

УДК 624.21.012.36(569.4)

ИЛЬЯ МИНКИН (TWIN Design and Consulting),
БЕНИ НАХШОН (B. Nakhshon, Bridge Project Management),
МИХАЕЛЬ РАБИНОВИЧ (TWIN Design and Consulting)

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВ СРЕДНИХ И БОЛЬШИХ ПРОЛЕТОВ ИЗ ПРЕДНАПРЯЖЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ИЗРАИЛЕ

В данной статье приводится обзор и дается краткое описание нескольких мостов, возведенных из монолитного бетона по различным технологиям: мост Ахбара — методом навесного бетонирования, мост Атарот — методом продольной надвигки, развязка Ад Алом на въезде в Ашдод — методом коробчатого сечения, бетонируемого на подмостях.

1. Мост Ахбара

Мост коробчатого сечения общей длиной 433,7 м. В оригинальном проекте был запроектирован из сборных клееных сегментов. Подрядчик предложил навесное бетонирование с сохранением геометрии моста.

Расположение моста: горная местность, характеризующаяся повышенной сейсмической активностью $Z = 0,234g$ (пиковое значение горизонтального ускорения грунта — $2,3 \text{ м/с}^2$).

Данные для проектирования моста на сейсмические нагрузки были уточнены с помощью микрорайонирования, выполненного Израильским институтом геофизики. Для того чтобы убедиться в отсутствии опасных оползневых процессов, на трассе в районе моста проводились многолетние наблюдения с помощью инклинометров. Параметры моста приведены в табл. 1.

Схема моста — $62,45 + 3 \times 99 + 74,25$, неразрезное пролетное строение имеет два деформационных шва по концам моста. Использованы швы типа LR5-A80/7 MAGEBA (максимальное перемещение 0–400 мм). Поперечное сечение пролетного строения переменной высоты от 2,8 м в середине пролета до 5,5 м на опоре (рис. 1). Марка бетона М-600. Преднапряжение выполнялось в продольном и поперечном направлениях кабелями по системе Freyssinet, а в вертикальном направлении (в стенках) — с помощью стержней Dywidag. Бетонирование промежуточных опор коробчатого сечения высотой до 57,75 м производилась в скользящей опалубке. Уравновешенное бетонирование сегментов пролетного строения выполнялась двумя агрегатами, запроектированными норвежской компанией NRS и изготовленными в Словакии. Опорный сегмент бетонировался на подмостях в виде пространственных ферм, прикрепляемых к опоре (рис. 2). Следует отметить, что при возведении опор измерялась температура бетона и на основании этого определялась его прочность в возрасте нескольких часов (Maturity Test).

В проекте был предусмотрен мониторинг за поведением пролетных строений. Для этого были установлены комбинированные датчики температуры и деформации в стенках коробки над опорой и в середине пролета.

Таблица 1

Мост Ахбара, возведенный по технологии навесного бетонирования

1	Длина моста	433,7 м
2	Площадь проезжей части	6158,5 м ²
3	Максимальный пролет	99 м
4	Преднапряженная продольная арматура: верхняя — пучки 13Т15S с усилием натяжения 290 т, нижняя — пучки 19Т15S с усилием натяжения 424 т	26,8 кг/м ²
5	Поперечная преднапряженная арматура — плоские пучки 4F15S с шагом 75 см по длине моста	6,28 кг/м ²
6	Вертикальное преднапряжение — стержни Dywidag диаметром 32 мм в стенках коробки с шагом 75 см в надопорных участках на длине до 1/3 пролета	8 кг/м ²
7	Расход ненапрягаемой арматуры в пролетном строении	115 кг/м ³ или 70 кг/м ²
8	Расход бетона пролетного строения	0,685 м ³ /м ²
9	Длина бетонируемого сегмента	4,5 м
10	Средний темп бетонирования пары сегментов (2×4,5 м)	11 дней (полный цикл)
11	Срок строительства	3 года
12	Стоимость проекта, млн \$	~ 7,0
13	Подрядчик	SHAPIR Engineering

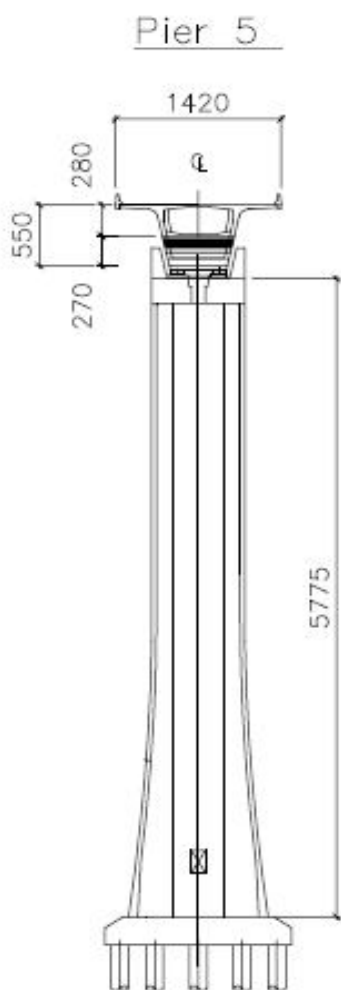


Рис. 2. Бетонирование

Рис. 1. Поперечное сечение на опоре 5 «Птички 4»

2. Мост Атарот

Данный мост располагается на северном въезде в Иерусалим на участке нового шоссе номер 45, проходящего через относительно глубокую долину пересыхающего ручья Атарот. Высота проезжей части над поверхностью земли порядка 18 м.

В оригинальном проекте был запроектирован балочный мост по схеме $30 + 3 \times 40 + 30$ из сборных преднапряженных балок заводского изготовления AASHTO-VI с опорами в виде римского акведука. Пролетное строение шириной 26 м без разделения мостов по направлениям движения состояло в поперечном сечении из 13 балок AASHTO-VI на расстоянии 2,6 м одна от другой.

Учитывая то, что мост расположен в горной местности, подрядчик предложил вместо балочного моста коробчатое неразрезное пролетное строение, сооружаемое по технологии продольной надвижки. При этом была увеличена длина пролетов, сокращено число промежуточных опор до трех. По требованию заказчика ширина дороги увеличена до 33,34 м и мосты разделены по направлениям движения ($16,67 \times 2$). Окончательная схема моста: $40 + 2 \times 50 + 47$. Высота коробок составляла 3,0 м, марка бетона М-500. Поперечное сечение приведено на рис. 3.

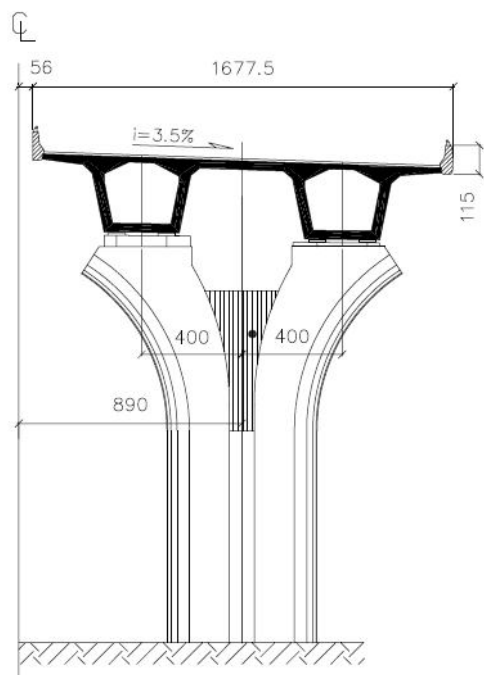


Рис. 3. Мост Атарот. Поперечное сечение

Особенностью данного моста являлось выполнение надвижки без временных промежуточных опор. Способ надвижки: pulling — вытягивание в пролет с помощью восьми стержней Dywidag, прикрепленных к пустотелым домкратам. Длина аванбека составляла 50 м, высота главных балок равнялась 3 м. Способ крепления аванбека к пролетному строению комбинированный: стержни Dywidag диаметром 32 мм и кабели.

Бетонирование выполнялось на стапеле. Размеры секций бетонирования составляли 13 м (концевая) и 24,5 м (типовая). Принятая система преднапря-

жения — DSI. Бетонирование выполнялось в два этапа: нижняя плита и стенки — 1-й этап (3–4 дня) и верхняя плита — 2-й этап (3–4 дня). Преднапряжение и надвигка выполнялись в конце 2-го этапа. Объединение кабелей выполнялось с помощью соединительных муфт (couplers), расположенных в торце бетонируемого участка. Было принято прерывание 50 % кабелей в одном сечении — половина перепускалась в смежную секцию. В верхней плите располагалось 8 кабелей 15T15S, натянутых на усилие в 320 т и в нижней плите имелось 6 кабелей 15T15S, натянутых на усилие 340 т. Помимо этого в ребрах имелись полигональные кабели, натягиваемые после окончания надвигки (по 3 кабеля 15T15S в каждой стенке).

Одним из факторов, влияющих на скорость и качество работы, является устройство и методы монтажа и демонтажа внутренней опалубки. В данном случае подрядчик прибег к услугам фирмы ДОКА и этим сумел обеспечить требуемый темп надвигки, принятый в мире: цикл надвигки 7–8 дней. Следует отметить, что данный мост был первым в Израиле с пролетом свыше 40 м, сооруженным посредством продольной надвигки. Правильная организация процесса работ позволила возвести сооружение в очень короткие сроки.

Данные по проекту представлены в табл. 2.

Таблица 2

Мост Атарот, созданный по технологии продольной надвигки

1	Длина моста (средняя)	189,5 м
2	Площадь проезжей части	6045 м ²
3	Максимальный пролет	50 м
4	Преднапряженная продольная арматура: верхняя 8×15T15S, нижняя 6×15T15S с усилием натяжения 320–340 т	49 кг/м ² 34,2 кг/м ³
5	Ненапрягаемая арматура в пролетном строении	72 кг/м ³ 100 кг/м ²
8	Расход бетона пролетного строения	1,43 м ³ /м ²
9	Длина бетонируемого сегмента	13–24,5 м
10	Средний темп надвигки	7–10 дней на секцию
11	Срок строительства	25 мес.
12	Стоимость проекта	4,2 млн \$
13	Проектировщики: инж. И. Минкин, д-р М. Рабинович	Yaron-Shimoni-Shaham Consulting Engineers Ltd
14	Подрядчик	Elgad eng. Comp.

3. Развязка Ад Алом

Также, как и в случае с мостом Биньямина [1], целью данного проекта была ликвидация железнодорожного переезда на въезде в г. Ашдод и ликвидация постоянных пробок в пиковые часы на прилегающем перекрестке.

Проектируемая развязка состоит из двух путепроводов длиной 250 м и двух криволинейных рамп. Пролетное строение каждого путепровода состоит из двух частей: неразрезной многопролетной плети 35 + 4×54 + 35 м и двухпролетной подходной части 2×35 м, разделенных деформационным швом. Путепроводы имеют постоянную ширину (11 и 13 м) по всей длине, кроме подходных пролетов. К путепроводам примыкают две рампы: с севера длиной 200 м и шириной 11 м и с юга длиной 250 м и шириной 13 м. Все мосты выполнены по неразрезной схеме, имеют коробчатую форму сечения постоянной высоты 2,35 м. Данные по проекту приведены в табл. 3.

В оригинальном проекте в качестве технологии возведения была избрана продольная подвижка в сочетании с бетонированием на подмостях нерегулярной части двухпролетного моста.

Таблица 3

Развязка Ад Алом, возведенная методом бетонирования на подмостях

1	Общая длина шести мостов	1130 м
2	Площадь проезжей части	15 500 м ²
3	Максимальный пролет	54 м
4	Преднапряженная арматура	55 кг/м ³
5	Ненапрягаемая арматура	180 кг/м ³
8	Расход бетона	0,76 м ³ /м ²
9	Длина бетонируемого сегмента	54–100 м
10	Средний темп бетонирования секции длиной 70 м	40–50 дней
11	Срок строительства	26 мес.
12	Стоимость проекта	51,7 млн \$
13	Проектировщики: д-р В. Браун, инж. И. Гоноровский	PAKATZ eng.
14	Подрядчик	Shafir eng. comp.

Подрядчик предложил весь мост бетонировать на подмостях. На участках пролетов над железной дорогой и действующим шоссе использовались сборные элементы коробчатого очертания с дополнительной стенкой для обеспечения жесткости сечения. Длина секции составляла порядка 30 м, а максимальный вес элемента, монтируемого краном СС-2000, — 350 т (рис. 4). На все мосты было изготовлено 12 элементов — половинок коробок. Установка сборных элементов выполнялась на временных опорах с последующим объединением монолитным продольным швом.



Рис. 4. Монтаж сборного элемента

Бетон пролетных строений М-600 поставлялся с завода, специально возведенного в районе строительства. В качестве преднапрягаемой арматуры использовались кабели 19Т15S. Оборудование и комплектующие детали для преднапряжения (анкера и соединительные муфты) поставлялись фирмой ALGA. Опорные части были двух типов: эластомерные type V и стаканые опорные части VF 1800-180-180 производства фирмы FIP, Италия. Деформационные швы между мостами — модулярные типа D-160, а в конце подходной части путепровода — D-80 (оба фирмы MAURER). По концам главных мостов и рамп смонтированы швы типа GPE-250 производства FIP.

Подмости, внешняя и внутренняя опалубка пролетного строения поставлены фирмой ДОКА. Для обеспечения заданного темпа строительства был принят модуль бетонирования порядка 70 м длиной. На путепроводах таких модулей было по четыре, на рампах всего было пять модулей. Количество подмостей позволяло готовить очередную секцию параллельно с бетонированием предыдущей.

В процессе строительства были выявлены недостатки принятого сечения — использование многостенчатых коробок неудобно при производстве работ и менее экономично. Вместе с тем бетонирование на подмостях позволяет производить работы одновременно на разных участках, что делает его конкурентоспособным с другими, менее трудоемкими методами.

Библиографический список

1. Браун Р., Хайтман М. Опыт строительства клееных сегментных железобетонных мостов средних пролетов в Израиле // Настоящий сборник. С. 108–113.