

УДК 624.21.012.45:624.32(569.4)

РОНЕН БРАУН, МИХАЕЛЬ ХАЙТМАН
(Shamir Posner Brown consulting engineers, Израиль)

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА КЛЕЕНЫХ СЕГМЕНТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ СРЕДНИХ ПРОЛЕТОВ В ИЗРАИЛЕ

В данной статье даны примеры ряда клееных сегментных железобетонных мостов, построенных в последние три года в Израиле под автомобильную нагрузку и имеющих сборные сегментные пролетные строения с комбинированным внешним и внутренним преднапряжением: четыре моста на транспортной развязке Эй-Акоре, мосты Шелеф и Нили, мост Биньямина. Все эти объекты были возведены известной израильской строительной фирмой Dania Sebus, имеющей богатый опыт в транспортном строительстве. Для реализации этих проектов были приглашены две фирмы: Shamir Posner Brown consulting engineers, Israel и Finley Engineering Group, USA, выполнившие весь объем работ по перепроектированию и подготовке рабочей документации.

1. Развязка Эй-Акоре

Транспортная трехуровневая развязка является элементом нового скоростного шоссе номер 431, проходящего с запада на восток страны и соединяющего южные районы мегаполиса Тель-Авив с новым городом Модииин. По первоначальному проекту строителям предлагалось выполнить надвижку двух эстакад с двумя сегментами в поперечном сечении каждой из эстакад, расположенных на кривых, и ряд балочных мостов на этой развязке.

Строительная фирма, выигравшая конкурс на строительство и эксплуатацию всей дороги, предложила перепроектировать всю геометрию развязки, поменяв ярусность существующих и новой дорог по сравнению с первоначальным проектом. Изменение геометрии всей развязки позволило ускорить строительство искусственных сооружений и резко сократить затраты на строительство.

Четыре моста этой развязки пересекают новое шоссе с юга на север. По двум центральным мостам проходит шоссе номер 42, а по двум крайним — ramпы въезда и съезда. Схемы мостов соответственно: $44,74 + 61,28 + 50,33 + 35,95 = 192,030$ м — западная ramпа, $44,15 + 60,34 + 51,50 + 36,50 = 192,49$ м — западный мост, $43,66 + 59,18 + 55,55 + 56,47 + 56,47 + 35,95 = 307,28$ м — восточный мост, $44,15 + 60,12 + 60,32 + 60,32 + 42,15 = 267,06$ м — восточная ramпа. Высота сегмента 2,60 м. Ширина центральных двух мостов 11,20 м, ширина моста западной ramпы 12,50 м и ширина моста восточной ramпы 11,20 м с увеличением до 13,5 м в крайнем северном пролете.

В процессе проектирования этих мостов была выбрана новая, еще не применявшаяся в стране, технология преднапряжения сегментных мостов — преднапряжение в пролетах внешними кабелями, расположенными во внутреннем пространстве мостов «External Continuity Post-Tensioning for Balanced cantilever Segmental Bridges». Преимущества этой технологии можно разделить на два типа: конструктивные и технологические. В процессе расчета и конструирования удалось создать поперечное сечение сегмента с толщиной боковой стенки переменной величины, достигающей в нижней ее части всего 32,5 см. Наличие концентрированной вертикальной силы в точке перегиба кабелей в четверти пролета значительно улучшило несущую способность на поперечную силу, что и привело к утоньшению боковых стенок сегмента. К технологическим преимуществам можно отнести сроки омоноличивания стыка двух встречных

консолей в пролет, которые теперь не зависят от сроков протяжки пучков преднапряженной арматуры и эти процессы теперь выполняются параллельно.

Также к преимуществам можно отнести использование полиэтиленовых труб (HDPE) во внешнем преднапряжении. Потери преднапряжения от трения в этих трубах минимальны, что позволило сократить количество операций преднапряжения, выполняя их только с одного конца кабеля.

Важным преимуществом использования внешнего преднапряжения является факт доступности этих кабелей в процессе обследования и замены при необходимости.

Для изготовления сегментов для этих четырех мостов и с перспективой получения новых заказов, подрядчиком был построен новый завод с тремя комплектами опалубки. Один комплект длиной 2,50 м предназначался для изготовления приопорных сегментов. Два остальных комплекта предназначались для изготовления стандартных сегментов длиной, не превышающей 3,0 м. Внутренние части опалубки в каждом из этих двух комплектов опалубки запроектированы съемными, с возможностью производства специальных сегментов (Deviator segment). Переменное положение боковых элементов опалубки на консолях позволяет изготавливать сегменты переменной ширины с выпусками в бетонный парапет разного количества и диаметра арматурных стержней. После выхода на расчетную мощность завод производит до 8–10 элементов в неделю. Вес стандартного сегмента составил 55,0 т, вес надопорного сегмента — 72,0 т, вес сегмента с дополнительной диафрагмой в его нижней части для концентрированного изменения направления преднапряженных кабелей (Deviator segment) составил 70 т.

В каждом пролете необходимо установить, как минимум, два Deviator сегмента. Преднапряжение выполнялось в продольном и поперечном направлениях кабелями по системе Freyssinet. Каждая пара сегментов обжималась парой кабелей 12T15S, расположенных в его верхней плите. Преднапряжение в пролетах выполнялось внешними кабелями 19T15S. Максимальная длина этих кабелей доходила до 120,0 м. Преднапряжение велось сразу для двух пролетов только с одного конца кабелей. Во всех сегментах с шириной более 12,90 м было выполнено поперечное преднапряжение верхней плиты отдельными прядями с натяжением на бетон (Monostrand). Надопорный сегмент преднапрягался парой параболических кабелей 13T15S (рис. 1).

TYPICAL PIER SEGMENT CROSS SECTION

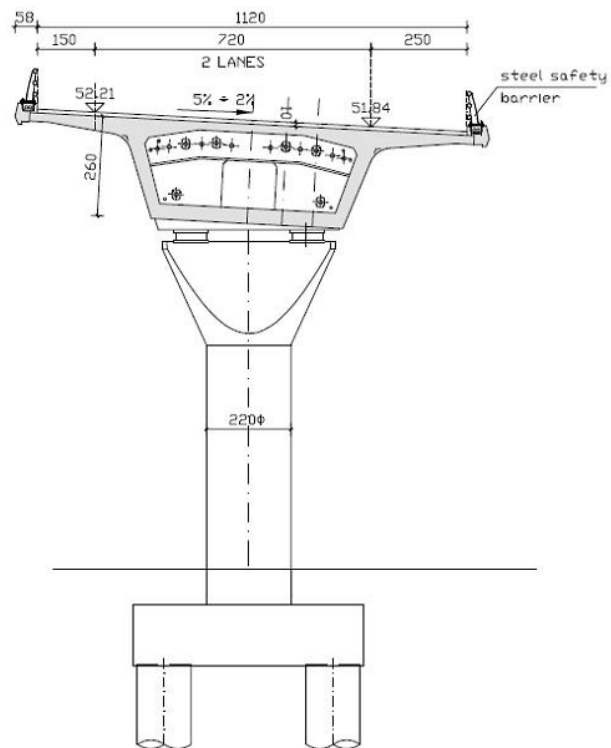


Рис. 1. Надопорный сегмент ПС

Монтаж сегментов осуществлялся гусеничным краном с уровня земли. После освоения технологии удалось довести скорость монтажа до 3–4 сегментов в день. Быстрое окончание монтажа центральных двух мостов позволило перевести движение по 42-му шоссе на новые мосты и освободить нижний ярус для окончания земляных работ по отсыпке нового — 431-го шоссе.

2. Мосты Шелеф и Нили, платное трансизраильское шоссе номер 6

Самый северный участок платного трансизраильского шоссе номер 6 проходит по пересеченной холмистой местности, пересекая на своем пути несколько ручьев. По жестким требованиям ландшафтных архитекторов и в связи со скоростным характером шоссе, на участке почти в 18,0 км было запроектировано 11 мостов и два тоннеля. Каждое из направлений движения проходит по независимому мосту постоянной ширины. Расстояние между двумя мостами противоположных направлений движения оставляет опцию на строительство третьего моста в будущем и объединение всех трех сегментов в единое пролетное строение шириной 36,50 м. В связи с этой опцией от строительных подрядчиков требовалось заложить в консоли сегментов типовые закладные детали с резьбовыми соединениями, что приводило к удорожанию этих мостов.

В оригинальном проекте были запроектированы пять пар сборных сегментных мостов с постоянной шириной 11,50 м (между перильными ограждениями) и высотой сегмента 2,80 м в трех мостах и 2,20 м в двух других мостах в зависимости от величины пролета.

Мосты над ручьями Шелеф и Нили получил в исполнение подрядчик, имевший опыт по возведению транспортной развязки Эйн-Акоре в центре страны и имевший комплекты опалубки на заводе, дававшие возможность производить сегменты высотой только 2,60 м и использовать внешние преднапряженные кабели (External Continuity prestressing). Предложение подрядчика о перепроектировании мостов и приведении проекта в соответствие с имеющимся оборудованием было принято заказчиком. Мосты над ручьями Далия, Моэд и Менаше были переданы в исполнение другому подрядчику, имевшему богатый опыт в возведении сборных сегментных мостов с преднапряжением, проходящим в плите и стенках сегмента (Internal prestressing). Подрядчик также предложил перепроектировать мосты над ручьем Далия на пролетное строение с высотой 2,60 м.

Мосты Шелеф запроектированы на постоянном горизонтальном радиусе. Продольная схема наружного моста — $45,0 + 60,625 + 60,625 + 60,625 + 33,34 = 260,215$ м. Мосты Нили запроектированы на прямом участке трассы. Продольная схема мостов — $42,00 + 66,00 + 66,00 + 54,00 + 36,00 = 264,00$ м. Пролеты мостов Шелеф не отличались от уже запроектированных на развязке Эйн-Акоре, а пролеты мостов Нили потребовали от проектных фирм, работавших на строительного подрядчика, дополнительных расчетов и проверок. Результатом этих расчетов явилось заключение проектировщиков, гласящее — поперечное сечение высотой 2,60 м пригодно для использования в мостах с пролетами до 66,0 м с внешним преднапряжением и количеством расчетных полос подвижной нагрузки, не превышающим трех. Соотношение длины пролета к высоте сечения составило $L/25,4$.

Мосты Далья запроектированы на прямом участке трассы. Продольная схема мостов — $33,00 + 51,00 + 66,00 + 51,00 + 33,00 = 234,00$ м. Проектным фирмам, работавшим над мостами Шелеф и Нили, было предложено перепроектировать и мост Далья. Первые расчеты показали, что переход на высоту сечения в 2,60 м приводит к проблемам с поперечной силой в центральном пролете. Для решения этой проблемы пришлось изменить порядок монтажа сегментов и применить вертикальное преднапряжение в сечениях, прилегающих к опорным сегментам в пролете 66,00 м.

Проектными фирмами, выполнявшими работы для подрядчика, было предложено решение по упрощению стыков объединения в будущем трех сегментов в единое поперечное сечение (рис. 2). Расчеты показали, что достаточно увеличить диаметры и шаг стандартных выпусков поперечной арматуры замкнутой формы из сборных сегментов в процессе их изготовления. Это решение дало частичное удешевление проекта.

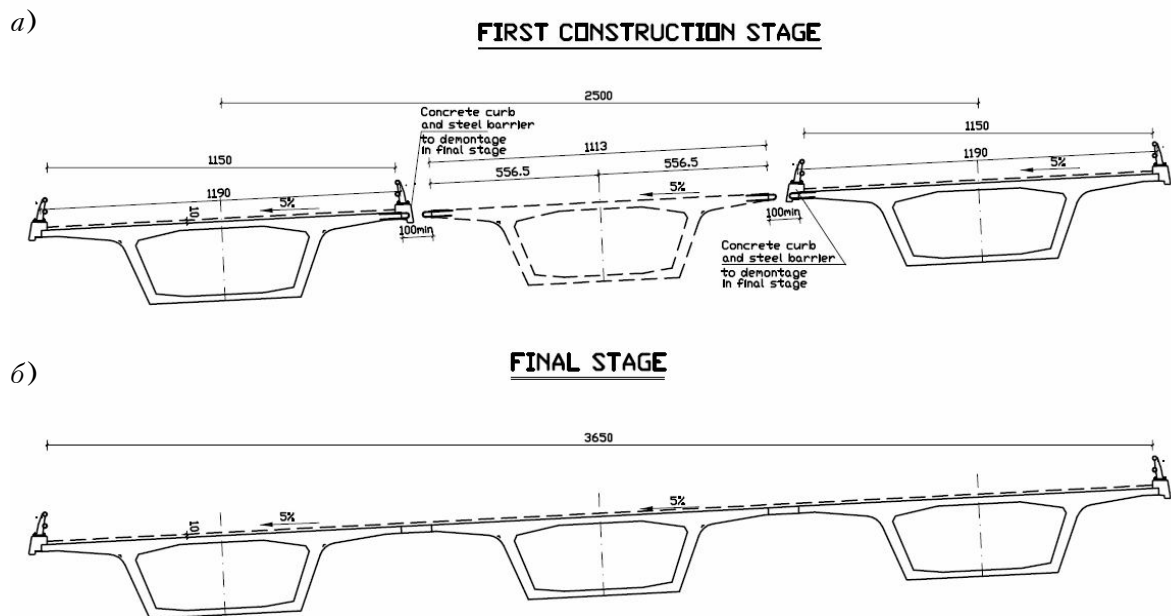


Рис. 2. Стыки отделочных сечений: а — до обделки; б — после обделки

Преднапряжение выполнялось в продольном и поперечном направлениях кабелями по системе Freyssinet. Каждая пара сегментов обжималась парой кабелей 13T15S или 12T15S в зависимости от величины пролета. Преднапряжение в пролетах выполнено внешними кабелями 19T15S в высокопрочных полиэтиленовых трубах. Надпорный сегмент преднапрягался парой параболических кабелей 13T15S.

Монтаж сегментов осуществлялся гусеничным краном с уровня земли, как и в предыдущем проекте.

3. Мост Биньямина, шоссе номер 4

Целью проекта является обеспечение пересечения существующей и перспективной линий железной дороги с шоссе номер 4 в разных уровнях.

В оригинальном проекте весь комплекс включал в себя два арочных виадука с северной и южной сторон с пролетами $8 \times 15,5$ м и $9 \times 15,5$ м соответственно и шириной, достигавшей почти 27 м.

Между виадуками были запроектированы два сборных сегментных моста длиной 417,0 м каждый в северном и южном направлениях движения по шоссе номер 4. Длина всего комплекса составила порядка 680 м (без учета длин устоев и подходных стен). Арочные виадуки были стилизованы под римские арки. Такое требование архитекторов было вызвано близким расположением древней Кейсарии с ее римскими акведуками, сохранившимися до наших дней. Каждый из двух сегментных мостов имел свою разбивку на пролеты из-за требований железной дороги. Продольная схема западного сегментного моста — $39,00 + 51,00 + 54,00 + 63,00 + 54,00 + 57,00 + 60,00 + 39,00 = 417,00$ м, восточного сегментного моста — $45,00 + 57,00 + 54,00 + 48,00 + 48,00 + 48,00 + 66,00 + 51,00 = 417,00$ м. Высота сегмента составила 2,85 м. Сегментные мосты располагались на прямом участке оси дороги. Повышенные требования железнодорожного управления страны к нагрузке на стальные и железобетонные ограждения мостов, проходящих над ж.-д. путями, привели к утолщению верхней плиты сегмента, увеличению его высоты и веса.

Конкурс на строительство проекта выиграла строительная фирма, имевшая опыт по возведению сегментных мостов транспортной развязки Эй-Агоре и двух пар мостов Шелеф и Нили на трансираильском шоссе номер 6.

В целях ускорения строительства и его удешевления подрядчик опять предложил применить комбинированную систему преднапряжения с внутренним и внешним расположением кабелей и сегменты со стандартной высотой в 2,60 м. Данное решение позволило бы существенно уменьшить расход бетона пролетных строений. Для утверждения этого предложения проектировщикам, работавшим на подрядчика, пришлось выполнить сложный динамический расчет, который позволил перераспределить нагрузку на несколько опор перильного ограждения и значительно уменьшить нагрузку на консоли в сегменте. Предложение строительного подрядчика было принято. Израильская национальная дорожная компания, будучи заказчиком этого проекта, потребовала увеличить подвижную нагрузку при перерасчете пролетного строения моста и довести до четырех расчетных полос. Это требование было связано с тем, что в строй сначала вводился западный мост и на него переводилось все движение по шоссе номер 4, таким образом освобождалась площадка для строительства восточного моста. Расчеты показали, что количества преднапряженных кабелей недостаточно, а места для дополнительных двух кабелей также нет. И тогда было принято решение использовать прямые семипрядевые кабели только между сегментами с диафрагмой (Deviator), располагающиеся между уже занятых кабелями позиций. Преднапрячь такие кабели можно только преднапрягая каждый пучок отдельно (Monostrand system). Это было вызвано отсутствием места для домкрата, натягивающего весь кабель (Multistrand system). Использование малых домкратов потребовало дополнительной проверки параллельности пучков в этих кабелях. Преднапряжение пролетного строения выполнялось в продольном и поперечном направлениях кабелями по системе Freyssinet. Каждая пара сегментов обжималась парой кабелей 13T15S или 12T15S в зависимости от величины пролета. Преднапряжение в пролетах выполнялось внешними кабелями 19T15S и 7T15S в высокопрочных полиэтиленовых трубах (рис. 3). Расход напрягаемой арматуры незначительно возрос. Длина сегмента и его вес не изменились по сравнению с предыдущими



Рис. 3. Внешняя преднапрягаемая арматура

проектами. Существенным улучшением явилась скорость монтажа элементов: в среднем темп составил 4 сегмента в день и монтаж каждого моста удалось закончить за неполные три месяца при условии, что на монтаж сегментов над ж.-д. полотном выделялись временные окна глубокой ночью и скорость монтажа снижалась до двух сегментов в день. Монтаж сегментов осуществлялся гусеничным краном СС-2000 с уровня земли. Введение в строй всего комплекса запланировано на начало 2010 г.