$ МН/м ²
Коэффициент природного бокового давления грунта K_0	1,5

z – глубина от верхней границы залегания лондонской глины; $\#$ Профиль жесткости недренированного грунта был принят при долгосрочном проектировании камеры запуска машины ТВМ для западного портала.

в постоянный проект позволяет снизить его стоимость, сократить время реализации строительной программы, ускорив процесс использования близлежащих мест для стоянки самолетов. Проект основания предусматривал установку одного уровня временных распорок в середине свайных стен. Они были спроектированы как часть стальной конструкции общим весом 60 т (рис. 5).

3.2. Проект подпорных стен

Подпорные стены для конструкций порталов ART проектировали в соответствии с рекомендациями доклада CIRIA 104 (Padfield and Mair, 1984) с учетом «умеренно консервативных» параметров, приведенных в табл. 1, 2. И хотя особое внимание уделялось надежности, в проекте были предусмотрены различные варианты сокращения расходов. В докладе CIRIA 104 предписывались:

приложение к подпертому грунту минимальной строительной перегрузки в 10 кН/м^2 ;
дополнительная выемка грунта не более 0,5 (или 10% от высоты подпорной стенки);

снижение недренированной прочности на сдвиг s_u в верхнем слое (1 м) до нуля, чтобы допустить возможные нарушения при откопке и предусмотреть распространение избыточного порового давления;

уменьшение недренированной прочности на сдвиг s_u на 20...30% с учетом возможного

разупрочнения грунта перед стеной.

Первые три рекомендации были учтены, однако профиль s_u на «пассивной» стороне стены не был сокращен. На этот шаг пошли в целях экономии, руководствуясь опытом подобных откопок в слое лондонской глины. И хотя этот момент не вошел в новые руководства, он рекомендован в последних нормах CIRIA Report C580 (Gaba, Simpson, Powrie, Beadman, 2003). Чтобы получить дополнительные преимущества, используя временные условия строительства, были задействованы два фактора, которые уменьшали предполагаемую нагрузку и смещение стен и увеличивали поддержку. Был выбран смешанный анализ с использованием эффективных напряжений для «активной» стороны стены и полных напряжений – для «пассивной» стороны. Кроме того, поскольку существовала опасность просачивания воды через пространство между смежными сваями, предполагалось на 50% уменьшить давление поровой воды с «активной» стороны до гидроизоляции внутренних частей свай с помощью стен-перегородок.

4. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, ИННОВАЦИИ И «СТОИМОСТНОЕ» ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Поскольку основным требованием являлась надежность, была необходима особая

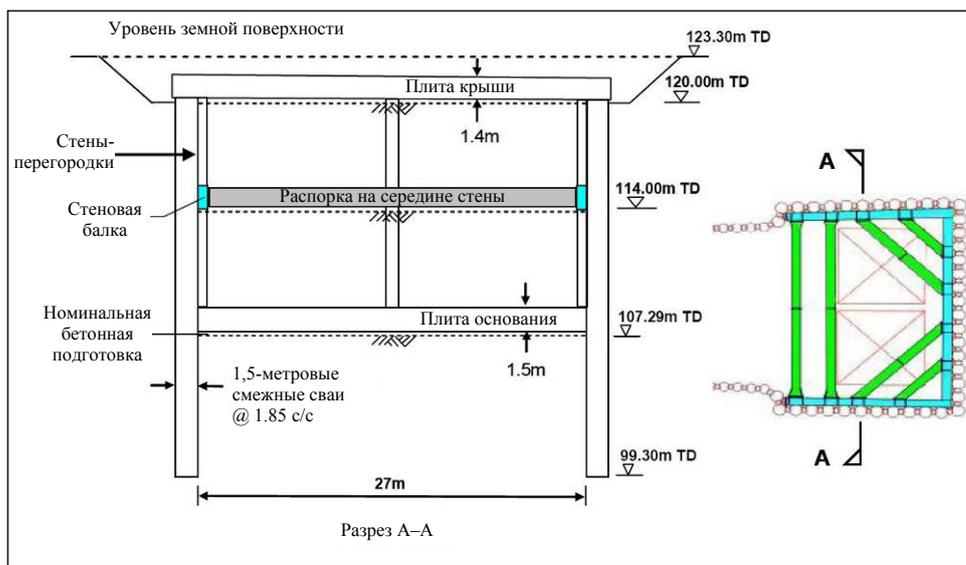


Рис. 5. Проект основания для западной камеры запуска ТВМ

осторожность при внесении изменений, прежде всего это относилось к временным работам и строительному процессу. Был достигнут баланс между «стоимостным» проектированием и методом наблюдений (Powderham, Ritty P.C, 1994; Institution of Civil Engineers, 1996). Оба подхода особое внимание уделяют инновациям, способствующим сокращению затрат и времени. Когда речь идет о временных работах, значительные возможности предоставляет метод наблюдений. Поскольку согласно проекту основание должно быть безопасным и надежным, нужно очень четко и осторожно оценить любые последствия внесения потенциально положительных изменений, которые могут повлиять на безопасность. Управление рисками – важнейшая часть метода наблюдений, ключевым аспектом которого является осуществление последовательных модификаций (Паудэрхэм, 2004, Powderham, 2002; Powderham, 1998). Очень важны эффективная работа команды и хорошее взаимодействие, выработанные при работе компании ВАА над проектом Т5.

Компания ВАА уделяла особое внимание надежности проекта и управлению рисками. Кроме этого, поощрялся поиск улучшений с помощью «стоимостного» проектирования и инноваций. Такое поощрение со стороны заказчика достаточно необычно. В случае ART это привело к новому использованию метода наблюдений и способствовало минимизации количества временных опор для конструкций портала.

5. МЕТОД НАБЛЮДЕНИЙ

Проектирование основания тоннеля ART удовлетворяло требованиям надежности и всем остальным критериям относительно стоимости и программы строительства. Первоначально использование метода наблюдений не входило в план проектирования, поэтому его применение не могло характеризоваться как «ab initio – с самого начала» или «лучший выход» (Рекс. R.B., 1969). Сплоченная команда постоянно следила за изменениями стоимости в ходе проекта. Члены команды хорошо знали о недавнем применении метода

наблюдений при мониторинге подпорных стен, строящихся в Великобритании практически в таких же грунтовых условиях. Сначала предполагалось, что порталы тоннеля ART слишком разнообразны и ограничены, чтобы можно было получить значительную выгоду от использования метода наблюдений. Его применение просто не рассматривалось из-за потенциальных расходов на установку дополнительного оборудования, проведение наблюдений и мониторинга. Кроме того, некоторые элементы тоннеля ART были слишком малы для размещения опытных секций, необходимых для полноценного применения метода наблюдений. К тому же не было возможности для установки обычных распорок на случай непредвиденных обстоятельств. Поэтому основной проблемой стало приспособление метода наблюдений к условиям ограниченного пространства и места для перемещения.

Метод наблюдений успешно использовался для снятия временной опоры в тоннеле под Ла-Маншем и развязке Limehouse (Powderham, Ritty, 1994; Institution of Civil Engineers, 1996). Однако для создателей ART это не служило существенным основанием. В предыдущих случаях использование опытных секций внутри сооруженных открытым способом туннелей являлось основой, благодаря которой можно было применять метод наблюдений. Было показано, что при использовании метода наблюдений можно, например, избежать устройства распорок посередине высоты коробчатого основания. В случае тоннеля ART это было неприемлемо, поскольку стоимость подготовки и проведения испытаний каждой секции была бы выше стоимости реализации существующего проекта. Но при одобрении метода наблюдений для ART появлялась возможность принять необходимые меры на случай непредвиденной ситуации без проведения подобных испытаний.

Как и при возведении подпорных стен, основное внимание уделялось наблюдению за отклонениями стен. Обычно для предотвращения подобных нежелательных явлений, возникающих во время откопки, устанавливаются боковые опоры через распорки, предусмотренные на случай непредвиденной ситуации. Однако нужно было показать заранее возможность безопасной установки распорок с

сохранением временных ограничений. При строительстве развязки Limehouse проводилось испытание распорок, и специальные стальные распорки устанавливались рядом с фронтом строительства по мере откопки туннеля. Необходимость установки опор обуславливалась возможностью перемещения свайных стен, что было неприемлемо. Такая ситуация не предусматривалась методом наблюдений, поскольку, согласно проекту, откопка должна была идти гораздо быстрее, что бы полностью задействовать кратковременную прочность грунта. Тем не менее, очень важно, что удалось создать надежную защиту на случай непредвиденных обстоятельств.

В случае туннеля ART первым элементом конструкции была камера запуска ТВМ (размеры в плане – 21,5×30 м, максимальная глубина погружения – 17 м). Используя стальные элементы внутри камеры, можно установить систему распорок при возникновении непредвиденных ситуаций. Это могло пригодиться для удержания камеры в нужном положении при установке на внутренней стороне крыши туннеля. Но тогда бы она дублировала приспособления, проектируемые для основания. Использование такой тяжелой конструкции (весом 60 т) исключало использование метода наблюдений, т.к. при перемещениях стен в пределах допустимых величин дополнительные меры предосторожности были бы не нужны. Возникла и другая проблема – установка тяжелой системы распорок внутри ограниченного пространства камеры ТВМ могла занять слишком много времени, если бы даже все ее элементы были предварительно собраны и, подготовленные к установке, находились ниже уровня крыши туннеля. Поэтому предложенный в рамках метода наблюдений традиционный подход был вначале отклонен.

Прорывом в решении проблемы ART стала концепция, предусматривающая установку промежуточных бетонных распорок для боковой поддержки на случай непредвиденных обстоятельств. Благодаря этой простоте, но очень эффективной инновации разработчики проекта стали рассматривать метод наблюдений как заманчивую перспективу. Основным требованием была очень быстрая уста-

новка промежуточных распорок, чтобы исключить развитие нежелательных перемещений стены. Для этого следовало разработать бетонную смесь для закрепления на начальном этапе и проводить поэтапную откопку с использованием точной системы лазерного контроля (рис. 6). Эта инновация расширяла область применения подхода последовательных модификаций, разработанного для метода наблюдений (Powderham A.J., 1998).

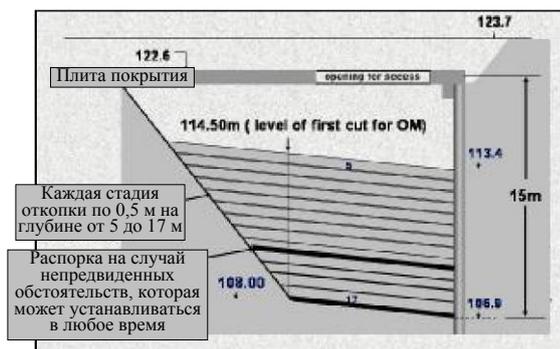


Рис. 6. Лазерный контроль последовательности откопки в западной камере ТВМ туннеля ART

Использование камеры ТВМ началось в 2001 г. и прошло успешно. Затем метод наблюдений применялся при строительстве всех остальных элементов порталов. Различные форма и конструктивная организация элементов обусловили различия во взаимодействии оснований и сооружений. В конструкции входили как раскрепленные, так и консольные подпорные стены. Успешное применение бетонных распорок в форс-мажорных ситуациях способствовало повсеместному распространению метода наблюдений. Данная разработка доказала возможность использования метода для небольших проектов, когда ограниченное пространство не позволяет размещать тестовые секции или практически невозможно установить стальные распорки в непредвиденных ситуациях. В случае ART благодаря этому методу удалось найти новое решение проблемы строительства на сложной границе между туннелем и линией метро Пиккадилли.

5.1. Измеренные показатели

При использовании метода наблюдений требуется надежное оборудование для фикса-

ции важной информации. Оно должно быть простым в применении, практичным и не выдавать избыточную информацию. При выполнении проекта ART это достигалось с помощью калибровки трех независимых систем: первичной, вторичной и первичной дублирующей (табл. 3).

Таблица 3

Системы мониторинга в рамках метода наблюдений, который применялся при выполнении проекта ART

Система мониторинга	Тип оборудования	Результат мониторинга
Первичная	Записывающие экстензиометры	Схождение стен
Вторичная	Инклинометры	Профиль перемещений стены
Первичная дублирующая	Наблюдение через призму призмных марок (с помощью общей роботизированной станции)	Перемещения стен

На рис. 7 представлены измеренные показатели, полученные на стенах камеры ТВМ. Два графика схождения стен отражают работу северной стороны стены и торцевой стены. Они показывают одинаковые результаты, которые расположены в зеленой зоне.

6. ГРАНИЦА С ТУННЕЛЕМ ЛИНИИ ПИККАДИЛЛИ

Как уже говорилось, метод наблюдений применялся для ART из соображений добавочной стоимости и, конечно, не из-за необходимости предотвращения кризиса. Техническую проблему представляла сложная форма зоны границы с линией Пиккадилли. Треугольная зона отчуждения, предписанная лондонским метро (рис. 8), устанавливала строгие ограничения на глубину заложения смежных свай над туннелем. Поэтому для данных секций стены требовалась большая временная поддержка, чем для стен, которые могли

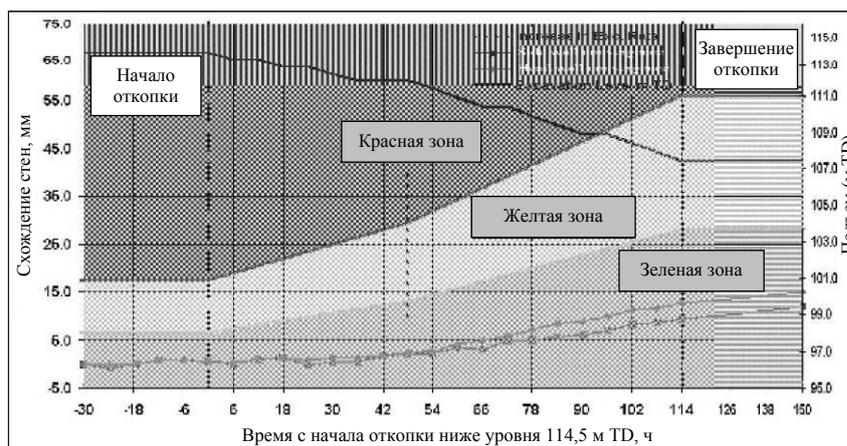


Рис. 7. Метод наблюдений: зоны контроля, соответствующие сигналам светофора

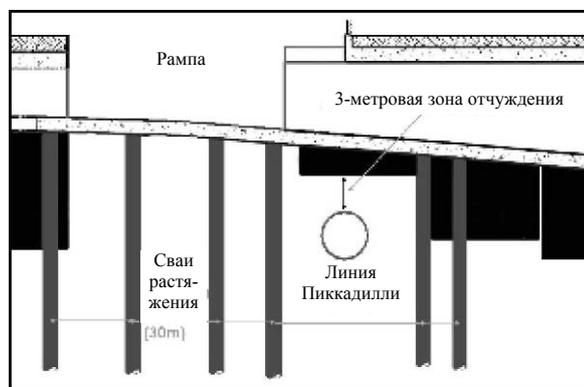


Рис. 8. Зона отчуждения вокруг туннеля линии Пиккадилли

находиться за пределами 3-метровой зоны.

Основной проект предусматривал расположение на середине стены опор, состоявших из грунтовых анкеров и стальных распорок. Эти традиционные меры временной поддержки имели как достоинства, так и недостатки. Грунтовые анкеры легко приспособить к сложной форме пересечения тоннелей, но они имели ограничения на приближение к туннелю линии Пикадилли. Система стальных распорок не имела таких ограничений, однако она не привлекала внимания из-за значительных нагрузок, возникающих при установке, больших пролетов и сомнительной надежности установки и последующего демонтажа. Частью подобной системы поддержки являлись массивные железобетонные временные стеновые балки, сложные в установке (рис. 9).

6.1. Развитие инновации

Успешное использование метода наблюдений в западной камере ТВМ стимулировало его применение на других элементах порталов тоннеля ART. Развитию нового подхода к решению проблем на границе с линией Пикадилли способствовало позитивное отношение к инновациям. Благодаря инновационному использованию бетонных распорок исключалась необходимость установки грунтовых анкеров или тяжелых стальных распорок и соответствующих стен. В основном это представляло расширение мер на случай непредвиденных ситуаций, в рамках чего метод наблюдений применялся на соседних секциях тоннеля ART.

На рис. 10 и 11 показан процесс использования нескольких бетонных распорок на

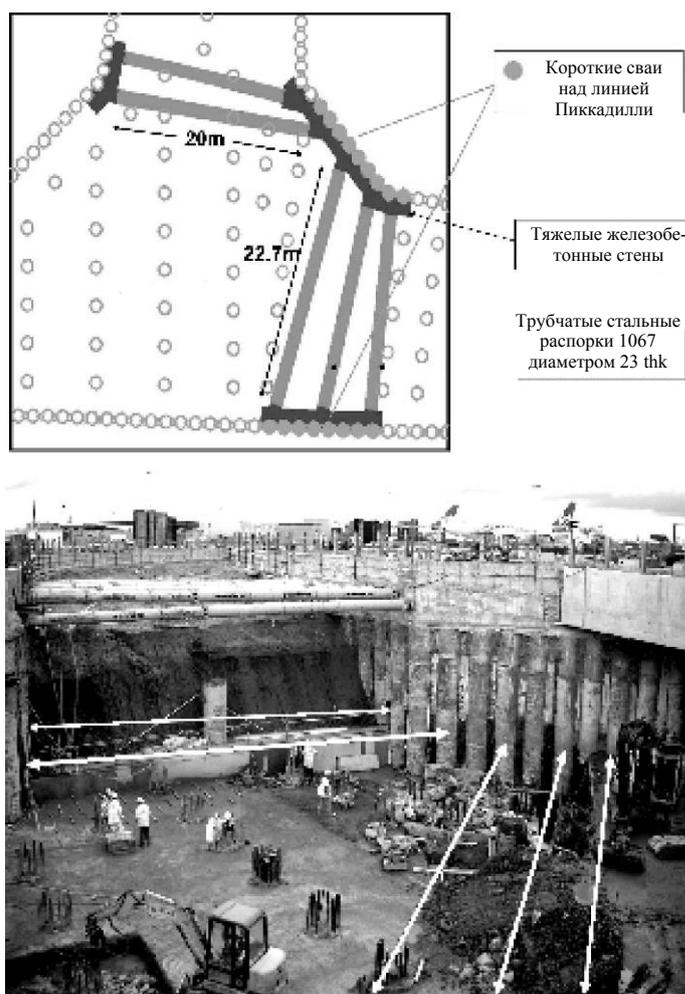


Рис. 9. Оригинальная альтернатива грунтовым анкерам

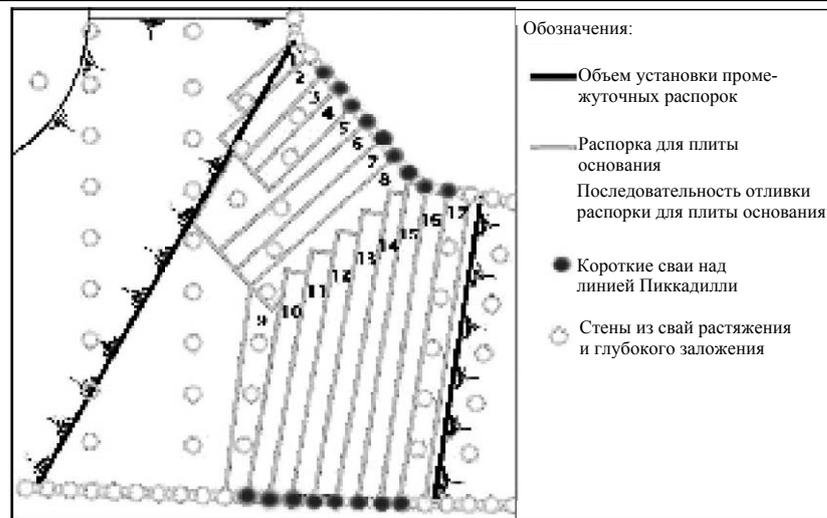


Рис. 10. Организация и последовательность устройства бетонных распорок

уровне основания и на середине свай. В обоих случаях осуществлялся лазерный контроль положения уровня и толщины элемента (рис. 12). Промежуточная бетонная распорка изготавливалась с конструктивными соединениями и удалялась полосами, а бетонная распорка плиты основания отливалась из 17 указанных элементов. По мере возможности нижние «слепые» распорки задействовали сваи напряжения. Уникальность решения заключалась в том, что сложная форма не влияла на изначальную простоту использования двух уровней распорок. Конструкция стала проще и надежнее, не требовались сложные работы по установке, обслуживанию и удалению распорок.

Инновация была разработана на основе нового подхода к устройству поддержки на случай непредвиденных обстоятельств в рамках метода наблюдений. Подчеркнем, что подобное применение распорок не было по сути использованием метода наблюдений. Это произошло из-за возможности внезапного возникновения отказа и отсутствия простой и надежной меры на случай непредвиденной ситуации. Иными словами, необходимо было заранее быстро показать, что предлагаемое решение надежно и может быть одобрено всеми участниками проекта. К счастью, вскоре решение было принято, а предложение реализовано без задержек в проекте.

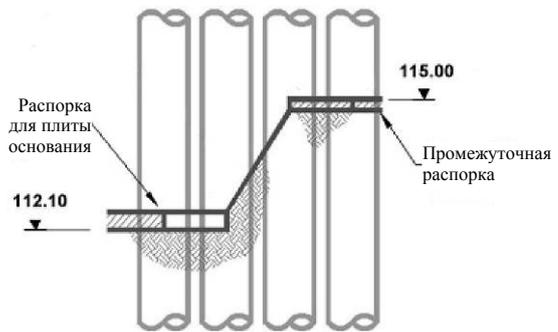


Рис. 11. Поперечный разрез распорок

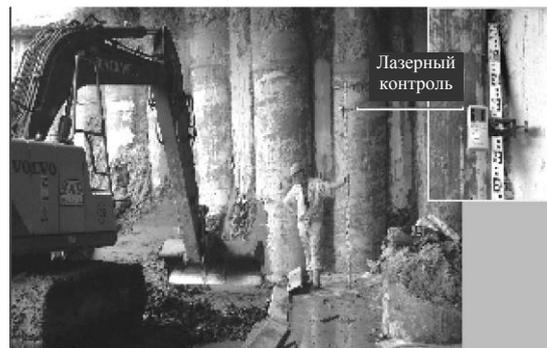


Рис. 12. Устройство промежуточной распорки с использованием лазерного контроля

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новый подход с использованием бетонных распорок, обеспечивающих поддержку в случае непредвиденных обстоятельств, спо-

способствовал успешному применению метода наблюдений на отдельных элементах порталов ART. Это происходило, несмотря на пространственные ограничения этих элементов, и показало возможность применения метода наблюдений на малых проектах. Инновационное использование распорок помогло найти эффективное решение организации технически проблемного участка на границе с действующим туннелем метро.

Успеху способствовали открытость по отношению к инновации, слаженная работа команды и поддержка клиента. В управлении рисками значительную роль сыграла реализация прогрессивной модификации с использованием лазерного контроля при откопке тоннеля. Реализация программы прошла успешно, удалось избежать установки временных стальных распорок, которые изначально требовались в проекте основания. Общая экономия составила 275 тонн стальных конструкций и 31 неделю времени строительства.

Описанные достижения были признаны, а участники строительства награждены в 2002 г. медалью Флеминга Британской геотехнической ассоциации. Новый подход стал предметом исследования докторской диссертации автора, посвященной области применения и работы «слепых» распорок.

БЛАГОДАРНОСТИ

Основные организации, участвовавшие в процессе проектирования и строительства рассматриваемых элементов тоннеля ART: ВАА (клиент), Mott MacDonald (проектировщик), Laing o'Rourke (подрядчик гражданского строительства), Morgan-Vinci (подрядчик по проходке туннелей) и Vachy (субподрядчик по устройству свай). Отметим, что взгляды и размышления, представленные в данной статье, принадлежат автору и не обязательно совпадают с точкой зрения ВАА или Mott MacDonald. Автор благодарит компанию ВАА за разрешение на публикацию статьи. Кроме того, автор хотел бы отметить слаженную и эффективную работу в команде всех специалистов, занимавшихся планированием, организацией и строительством в ходе выполнения проекта.

Список литературы

1. Peck, R. B. (1969). Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Geotechnique*, Vol 19, No. 2, 171–187.
2. Peck, R. B. and Powderham, A. J. (1999). *Talking Point, Ground Engineering*, Vol. 32, No. 2, p. 3.
3. Powderham, A. J. (2002). *The observational method – learning from projects*. Proc. Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering, 155, No. 1, 59–69.
4. Hitchcock, A. R. (2005). *Improving the delivery of underground transportation infrastructure: An observational method case history*, Engineering Doctoral thesis, Faculty of Engineering, Southampton University.
5. Powderham, A. J. and Rust D'Eye, C. (2003). Heathrow Express Cofferdam: Innovation & Delivery through the Single-Team Approach Management. *Proc. J. Boston Soc. Civ. Engrs/Amer. Soc. Civ. Engrs*, 18, No. 1, 25–50.
6. Darby, A.W. (2003). *The Airside Road Tunnel, Heathrow Airport*, Proc. Rapid Excavation and Tunnelling Conference, New Orleans.
7. Padfield, C. J. and Mair, R. J. (1984). *Design of retaining walls embedded in stiff clay*. Report 104, CIRIA, London.
8. Gaba, A. R., Simpson, B., Powrie, W. and Beadman D.R. (2003). *Embedded retaining walls – best practice guidance*. Report C580, CIRIA, London.
9. Powderham, A. J. and Ruddy, P.C. (1994). *The observational method in value engineering*, Proc. 5th Int. Conf. on Piling Deep Foundations, Bruges.
10. Institution of Civil Engineers (1996), *Creating Value in Engineering, ICE design and practice guide*, Thomas Telford, London.
11. Powderham, A. J. (1998). *The observational method – application through progressive modification*; Proc. Journal ASCE/BSCE, Vol. 13, No. 2, pp. 87–110.
12. Паудерхэм А. Дж. *Применение метода наблюдений путем последовательных модификаций // Реконструкция городов и геотехническое строительство*. СПб.: АСВ. 2004. №8. С. 5–25.