

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)



Кафедра мостов и транспортных тоннелей

КУРЛЯНД В.Г • КУРЛЯНД В.В.

СТРОИТЕЛЬСТВО МОСТОВ

ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ



КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

МОСКВА 2009

Настоящий конспект лекций является пилотным вариантом учебного пособия по курсу «Строительство мостов», издание которого планируется в 2009...2011 годах.

Помимо учебного пособия к изданию готовятся «Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Строительство мостов».

Перечисленные пособия будут являться наиболее современными источниками для выполнения курсового проекта, подготовки к сдаче экзаменов и зачетов по дисциплине «Строительство мостов» («Строительство городских транспортных сооружений»).

В процессе выполнения курсового проекта следует воспользоваться настоящим конспектом, с помощью которого возможны:

- а) разработка вариантов схем возведения различных пролетных строений;
- б) разработка отдельных стадий производства работ по вариантам;
- в) разработка регламентов на отдельные виды работ.

Настоящий конспект лекций является одним из промежуточных (пилотных) вариантов Части II будущего методического пособия. К моменту выпуска пособия в печать будут осуществлены переработки, изменения и дополнения в тексте и иллюстрациях. При этом будут учтены мнения студентов, ознакомившихся с настоящей работой.

Рекомендуется для специальности 270201 – «Мосты и транспортные тоннели», специализации 270201 (1) – «Мосты и транспортные тоннели», 270201 (2) – «Городские транспортные сооружения»

ВВЕДЕНИЕ

По конструктивно-технологическим параметрам пролетные строения мостов можно разделить на следующие типы:

1. Сборные железобетонные
2. Монолитные железобетонные
3. Сборно-монолитные железобетонные
4. Сталежелезобетонные с монолитной железобетонной плитой
5. Сталежелезобетонные со сборной железобетонной плитой
6. Стальные со сплошностенчатыми главными балками (в т.ч. коробчатыми) со сварными или болтовыми (на высокопрочных болтах) монтажными соединениями и ортотропными плитами проезжей части
7. Сквозные стальные пролетные строения с монтажными соединениями на высокопрочных болтах.

К особой категории можно отнести стальные висячие, вантовые и арочные мосты с большими пролетами.

Также по конструкции и технологии возведения в отдельную группу следует выделить деревянные мосты.

До начала строительства разрабатывается проект организации строительства (ПОС) и проект производства работ (ППР) с учетом конкретных местных условий. Стадийность проектирования строительства и содержание его этапов изложены в [1] и [2].

При достаточно хорошо проработанной технологии сроки строительства значительно сокращаются, достигается высокое качество сооружения в целом. Чем выше качество строительства, тем продолжительнее сроки нормальной эксплуатации сооружения.

Практика показывает, что при низком качестве строительного-монтажных работ сборные железобетонные пролетные строения служат до капитального ремонта не более 30...40 лет при нормативных сроках 80 лет и более (по нормам Великобритании при условии качественного содержания и регулярного квалифицированного обследования срок службы моста должен составлять не менее 120 лет).

При разработке ПОС и ППР учитываются следующие основные факторы:

- система моста (балочная разрезная, балочная неразрезная, рамная, арочная);
- пролет (малый, средний, большой);
- длина моста;
- высота моста и подмостовой габарит;
- тип мостового сооружения (мост, путепровод, эстакада);
- климат;
- рельеф;
- транспортные условия;
- режим реки;
- наличие производственной базы и расстояние от объекта строительства до специализированных заводов мостовых конструкций;
- оснащенность мостостроительных организаций крановым и прочим оборудованием;
- квалификация инженерно-технического персонала мостостроительной организации.

Одним из наиболее распространенных в настоящее время конструктивных типов строящихся в РФ пролетных строений являются железобетонные балочные разрезные (или температурно-неразрезные) пролетные строения, армированные предварительно напряженной (или ненапрягаемой) рабочей арматурой, перекрывающие пролеты до 33 м.

В последние годы получили широкое распространение железобетонные балочные неразрезные монолитные пролетные строения, особенно часто применяемые в городских транспортных сооружениях (путепроводах, эстакадах и пр.). Такие системы возводят с использованием современных технологий и оборудования.

Для пролетов 20...65 м находят широкое применение сталежелезобетонные пролетные строения со сборной или монолитной плитой проезжей части.

Коробчатые стальные пролетные строения с ортотропной плитой проезжей части используют для больших пролетов до 150...200 м.

За рубежом, в Западной Европе, Китае, Вьетнаме, на Ближнем Востоке применяется широкий спектр конструктивно-технологических решений. В частности, в балочных мостах используют сборно-монолитные пролетные строения с изготовлением сборных ребер на приобъектных полигонах и натяжением рабочей арматуры на бетон. Во Франции, Китае и других странах применяется «русский метод» строительства составных предварительно напряженных пролетных строений.

1. Монтаж сборных железобетонных балочных пролетных строений из цельнопролетных элементов

1.1. Общие данные

Сборные балочные пролетные строения можно подразделить на ребристые и плитные. Пролетные строения формируются из отдельных монтажных блоков - балок или плит (рис. 1.1).

Весовые и геометрические параметры монтажных элементов приведены в приложении 1 настоящего пособия.

Наибольшее распространение в последние годы находят ребристые пролетные строения (ПС) из цельноперевозимых тавровых балок полной длиной до 33 м (рис 1.1, а,б,в) с монолитными продольными стыками по плитам балок.

По типу рабочего армирования пролетные строения подразделяются на конструкции:

- с арматурными каркасами из арматуры без предварительного напряжения;
- с напрягаемой арматурой, в основном, из пучков канатов К-7.

Предварительно напряженные цельноперевозимые балки таврового сечения чаще всего изготавливают на заводах МЖБК. В Московском регионе такие заводы расположены в Бескудниково, а также в городах Дмитрове и Хотьково. Максимальная полная длина

тавровых цельноперевозимых балок составляет 33 м, вес блоков - около 60 т. Их перевозка осуществляется по автомобильным и железным дорогам.

Балки с поперечным сечением, показанным на рис. 1.1, а, и полной длиной 42 м в виду их значительного веса (до 90 т) и полной длины не являются *цельноперевозимыми*. Возможны два варианта их конструкции:

- монолитные главные балки, изготавливаемые непосредственно на объекте в специальном стенде (рис. 1.3);
- сборные главные балки, укрупнительная сборка которых производится на объекте из отдельных блоков (рис. 1.11).

Плитные пролетные строения из пустотных, сводчатых или П-образных плит (рис. 1.1, г,д,е) применяются значительно реже. В процессе эксплуатации их шпоночные монтажные соединения довольно часто расстраиваются, и возникает «клавишный эффект». В настоящее время по верху таких пролетных строений проектами предусматривается устройство монолитной железобетонной накладной плиты толщиной не менее 110 мм, что делает необходимым классифицировать эти пролетные строения, как *сборно-монолитные*.

Особого внимания заслуживают сборно-монолитные пролетные строения со сборными ребрами, армированными обычной или предварительно напряженной рабочей арматурой (рис. 1.1, ж) и монолитной плитой проезжей части. Ребра таких сборно-монолитных пролетных строений могут иметь различную форму поперечного сечения (трапециевидную, прямоугольную, с нижним уширением и др.) в зависимости от рабочего армирования. Монолитная плита бетонируется на месте.

Сборные ребра чаще всего изготавливаются на заводах или специализированных полигонах аналогично цельноперевозимым балкам. Однако вес таких ребер меньше, чем балок полного сечения, что облегчает их транспортировку и монтаж.

Такое конструктивное решение применяется в следующих случаях:

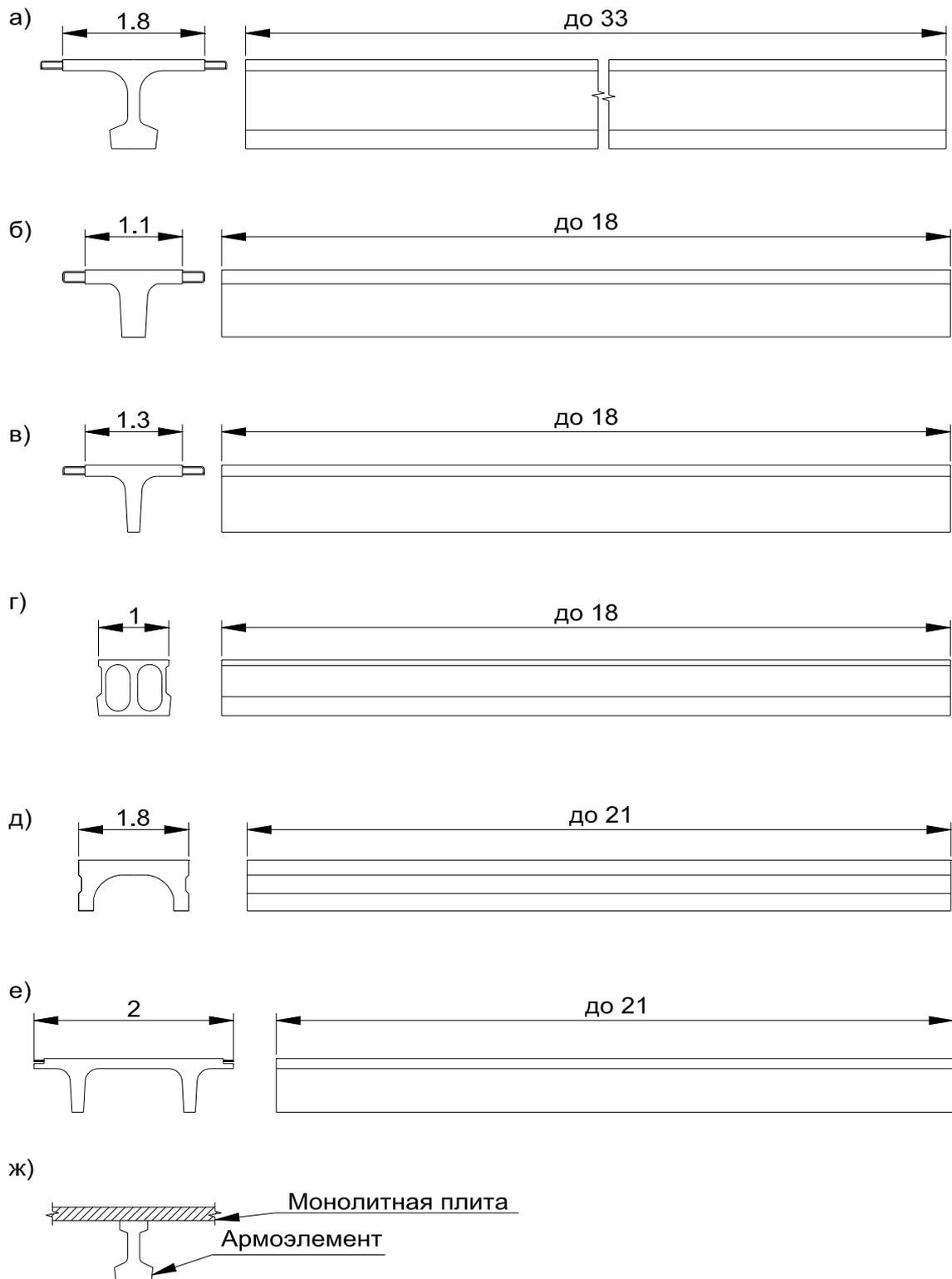


Рис. 1.1. Конструкция цельноперевозимых балок и плит:
 а, б - с предварительно напрягаемой арматурой; в - с ненапрягаемой каркасной арматурой; г - пустотные плиты; д - сводчатые плиты; е - двухконсольные П-образные плиты; ж - сборно-монолитное пролетное строение с полнопролетным сборным ребром

- а) при большой удаленности объекта строительства от завода (полигона) и отсутствии на объекте квалифицированной рабочей силы;
- б) в криволинейных городских транспортных сооружениях, где становится возможным бетонирование криволинейной в плане монолитной плиты проезжей части.

1.2. Изготовление цельноперевозимых балок и их транспортировка

Изготовление предварительно напряженных цельноперевозимых балок с натяжением арматуры на упоры до бетонирования на заводах МЖБК осуществляется по поточно-агрегатной технологии в специализированных цехах. Основным агрегатом является передвижной («катучий») силовой стенд, на который производится натяжение предварительно напряженной арматуры. Работы по изготовлению балок выполняются в главном цехе завода на специализированных постах (рис.1.2). На каждом посту имеется оборудование для определенных работ. На посту арматурных работ устанавливается обычная арматура в виде заранее изготовленных в арматурном цехе сеток и каркасов, проводится установка пучков и их натяжение гидравлическими домкратами двойного действия с передачей сил предварительного натяжения на передвижной стенд.

На посту бетонирования в раскрывающуюся стальную опалубку укладывается бетонная смесь и уплотняется с помощью вибрации, а также проводится предварительная выдержка бетона для набора начальной прочности.

Для ускорения процесса изготовления проводится тепловлажностная обработка изделий в специальных пропарочных камерах при максимальной температуре 70...80°С. После пропаривания силы предварительного напряжения передаются на бетон. Срок изготовления одного блока при трех поточных линиях составляет 1 сутки. Подробно эта технология изложена в [1].

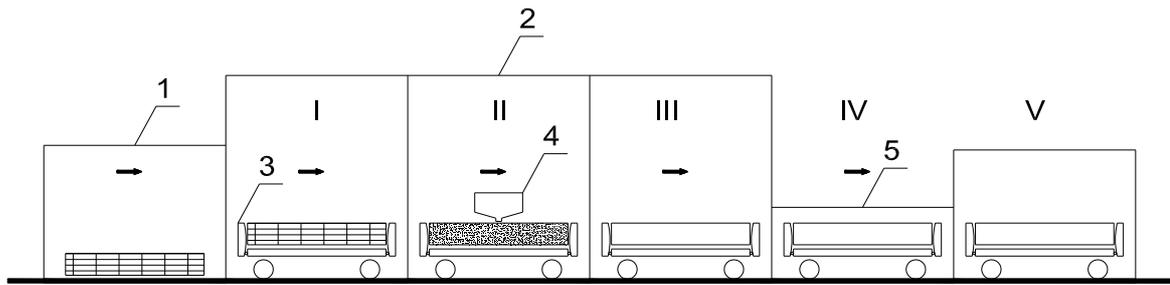


Рис.1.2. Схема поточно-агрегатной технологии изготовления цельноперевозимых предварительно напряженных балок на заводе МЖБК: 1 - арматурный цех; 2 - главный корпус завода; 3 - передвижной стенд; 4 - бетоноукладчик; 5 - пропарочная камера; I - пост арматурных работ; II - пост бетонирования; III - пост предварительной выдержки; IV - пост тепловлажностной обработки; V - пост отделки и передачи сил предварительного напряжения на балку

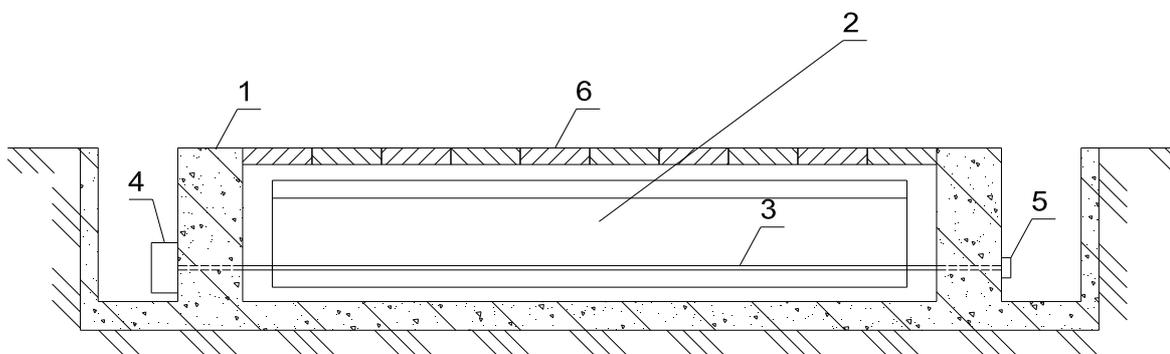


Рис.1.3. Схема стандового изготовления цельнопролетной предварительно напряженной балки: 1 - силовой железобетонный стенд заглубленного типа; 2 - изготавливаемая балка; 3 - напрягаемая арматура из канатов К-7; 4 - домкрат двойного действия; 5 - глухой анкер; 6 - крышка из железобетонных плит

Готовые балки перевозят по автомобильным дорогам на расстояние до 100 км на специальных «балковозах» тягачами с мощностью двигателя не менее 200...600 л.с. Каждая перевозка балок согласуются с эксплуатирующими дорожными организациями и ГИБДД. На большие расстояния (до нескольких тысяч километров) балки могут перевозиться по железной дороге.

Кроме заводского поточно-агрегатного метода изготовления, применяется стендовый метод (в основном на производственных базах мостостроительных организаций или непосредственно на строительной площадке). Стационарный стенд сооружают из железобетона и заглубляют в грунт (рис.1.3).

Все работы выполняются комплексной бригадой с производительностью 1 блок в неделю. Для ускорения процесса изготовления применяется тепловлажностная обработка. Для этого стенд накрывают сверху специальными железобетонными плитами, и организуется пропарочная камера.

1.3. Особенности изготовления тавровых типовых балок с каркасной арматурой

Типовые сборные пролетные строения с каркасной ненапрягаемой арматурой (рис. 1.1, в), запроектированные институтом «Союздорпроект», применяются в нашей стране более 50 лет.

В 1960...1970 гг. арматурные каркасы изготавливались сварными. Однако после нескольких аварий с обрывом арматуры в местах сварки стержней (из-за их «подрезания») перешли на вязаные каркасы. Тем не менее, и в вязаных каркасах стержни арматуры сначала приходится «прихватывать» сваркой для удержания их в проектном положении.

Каркасные балки сейчас часто изготавливают стендовым методом на базах мостостроительных организаций, занимающихся строительством и ремонтом мостов. Для формования балок используют металлическую раскрывающуюся опалубку.

Максимальная полная длина балок 18 м; толщину плиты проезжей части балок в последние годы увеличили с 15 до 18 см.

Для объединения между собой на плитах балок имеются выпуски арматуры сеток. Для удобства строповки устраиваются монтажные петли. Вес блоков в тоннах приблизительно численно равен полной длине балок в метрах, т.е. составляет ≈ 1 т/м.

1.4. Краны, применяемые для монтажа блоков балок

В мостостроении применяют общестроительные и специальные краны для мостостроения. Общестроительные краны всегда предпочтительнее специальных из-за дефицитности последних и необходимости их перевозки, сборки и разборки, что может составить значительную часть времени и стоимости монтажа.

Схемы применения того или иного типа крана для монтажа сборных железобетонных мостовых конструкций обусловлены многими факторами: весом блока, местными условиями (продольный профиль, свойства грунтов в пойме, режим реки, климат), возможности строительной организации.

Стреловые полноповоротные самоходные краны наиболее широко применяют для монтажа балок полной длиной до 33 м. Основные характеристики кранов приведены в справочниках [10,12,15].

Краны с решетчатыми стрелами обладают более пологими грузовыми характеристиками по сравнению с кранами, имеющими телескопические подпорные стрелы, вес которых в 2...4 раза больше.

Для продолжительных работ на строительной площадке предпочтительнее **гусеничные краны**, которые могут работать без выносных опор (аутригеров). Такие краны могут передвигаться при монтаже в пролет моста с балкой массой до 80% от предельной грузоподъемности. Однако для гусеничных кранов в большей степени, чем для колесных, необходим твердый настил из железобетонных (дорожных) плит по слою песка или щебня. Это объясняется тем, что основная нагрузка (собственный вес крана + вес груза) приходится на переднюю часть трака.

Таким образом, пневмоколесные краны имеют преимущества перед гусеничными при частых перемещениях с объекта на объект, однако проигрывают при необходимости работы без выносных опор.

Козловые краны целесообразно применять для монтажа балок пролетных строений в пойме и для эстакад на подходах к мостам при их достаточно большой протяженности (больше 100 м) и количестве пролетов более пяти. При этом рационально использовать козловые краны для комплексного монтажа как тела опор, так и пролетных строений.

Для мостов применяют козловые краны К-451 (К-451М) и К-651 грузоподъемностью 45 т и 65 т соответственно, КС-50-42Б грузоподъемностью 50 т и с пролетом 42 м.

Козловые краны перевозят на объект в разобранном виде. Они состоят из ригеля и двух ног, причем для исключения заклинивания и опрокидывания крана одна нога гибкая. Некоторые конструкции кранов могут иметь только жесткие ноги. Пути под кран состоят из щебеночного балласта, деревянных шпал и рельсов; пути должны быть в высшей степени надежными. На концах путей устраиваются упоры (пружинные буферы).

В русловой части при относительно небольшой глубине могут быть устроены подкрановые эстакады из инвентарных конструкций МИК-П с пролетами ≈ 12 м. При этом стоимость строительно-монтажных работ увеличивается на 20% и более.

Консольно-шлюзовые краны являются специальными грузоподъемными механизмами для монтажа мостовых балок длиной 21, 24, 33 и 42 м и весом 35...100 т. Они подразделяются на сборно-разборные, перевозимые на объект в разобранном виде (ГП 2×30, МКШ-100), и мобильные шлюзовые краны (КШМ-35, КШМ-63, КШМ-40). Указанные мобильные краны перевозятся по автомобильным дорогам в собранном виде и могут применяться для монтажа балок весом 35...63 т и полной длиной 21, 24 и 33 м. Эти краны широко применялись при строительстве мостов в Московской и Ленинградской областях.

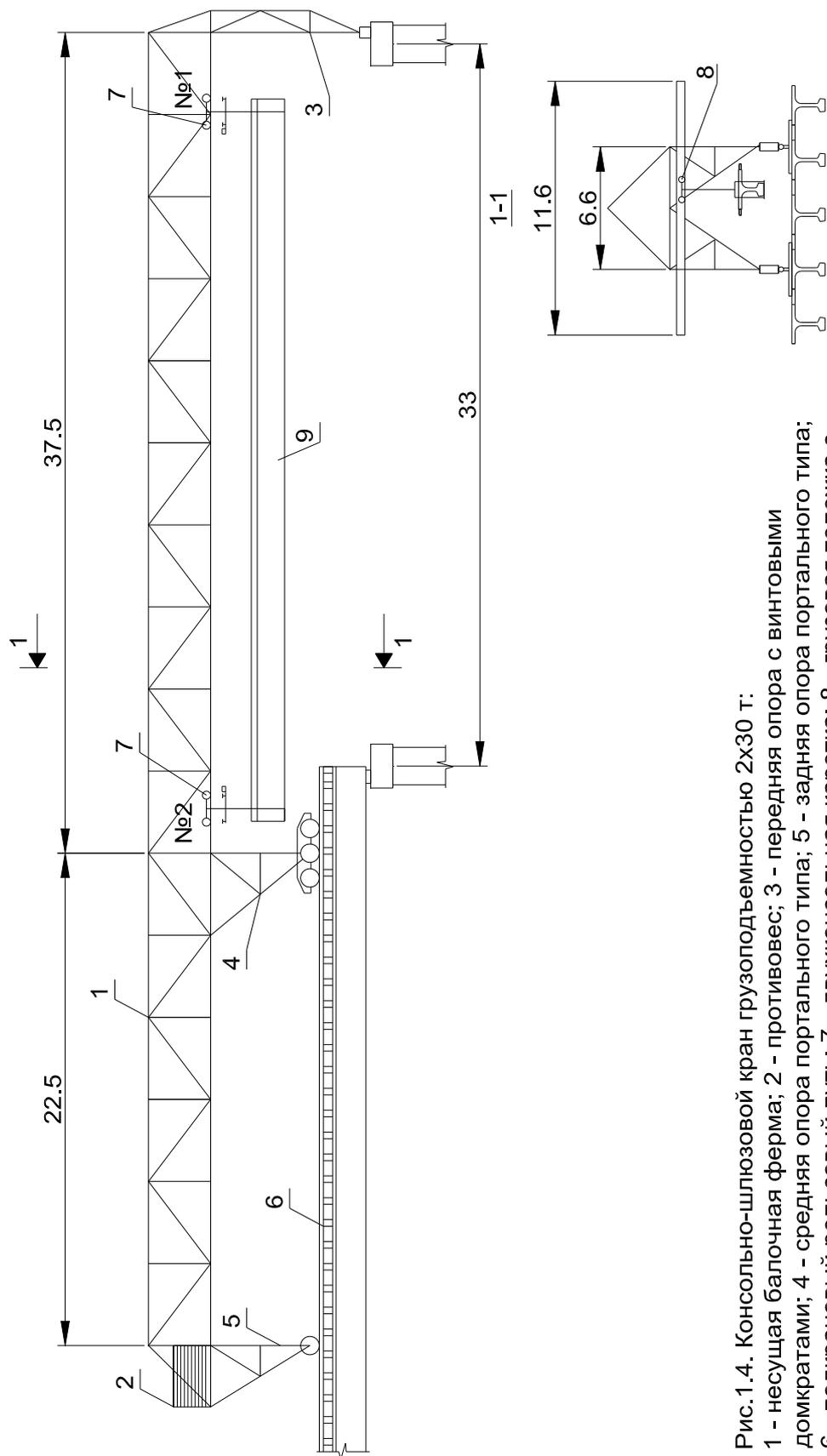


Рис.1.4. Консольно-портальный кран грузоподъемностью 2х30 т:
 1 - несущая балочная ферма; 2 - противовес; 3 - передняя опора с винтовыми домкратами; 4 - средняя опора portalного типа; 5 - задняя опора portalного типа; 6 - подкрановый рельсовый путь; 7 - двухконсольная каретка; 8 - грузовая тележка с полиуретанами; 9 - монтируемая балка

Для монтажа балок полной длиной 42 м и весом 90 т применяется шлюзовой кран МКШ-100 грузоподъемностью 100 т. Особенностью конструкции МКШ-100 является перемещение его в пролет с помощью специальной транспортной балки. Подробно порядок работы крана МКШ-100 изложен в [12]. Аналогичные краны используются за рубежом, например, в Ливане.

Работы консольно-шлюзовыми кранами ведутся в несколько стадий.

Стадия 1. Для возможности работы шлюзовых кранов необходимо отсыпать насыпь подхода.

Стадия 2. Если кран сборно-разборный, его собирают на насыпи с помощью легких самоходных стреловых кранов. Продолжительность сборки зависит от марки крана и квалификации персонала. Сборка может продолжаться 7...14 суток и более.

Стадия 3. Кран устанавливается в рабочее положение на опоры моста (устой и опора 2). В момент выведения несущей фермы (стрелы крана) в рабочее положение она работает по консольной схеме. Когда передняя нога крана устанавливается на следующую опору, стрела крана начинает работать, как балка.

Стадия 4. Под кран с тыла подается блок пролетного строения (сборная балка). Передний конец балки стропуется к грузовой тележке крана №1. После этого балку продвигают в пролет («шлюзуют»). Передний конец балки остается на тележке №1, и перемещается вместе с ней; задний конец балки перемещается на транспортировочной тележке или вагонетке по путям на подходе.

Стадия 5. Задний конец балки стропуется к грузовой тележке крана №2; балка «дошлюзовывается» в пролет и устанавливается в проектное положение. Во избежание опрокидывания балки ее опирают на специальные монтажные упоры, устанавливаемые на опорах, а стержни арматурных выпусков плиты «прихватываются» сваркой.

Стадия 6. Переход крана в следующий пролет.

Старый кран КШК 2×32 не мог перемещаться в поперечном направлении по опорам моста. Вследствие этого приходилось после

подачи балки в пролет передвигать ее в поперечном направлении домкратами по специальным путям, проложенным по ригелям опор.

В случае использования старого крана КШК 2×30 при габаритах более Г-8 монтаж было необходимо вести за несколько проходов крана.

Более новые модификации кранов (например, КШМ-35, КШМ-40, КШМ-63 и МКШ-63) для установки балки в проектное положение сами перемещаются вместе с ней по поперечным путям, устраиваемым на опорах. Таким образом, возможен монтаж пролетных строений под любые габариты.

Мобильные шлюзовые краны перемещаются вдоль оси моста на пневмоходу. Для старых кранов, которые иногда используются в настоящее время, необходимо укладывать рельсовый путь. При передвижении шлюзового крана в следующий пролет (стадия б) стрела крана (несущая ферма) опять работает, как консоль до тех пор, пока передняя нога не достигнет следующей опоры моста.

После окончания монтажа во всех пролетах шлюзовые краны разбирают; при монтаже мостов со всеми одинаковыми по длине пролетными строениями кран разбирается на противоположном берегу.

Надо отметить, что применение в нашей стране шлюзовых, особенно сборно-разборных кранов, в настоящий момент достаточно редкое явление. Это объясняется наличием незначительного числа таких кранов, сложностью их перевозки, сборки и разборки. Поэтому многие мостостроительные организации полностью от них отказались. Тем не менее, при строительстве отдельных мостов использование шлюзовых кранов даже старых конструкций продолжается.

Рассмотрим в качестве примера консольно-шлюзовой кран ГП 2×30 (рис.1.4). Его применение начато в 1957 г. Кран разработан ЦНИИПСК для монтажа железобетонных балок длиной до 33 м и весом до 60 т. Вес самого крана составляет 82 т.

Кран состоит из несущей балочной фермы, опирающейся при перемещении на две опоры порталного типа, а в рабочем

положении - еще и на переднюю вспомогательную опору. Задняя опора установлена на ведомую ходовую одноосную тележку, а средняя опора на приводную трехосную тележку. Передняя опора имеет винтовые домкраты для выборки прогиба консоли главной фермы (стрелы), возникающего при выведении ее в пролет.

Для продольного перемещения балок пролетных строений в пределах крана (т.е., для «шлюзования») имеются две двухконсольные каретки, по которым перемещаются грузовые тележки. Посредством этих тележек осуществляется поперечное и вертикальное перемещение устанавливаемых балок.

Для обеспечения устойчивости крана во время его перемещения из пролета в пролет предусмотрен противовес из железобетонных блоков. В комплект крана входят две вагонетки для перевозки балок со склада, фермоподъемник грузоподъемностью 60 т для монтажа балок.

Для установки балок собранный на подходе кран по рельсовым путям перемещается своим ходом в пролет до тех пор, пока передняя опора окажется над подферменниками. Опущенная на подферменник передняя опора не должна в последующем мешать установке балок.

Давление на ходовую тележку средней опоры может достичь 90 т, поэтому монтируемые конструкции (балки и опоры моста) должны проверяться расчетом на эту нагрузку. Если балки пролетных строений могут воспринять нагрузку от крана без омоноличивания (по результатам расчетов прочности и устойчивости), то обходятся временным объединением балок сваркой выпусков. При невозможности передачи давления на балки их монтажные стыки омоноличивают.

Для более равномерного распределения нагрузки на местах рабочих стоянок крана под тележками вместо шпал укладываются стальные распределительные балки.

Монтаж балок пролетных строений краном ГП 2×30 осуществляется в несколько стадий.

Стадия 1. Балку кранами или специальными подъемниками устанавливают на транспортные вагонетки и перевозят к хвостовой части крана.

Стадия 2. Ближайший к крану конец балки закрепляют на полиспасте первой грузовой тележки и снимают с транспортной.

Стадия 3. Балку с подвешенным передним и опертым на транспортную вагонетку задним концами перемещают в пролет, пока вагонетка не окажется под второй грузовой тележкой крана.

Стадия 4. После закрепления заднего конца балку продолжают перемещать в пролет до проектного положения. Затем балку перемещают в поперечном направлении и опускают на опорные части.

На складе балки грузят на вагонетки, которые затем подаются к крану приводными лебедками или мотовозом. Для строповки балок применяют захватные приспособления, предусмотренные в комплекте крана, а в плите монтируемой балки оставляют отверстия (окна), сквозь которые пропускают тяги, подхватывающие балку.

Для работы в следующем пролете кран перемещается по рельсовым путям, которые для этого укладывают на смонтированное пролетное строение. Также устраиваются отдельные пути для подачи балок.

За смену бригада из 8 ч может смонтировать 2...7 балок в зависимости от навыков.

Недостатки крана ГП 2×30:

1. При больших габаритах необходимо проходить краном несколько раз по ширине.
2. Трудоемкость сборки крана (бригада монтажников из 12 человек собирает кран 9...20 суток (!)).

Таким образом, применение консольно-шлюзовых кранов наиболее целесообразно в случае равнопролетной схемы моста, включающей три и более пролета, а также при невозможности применения другого кранового оборудования.

Жестконогие деррик-краны большой грузоподъемности применяются для монтажа железобетонных балок. Особенностью этих кранов является сохранение постоянной грузоподъемности в широком диапазоне вылета стрелы. Это объясняется тем, что кран может заанкериваться за смонтированное пролетное строение.

Неоспоримым достоинством таких кранов является их относительно малый собственный вес. Существенный недостаток заключается в высокой стоимости монтажа-демонтажа кранов.

Деррик-краны могут устанавливаться на фундаментах или перемещаться на колесных тележках. Они состоят из рамы, вертикальной стойки, вращающейся на поворотном кругу, и стрелы.

Монтажный кран МК-63 - рельсовый, полноповоротный. По принципу устройства он близок к деррик-кранам. Имеет грузоподъемность 63 т и собственный вес 100 т. Может монтировать сверху (по схеме «вперед себя») балки длиной до 33 м. Требуется анкерование к монтируемым конструкциям. Подробно конструкция, порядок сборки-разборки и работы крана рассмотрены в [12].

1.5. Схемы и правила строповки балок

При погрузке-разгрузке балок и их монтаже необходимо строго соблюдать правила строповки (захвата) балок. При выполнении монтажных работ знаки усилий (M и Q) должны совпадать со знаками усилий, которые возникают в балках в процессе эксплуатации. Таким образом, главным правилом является строповка балок в сечениях, близких к опорным.

Основные схемы строповки балочных элементов при монтаже показаны на рис. 1.5 и 1.6.

Для захвата балок крюками и стропами в их конструкциях предусматриваются петли (при малых полных длинах – до 15 м) и специальные строповочные отверстия (рис. 1.5, 1.6, в, г).

Для удобства строповки часто используют траверсы, применение которых позволяет уменьшить высоту строповки H и исключает передачу сжимающих усилий на монтируемый элемент.

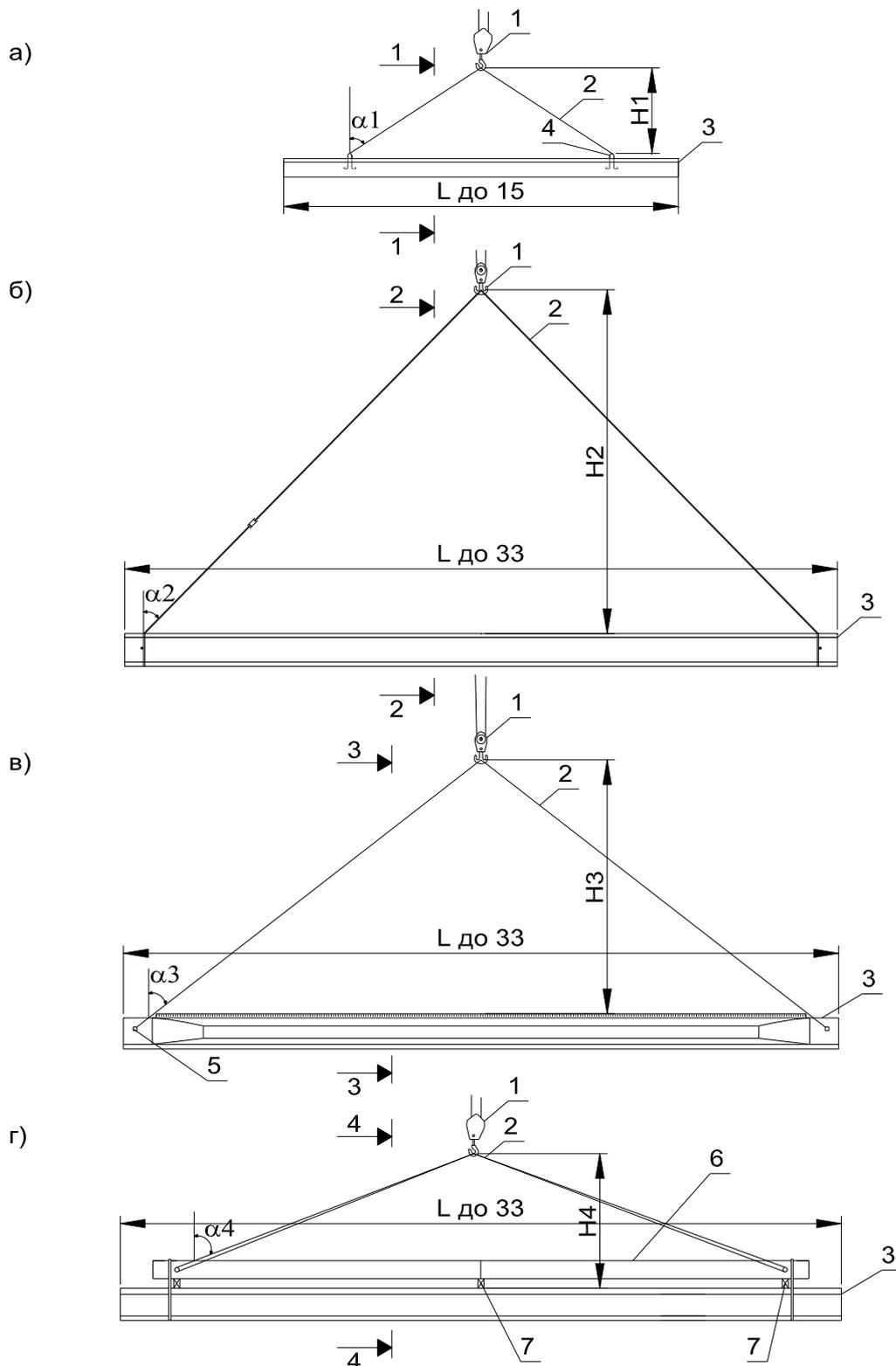


Рис.1.5. Схемы строповки цельноперевозимых балок:
 а - с использованием строповочных петель; б - через окна в плите; в - через монтажные отверстия; г - с использованием траверсы
 1 - крюк крана; 2 - строп; 3 - балка; 4 - строповочные петли; 5 - монтажное отверстие в ребре; 6 - траверса; 7 - клинья

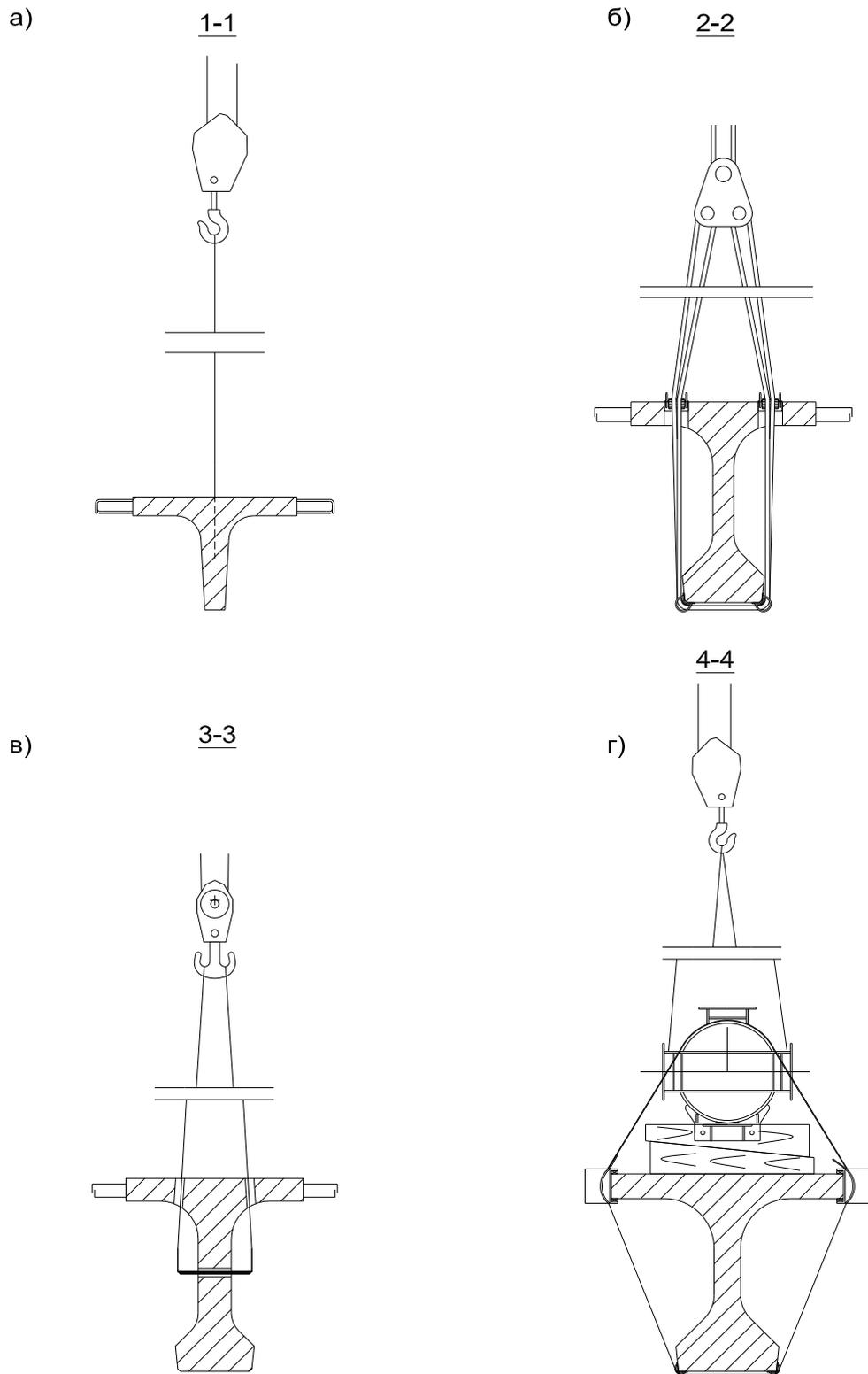


Рис.1.6. Поперечные сечения по схемам строповки:
 а - с использованием строповочных петель; б - через окна в плите; в - через монтажные отверстия; г - с использованием траверсы

В качестве стропов используются специальные канаты с гибкими сердечниками. Конструктивные особенности, а также данные для расчета и подбора стропов в зависимости от веса монтажных элементов и угла строповки α содержатся в [8] и [12].

При строповке и монтаже необходимо исключить сколы бетона балок стропами и другими приспособлениями. Для защиты плиты и ребер балок используют стальные огибатели.

1.6. Разновидности технологических схем монтажа сборных железобетонных балочных разрезных пролетных строений из цельноперевозимых балок и плит

Принципиальные схемы монтажа пролетных строений разрабатываются проектными организациями на стадии «*проекта*» (в ПОС). Детальные схемы монтажа на стадии «*рабочих чертежей*» приводятся в проекте производства работ (ППР), который подготавливается в строительной организации.

Для выбора оптимальных схем сооружения пойменных и русловых пролетных строений разрабатываются **варианты технологических схем**, и проводится их сравнение по технико-экономическим показателям.

В практике отечественного мостостроения применяются следующие принципиальные схемы установки цельноперевозимых балок и плит в проектное положение (рис.1.7, 1.8, 1.9).

- Схема 1.** Стреловыми самоходными кранами с земли - одним или двумя кранами в зависимости от их грузоподъемности (рис. 1.7, а).
- Схема 2.** Стреловыми самоходными полноповоротными кранами со смонтированной части моста - способ «вперед себя» - для балок полной длиной до 24 м (рис. 1.7, б).
- Схема 3.** Стреловыми самоходными кранами с рабочего мостика (рис 1.7, в).
- Схема 4.** Самоходными стреловыми кранами со льда - в районах с суровым климатом, при условии набора льдом

достаточной прочности (рис. 1.7, г).

- Схема 5.** Козловыми кранами – одним или двумя, с грунта или с применением подкрановых эстакад (рис. 1.8, а).
- Схема 6.** Консольно-шлюзовыми кранами (рис. 1.8, б).
- Схема 7.** Плавучими кранами с воды (рис. 1.8, в).
- Схема 8.** Деррик-кранами «впереди себя», или монтажным краном типа МК-63, перемещающимся на рельсовом ходу по смонтированным пролетным строениям (рис. 1.8, д).
- Схема 9.** Железнодорожными стреловыми кранами снизу, с путей - практикуется для монтажа пролетных строений путепроводов через железные дороги (рис. 1.9, а).
- Схема 10.** Специальными консольными железнодорожными кранами - для мостов и путепроводов под железную дорогу (рис. 1.9, б).
- Схема 11.** Перекатка балок по временной эстакаде с поперечной передвижкой по капитальным опорам - при отсутствии кранов на строительной площадке (рис. 1.9, в).

Данные по основным техническим характеристикам самоходных строительных стреловых, шлюзовых, козловых, деррик-кранов, а также железнодорожных консольных кранов и особенностям их работы приведены в справочниках [8] и [11].

Выбор схемы установки балок и плит зависит в значительной степени от возможностей и опыта работы строительной организации. Во всех случаях, где это возможно, предпочтение отдают общестроительным самоходным стреловым кранам.

Особое внимание необходимо уделять точности установки балок на опорные части. Отклонения установленных балок от проектных положений не должны превышать 5...10 мм. В противном случае при эксплуатации могут возникнуть дефекты (сколы бетона плит и ребер балок, трещины в ребрах и пр.), которые снижают долговечность конструкций и уменьшают срок их службы.

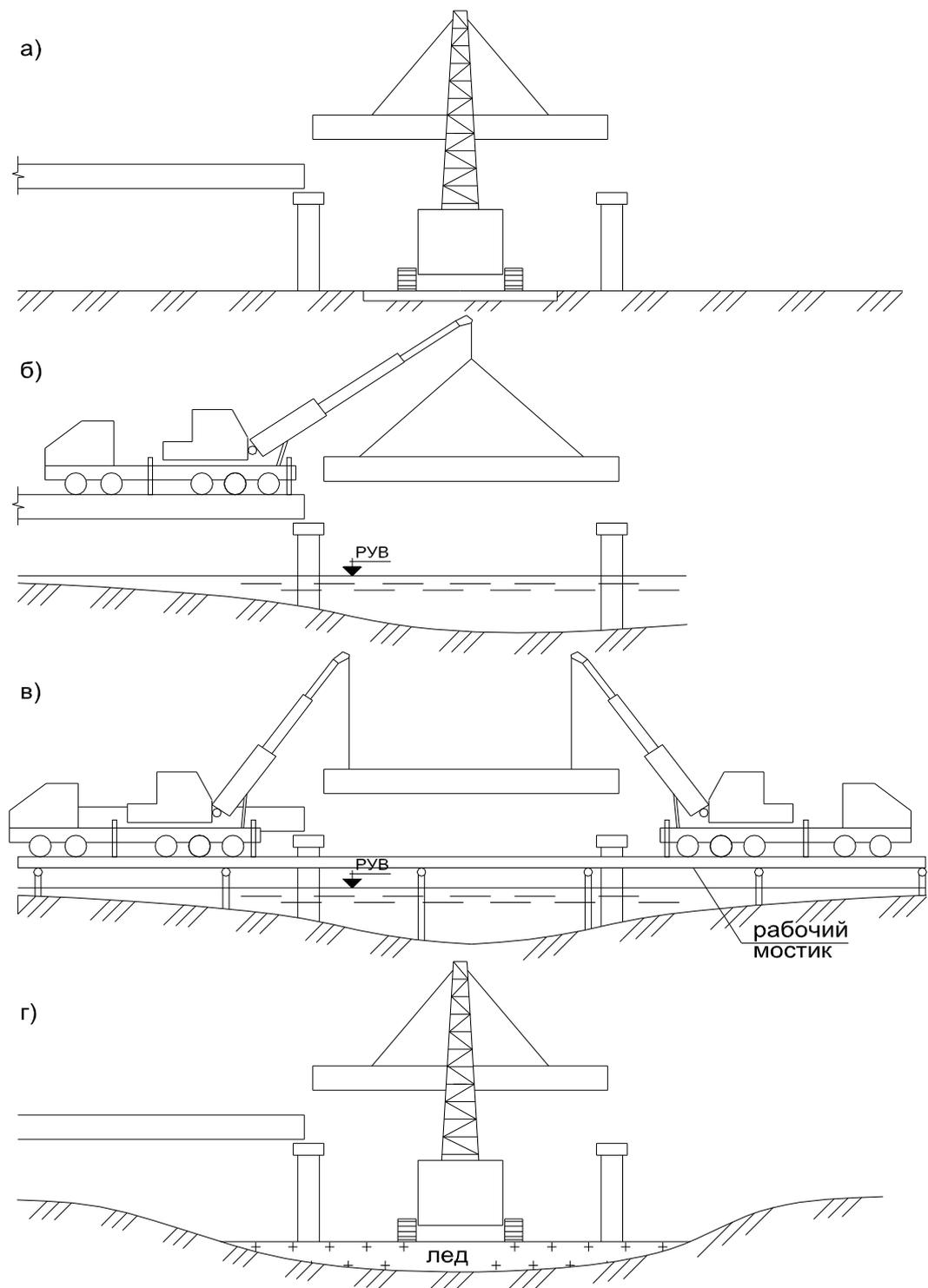
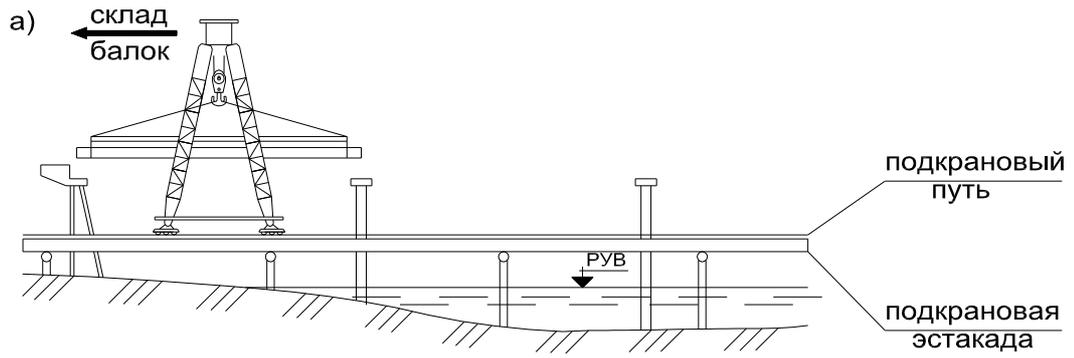
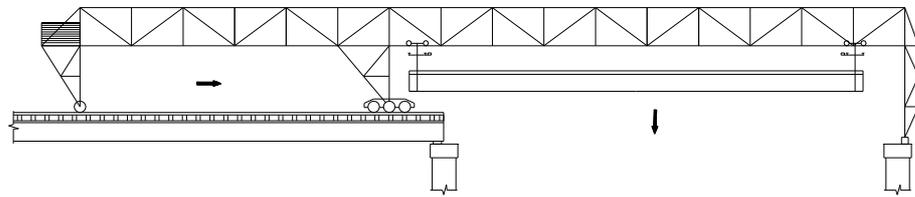


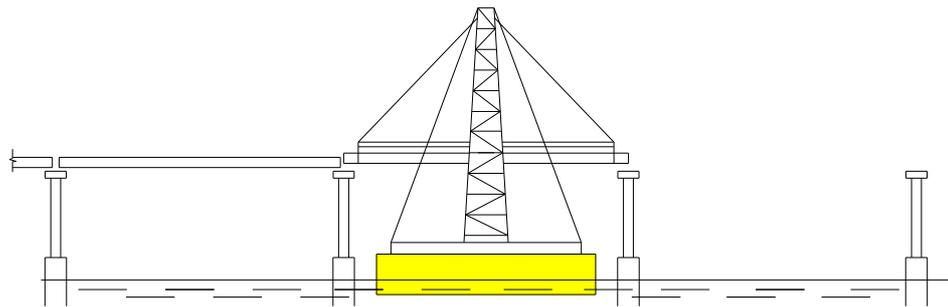
Рис.1.7. Варианты принципиальных схем монтажа разрезных балочных пролетных строений самоходными стреловыми кранами:
 а - монтаж с грунта; б - монтаж с ранее собранного пролетного строения ("вперед себя"); в - монтаж с рабочего мостика; г - монтаж со льда



б)



в)



г)

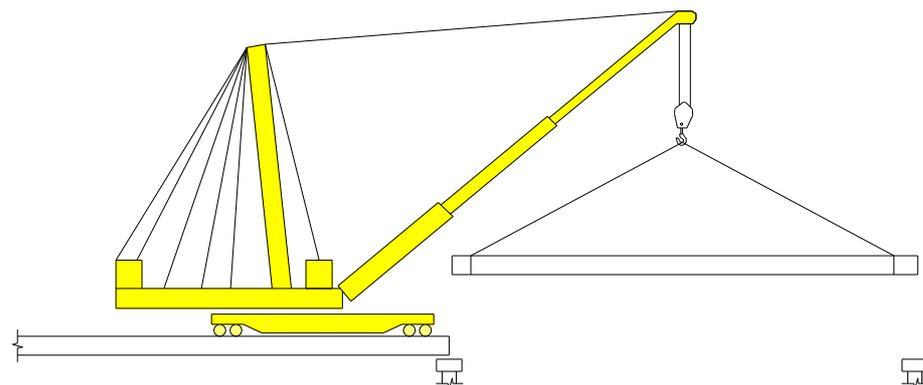


Рис.1.8. Варианты принципиальных схем монтажа разрезных балочных пролетных строений:
 а - козловым краном; б - шлюзовым краном; в - плавучим краном; г - монтажным краном на рельсовом ходу

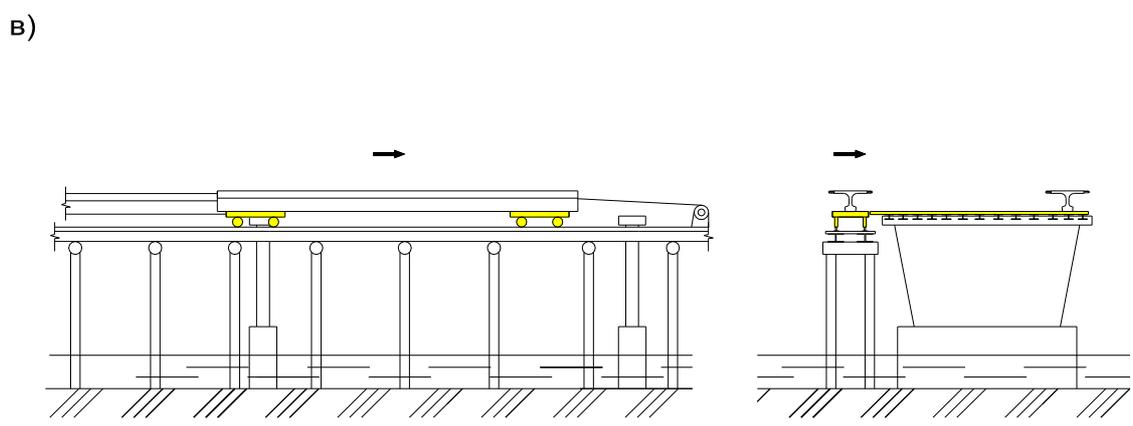
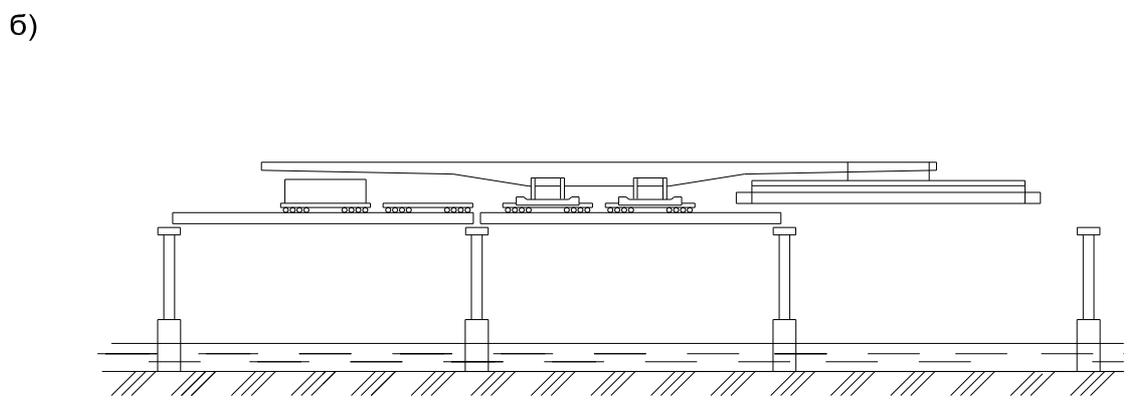
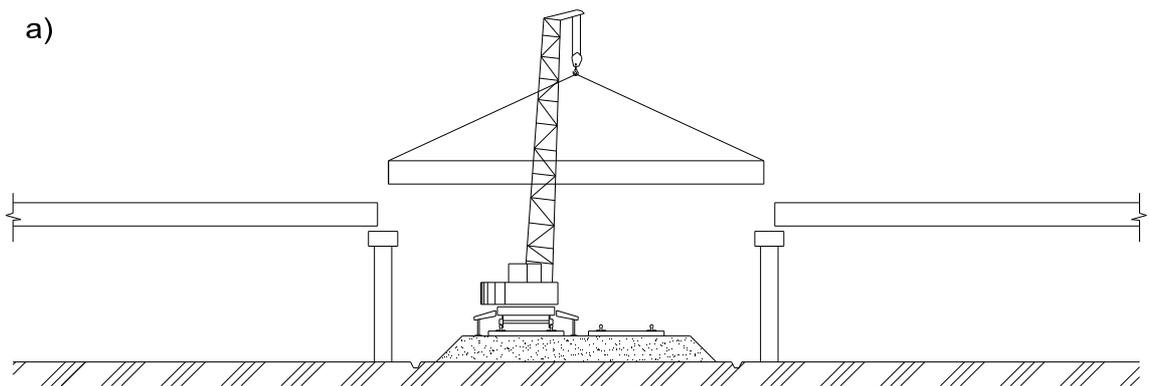


Рис.1.9. Варианты схем монтажа разрезных балочных пролетных строений:
 а - железнодорожным краном с земли (для путепроводов); б - специальным железнодорожным краном сверху; в - надвжкой по подмостям (в случае отсутствия крановых средств)

После установки балок в проектное положение и до начала перемещения кранов в целях безопасности необходимо предусмотреть надежное закрепление смонтированных блоков неустойчивого таврового сечения в проектном положении и обеспечивать геометрическую неизменяемость конструкций до устройства монолитных монтажных стыков по плите. Для этого на опорах под консоли плит балок устанавливаются временные упоры и стойки (монтажные связи). Затем устраивается монолитный монтажный стык по плите проезжей части, после чего временные связи демонтируются.

Омоноличивание тавровых балок по плите выполняется в следующем порядке:

- выпуски арматуры из плиты выправляются, очищаются от коррозии и грязи;
- устанавливается продольная противоусадочная арматура, которая фиксируется в проектном положении вручную с помощью вязальной проволоки;
- связывается и сваривается арматурный каркас продольного шва, образуемый выпусками арматуры из плиты проезжей части и противоусадочной арматурой;
- подвешивается щитовая опалубка по схеме на рис. 1.10.
- стык бетонируется и проводится уход за бетоном (в зимнее время необходим прогрев твердеющего бетона).

На каждой стадии проводится контроль качества с участием представителей Заказчика и составляются акты, в которых оценивается качество работ и делается вывод о возможности проведения дальнейших работ.

Обоснование выбора самоходного стрелового крана осуществляется по графикам «*вылет стрелы - грузоподъемность*» и «*высота подъема груза - грузоподъемность*». На чертежах, отражающих технологические схемы, в обязательном порядке приводят эти графики, подтверждающие возможность применения конкретного кранового оборудования.

Проекты производства работ должны включать технологические регламенты на основные виды работ, например,

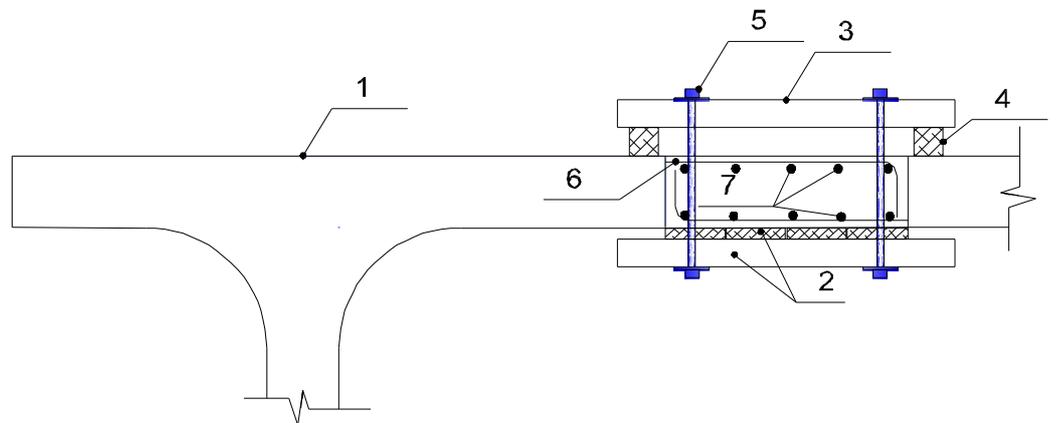


Рис.1.10. Омоноличивание балок по плите проезжей части: 1-балка; 2-опалубка; 3-поперечный брус; 4-продольный брус; 5 - шпильки с гайками и шайбами, пропускаемые в полиэтиленовые трубки; 6-выпуски арматуры из плиты балки; 7-продольная противоусадочная арматура, устанавливаемая при монтаже

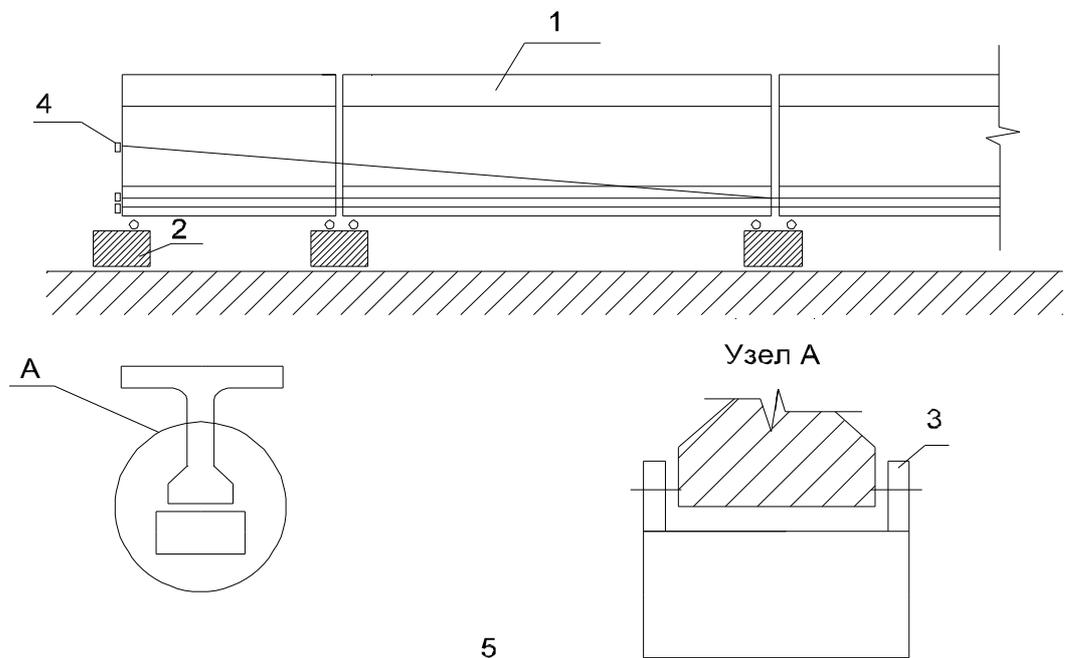


Рис.1.11. Схема укрупнительной сборки балки из блоков: 1-блок балки; 2-опора стапеля для укрупнительной сборки балки; 3-струбцины для фиксации сборных блоков в проектном положении; 4-внешний анкер арматуры;

на выполнение монтажных стыков сборных железобетонных элементов и другие работы. Эти регламенты разрабатывает технический отдел строительной организации или, в более ответственных случаях, проектные и научные организации

1.7. Укрупнительная сборка балочных разрезных составных железобетонных балок и установка их в пролет

Для условий строительства, когда перевозка цельнопролетных балок невозможна (отсутствие транспорта большой грузоподъемности и соответствующих путей подвоза, а также необходимых строительных материалов) применяются составные по длине балочные элементы. Они имеют длину до 42 м, общий вес до 90 тс и собираются из отдельных блоков длиной 3 и 6 м, которые могут перевозиться на расстояние 1000 км и более.

Блоки составных балок изготавливают на специализированном заводе МЖБК в металлической опалубке с жесткими строгаными деревянными торцевыми стенками. В бетоне нижних уширений и стенок образуют каналы для пропуска пучков предварительно напряженной арматуры.

Монтажные стыки выполняются клеевыми, на эпоксидном компаунде. Балки полной длиной 42 м собирают из двух крайних блоков длиной по 3 м и шести промежуточных блоков длиной по 6 м; высота балки составляет 2,1 м.

Укрупнительную сборку осуществляют на специальных стендах (рис 1.11). В основании стенда забивают или забуривают сваи и на них устраивают бетонные тумбы с размерами в плане 1,0×1,0 м. Каждый блок балки устанавливают на две тумбы с расположенными на их верху катками продольного перемещения. На тумбах также располагают струбцины для рихтовки блоков в плане.

Блоки составной балки устанавливают от середины пролета к торцам с помощью козловых кранов (стенд обслуживается двумя кранами К-451 г/п 45 т). Проектное положение обеспечивается с помощью струбцин и домкратов, натягаемая арматура пропускается

в каналы. Затем подготавливаются склеиваемые торцы блоков и производят пробное обжатие.

Компаунд (эпоксидная смола 100%, отвердитель ПЭПА 10..20 вес.ч., пластификатор - фуриловый спирт - в зависимости от сезона, и наполнитель - цемент) наносится на торцы блоков; блоки при этом раздвинуты от середины с зазорами ≈ 200 мм. После нанесения компаунда производится начальное обжатие стыков двумя пучками предварительно напряженной арматуры.

После достижения прочности клея на срез 25 кг/см^2 проводится натяжение до проектного усилия всех пучков домкратами двойного действия.

Сразу после натяжения для исключения коррозии арматуры проводят инъецирование каналов цементным раствором (цемент, вода, пластификатор).

При длине балки 42 м и весе 90 тс укрупненные таким образом балки можно установить в проектное положение с помощью шлюзового крана МКШ-100 или двух козловых кранов.

1.8. Возведение сборных балочных разрезных предварительно напряженных пролетных строений из цельнопролетных балок с натяжением после бетонирования

Для исключения дорогостоящей перевозки тяжелых сборных элементов цельнопролетные разрезные предварительно напряженные балки могут быть изготовлены непосредственно на строительной площадке. Арматура натягивается на готовую забетонированную балку (после бетонирования, «на бетон»); при этом не требуется устройство дорогостоящего силового стенда, показанного на рис. 1.3.

Сборные блоки длиной до 43 м изготавливают на специальных стендах (рис.1.12) на полигоне рядом с мостом. Такая технология применялась в Белоруссии, широко используется за рубежом (Франция, Ближний Восток, Ливан, Тунис; разработки многих проектов проведены фирмой «Фрейсине».

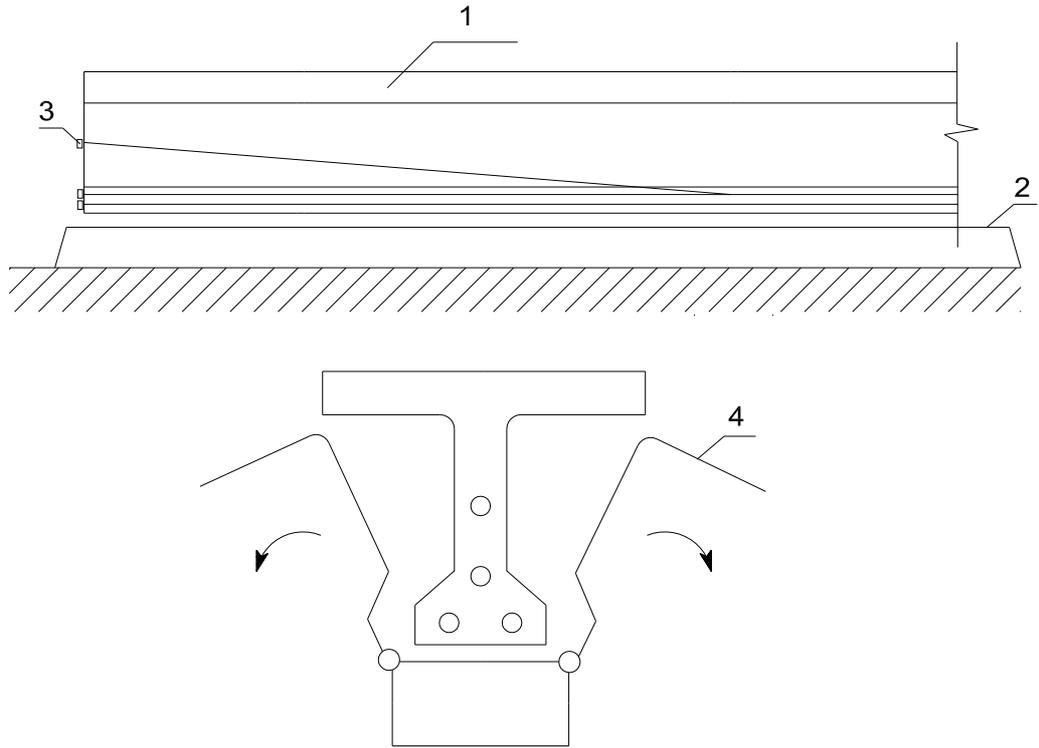


Рис.1.12. Схема изготовления цельнопролетной балки с натяжением после бетонирования: 1-бетонируемая балка; 2-стапель; 3-анкер; 4-боковая опалубка

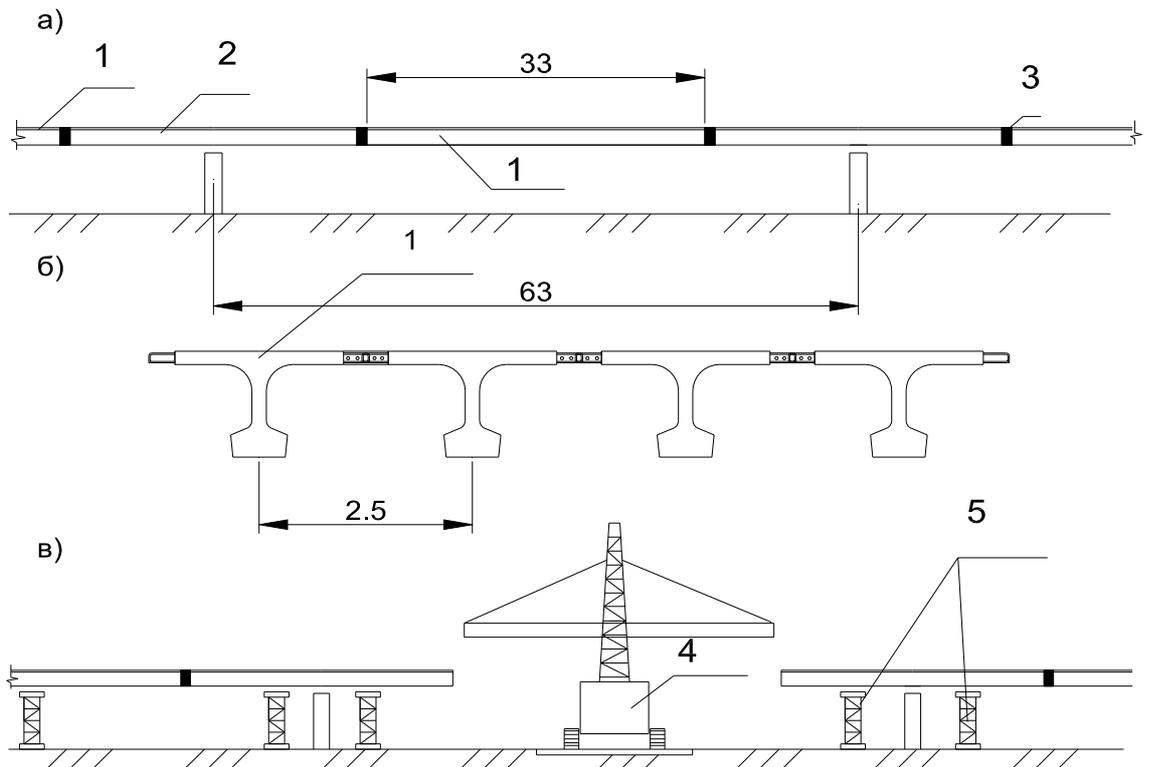


Рис.1.13. Монтаж сборных неразрезных пролетных строений из длиномерных элементов: 1-предварительно напряженный блок; 2-надпорный блок с ненапрягаемой арматурой; 3-монолитный стык; 4-стреловой самоходный полноповоротный кран; 5-временные опоры

Стенд для изготовления балок ориентируют вдоль оси моста и в холодных районах объединяют с пропарочной камерой.

Балки армируют пучками из арматурных канатов 15К-7 1400 (обычно 7 канатов в пучке); пучки расположены в нижнем уширении тавровой балки по горизонтали (в два ряда по высоте), и в стенках (в один ряд).

Пучки устанавливают в каналобразователи из оцинкованной стали. Балки имеют поперечные выпуски арматуры из плиты для устройства монтажных стыков с другими балками по плите. Возможно устройство продольных выпусков арматуры из торцов плиты для объединения балок в температурно-неразрезные системы. За рубежом практикуется, также, устройство поперечных монолитных предварительно напряженных опорных диафрагм.

Арматурные каркасы и сетки обычной арматуры (для монолитных стыков) изготавливают на строительной площадке.

Бетонирование производится в раскрывающейся стальной или деревометаллической опалубке. В регионах с теплым климатом после бетонирования балку выдерживают под влаго- и теплозащитным покрытием, или осуществляют пропаривание (в условиях умеренного или холодного климата). Для этого стенд накрывают железобетонными плитами и утепляют.

После набора прочности бетоном проводят натяжение арматуры и инъецирование каналов раствором.

Готовую балку устанавливают козловыми кранами на транспортные вагонетки и подают в пролет. В качестве монтажного агрегата часто используют консольно-шлюзовые краны.

1.9. Монтаж сборных неразрезных пролетных строений из длинномерных элементов

Неразрезные пролетные строения из ребристых балок широко использовали в мостах и путепроводах в г. Москве (Рижская эстакада, Русаковская эстакада, эстакада в Вешняках). В основу конструкции легло использование типовых преднапряженных балок длиной 33 и 24 м.

Такие сооружения могут быть криволинейными в плане и имеют минимальное количество деформационных швов.

Например, путепровод через ж/д в Вешняках (Москва) из предварительно напряженных балок Бескудниковского завода имеет монолитные продольные стыки над промежуточными опорами. Арматуру для работы на отрицательный изгибающий момент установили в монолитные стыки по плите между балками. Выпуски арматуры в продольных стыках сварили ванным способом.

При использовании дополнительных надпорных блоков с каркасной арматурой индивидуального изготовления (на базах мостоотрядов) пролеты могут достигать 50...60 м.

Монтаж выполняется с использованием дополнительных временных опор или без них с помощью стреловых самоходных кранов грузоподъемностью до 100 т с земли (рис. 1.13), или козловыми кранами грузоподъемностью 65 т, перемещающимися по подкрановым эстакадам.

2. Возведение сборных составных по длине балочно-неразрезных предварительно напряженных пролетных строений

2.1. Общие данные

Пролетные строения с пролетами до 150 м собирают из отдельных блоков длиной до 4 м и массой до 60 т. Блоки изготавливаются на заводах МЖБК или полигонах. Составные по длине железобетонные пролетные строения успешно применяются как для балочных, так и для рамных систем.

Впервые конструктивно-технологическое решение, которое за рубежом называют «русским методом», было применено в СССР в 1956 г. инж. Пшеничниковым С.Н. В Москве были построены мосты с составными пролетными строениями через р. Москву (Автозаводский, в Филях, в районе Щукино-Строгино, в Нагатино). Путепроводы рамной системы с составными пролетными строениями (ригелями) имеются на новой автомобильной дороге Москва-Волоколамск.

Однако с рассматриваемыми пролетными строениями в процессе строительства и эксплуатации произошел ряд катастроф. В последние годы часто отдается предпочтение стальным коробчатым пролетным строениям для систем с большими пролетами. Тем не менее, во многих странах (Франция, Канада, Китай, Вьетнам и др.) «русский метод» продолжает использоваться.

Пролетные строения могут быть постоянной высоты, или высота главных балок может быть увеличенной в надпорных сечениях.

В практике мостостроения был достигнут максимальный пролет 84 м для составных пролетных строений постоянной высоты (рис. 2.1,а). Однако при пролетах более 40...45 м рационально все же увеличивать высоту главных балок в надпорных сечениях. Увеличение высоты может быть организовано за счет придания нижнему поясу полигонального очертания (рис. 2.1, б), или за счет надпорных вутов (рис. 2.1, в).

Поперечные сечения могут быть коробчатыми - при пролетах 45...150 м, или плитно-ребристыми - при пролетах до ≈ 63 м (рис. 2.1, г).

В составных по длине пролетных строениях применяются следующие виды монтажных стыков:

1. Клееный стык с плотным примыканием торцевых поверхностей блоков, изготавливаемых методом «отпечатка» (метод, когда торец предыдущего блока является опалубкой для торца последующего). Такие стыки могут быть плоскими, зубчатыми или с уступами. Клеевая прослойка обеспечивает гидроизоляцию стыка и равномерное распределение нормальных напряжений.
2. Мокрый стык со сваркой выпусков ненапрягаемой арматуры - для объединения приопорных блоков и замыкания «птичек» (при навесной сборке), а также между промежуточными блоками при сборке на подмостях.
3. Мокрый стык шириной 20...50 мм между гладкими торцевыми поверхностями без выпусков арматуры с заполнением его цементным раствором. При этом не требуется изготовление блоков методом «отпечатка» и применяется обычная опалубка.

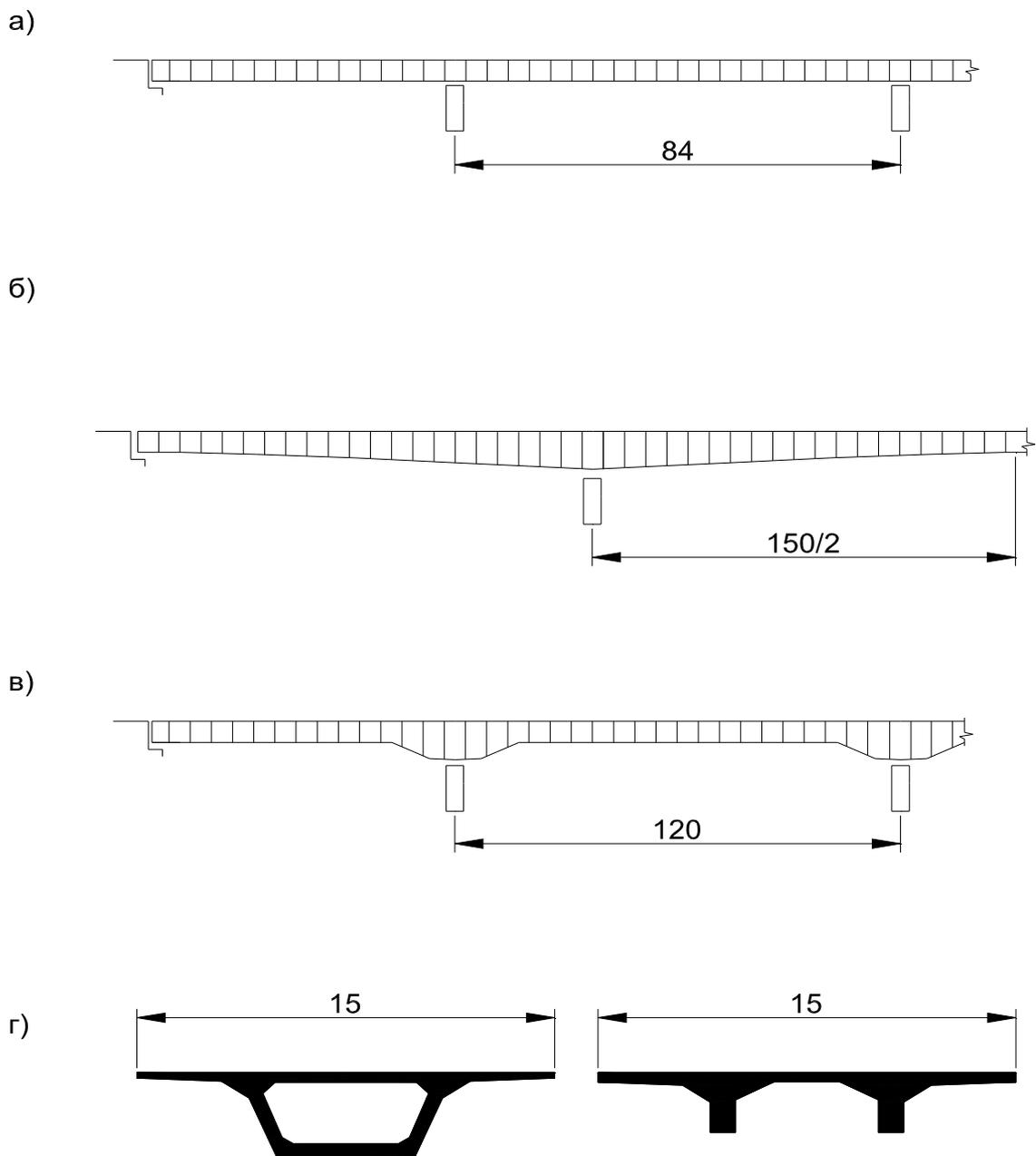


Рис. 2.1. Системы железобетонных предварительно напряженных составных пролетных строений: а-с постоянной высотой; б-с переменной высотой; в-с увеличенной высотой у опор; г-поперечные сечения

Наиболее распространен клееный стык.

Следует подчеркнуть, что конструкция пролетных строений (армирование, поперечное сечение, вид монтажных стыков и пр.) зависит от способа сборки (метода монтажа).

2.2. Способы сборки

Для возведения неразрезных балочных пролетных строений применяются следующие способы сборки (методы монтажа):

1. Сборка на сплошных подмостях - для пойменных пролетов мостов и пролетных строений путепроводов (рис. 2.2, а).
2. Навесная уравновешенная и полунавесная сборка неразрезных пролетных строений (рис. 2.2, б).
3. Попролетная сборка на продольно перемещаемых стальных подмостях плитно-ребристых пролетных строений (ПРК) - метод проф. Колоколова Н.М. (рис. 2.2, в).
4. Сборка консольно-шлюзовым краном-агрегатом (рис. 2.2, г).
5. Надвижка в сочетании с конвейерно-тыловой сборкой (рис. 2.2, д).
6. Укрупнительная сборка на берегу с последующей установкой пролетного строения в проектное положение плавучими средствами (рис. 2.2, е).

Для рамно-неразрезных и рамно-консольных систем могут быть реализованы схемы сборки на сплошных подмостях или навесная сборка.

2.2.1. Сборка на сплошных подмостях

Этот метод часто применяется для сооружения анкерных пролетных строений в пойме (рис. 2.2, а). Подмости обычно имеют металлические решетчатые или стоечные опоры и пролетные строения из двутавровых балок. Сборные железобетонные блоки доставляются со склада и монтируются козловым или стреловым краном.

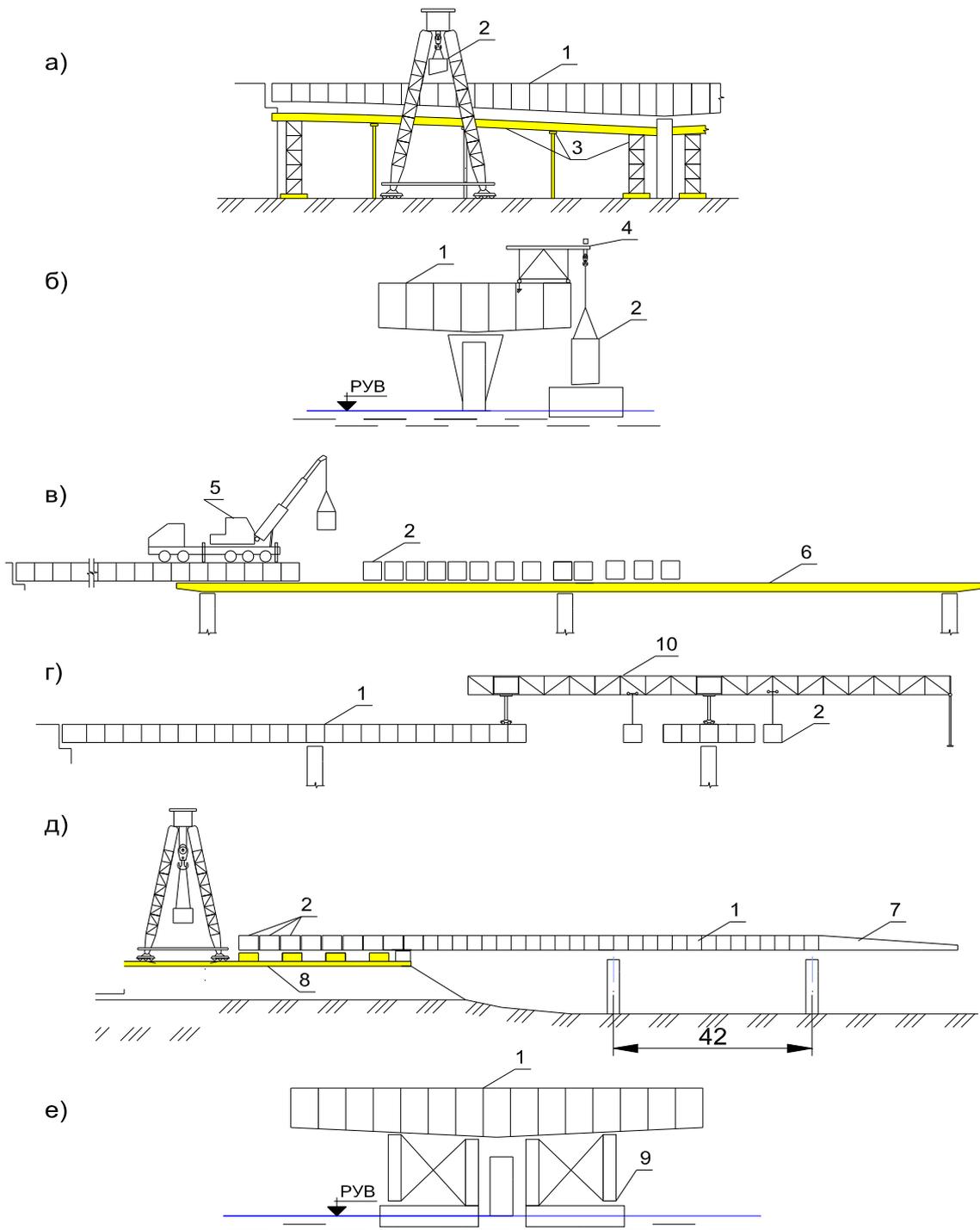


Рис. 2.2. Схемы монтажа железобетонных предварительно напряженных составных пролетных строений: а-сборка на сплошных подмостях; б-навесная сборка; в-сборка на перемещающихся подмостях из блоков ПРК; г-сборка консольно-шлюзовым агрегатом; д-конвейерно-тыловая сборка с продольной надвижкой; е-подача укрупненных блоков на плавсредствах; 1-мontiруемое пролетное строение; 2-блок пролетного строения; 3-сплошные подмости; 4-консольный кран; 5-стреловой кран; 6-передвижные подмости; 7-аванбек; 8-стапель; 9-плавучая опора; 10-монтажный агрегат шлюзового типа

В случае, когда на подмостях собирается пролетное строение путепровода на всю длину, могут быть применены мокрые монтажные стыки. При разработке технологии производства работ по стадиям следует учесть, что натяжение рабочей арматуры происходит *не ранее* набора 80% прочности бетоном заполнения мокрых стыков.

Если в следующих пролетах осуществляется навесная сборка, то устраиваются клеевые монтажные стыки. В этом случае технология сборки пролетных строений, в целом та же, что для составных цельнопролетных балок. Состав клеевого компаунда и порядок устройства стыков приведен в п. 1.7 настоящего пособия.

2.2.2. Навесная и полунавесная сборка

Для неразрезных балочных трехпролетных мостовых сооружений работы выполняется в несколько стадий (рис. 2.3).

Стадия 1. Сборка надопорной секции над опорой №2.

1. Организация уширения опоры №2 из металлоконструкций; обустройство уширения монтажными клетями, домкратами для выравнивания «птички» и пр. элементами.
2. Сборка надопорной секции из трех блоков длиной 3...4 м плавучим краном (или стреловым краном с земли); устраиваются клеевые монтажные стыки, устанавливаются и натягиваются верхние пучки рабочей и монтажной арматуры.
3. Монтаж на собранной секции подкранового пути и консольного монтажного крана с помощью плавучего или стрелового крана.

Стадия 2. Навесной уравновешенный монтаж первой «птички» над опорой №2 (*сборка внавес*).

1. Подача блоков на плавсредствах (или с земли).
2. Монтаж блоков консольным краном – уравновешенно, по одному с каждой стороны, с установкой и натяжением рабочей арматуры и устройством монтажных стыков.

Стадия 2а. Навесной полууравновешенный монтаж (*полунавесная сборка*).

1. В случае, если пролет 1-2 больше половины пролета 2-3 -

устройство вспомогательной опоры в пролете 1-2.

2. Полууравновешенный монтаж «птички» в пролете 1-2.

Стадии 3,4,5. Монтаж второй «птички» над опорой №3.

Работы проводятся аналогично и зеркально работам по стадиям 1...3. Консольный кран может быть демонтирован с первой «птички» и использован для монтажа второй. Возможен вариант использования двух кранов и синхронного (одновременного) монтажа обеих птичек.

Стадия 6. Бетонирование монолитной замыкающей секции в середине пролета 2-3 между двумя смонтированными «птичками».

1. Бетонирование замыкающей секции в металлической опалубке на подвесных подмостях. Работы по бетонированию осуществляют в ночное время, при максимально возможном суточном температурном уменьшении длины «птичек».
2. Установка и натяжение нижней рабочей арматуры после набора прочности бетоном замыкающей секции.
3. Снятие верхней монтажной арматуры (если таковая была применена для регулирования усилий и обеспечения проектного продольного профиля при навесном монтаже).

На стадии 6 система из консольной превращается в балочно-неразрезную.

Следует отметить, что приведенная технологическая схема применима для сборки пролетных строений (ригелей) рамно-неразрезных и рамно-консольных систем. Отличие от балочных систем состоит в том, что в рамных системах надопорные секции жестко объединены с опорами (стойками рамной системы). Таким образом, необходимость в уравнивающих устройствах на стадии 1 отпадает. Временные опоры (на стадии 2а) также могут не устраиваться т.е. может быть реализован только навесной монтаж. Это возможно, если прочность тела опор (стоек), а также несущая способность фундаментов рассчитана на стадии проектирования с учетом способа навесного монтажа.

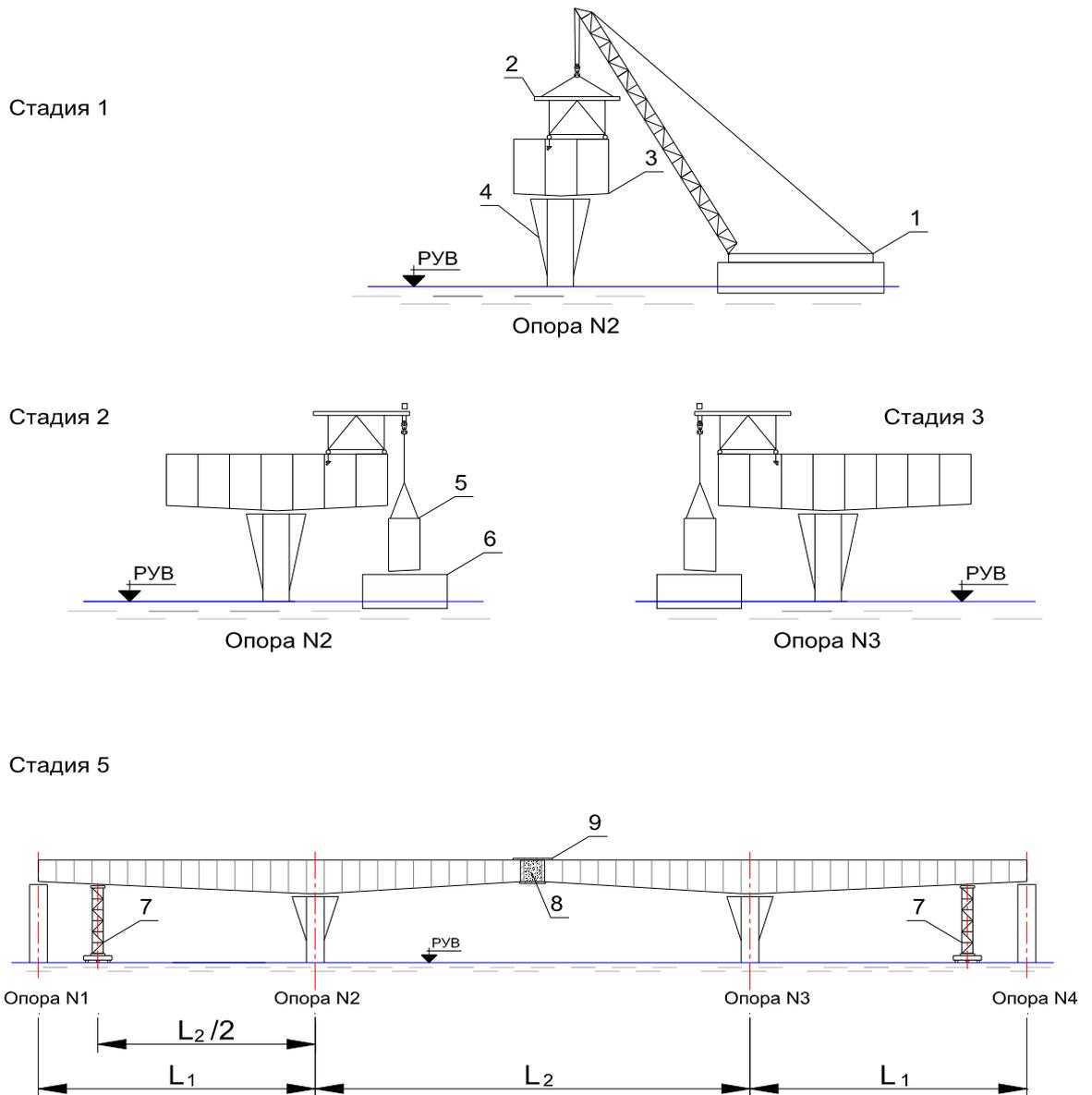


Рис. 2.3. Монтаж составных неразрезных пролетных строений консольным краном: 1 - плавучий кран; 2 - монтажный консольный кран; 3 - монтируемое пролетное строение; 4 - конструкция временного уширения промежуточной опоры; 5 - блок пролетного строения, подаваемый на плаву; 6 - плашкоут; 7 - временная опора; 8 - монолитный замыкающий блок; 9 - опалубка для бетонирования монолитного блока пролетного строения

2.2.3. Консольные краны для навесной и полунавесной сборки

Полунавесная и навесная сборка пролетных строений осуществляется консольными кранами. Впервые краны подобной конструкции появились в Чехословакии и Венгрии.

В отечественном мостостроении применялись краны СПК-35 и СПК-65, грузоподъемностью 35 и 65 т соответственно. Это обеспечивало возможность монтажа блоков пролетных строений, выполненных в соответствии с применявшимися проектными решениями. Как правило, использовались блоки массой 35 или 60 т и длиной 3...4 м.

Кран СПК-35 имеет четырехопорный портал с ходовыми тележками, которые обеспечивают движение крана по рельсовым путям, уложенным по верху смонтированных блоков. По двухконсольной продольной стреле (балке) крана перемещаются грузовые тележки. При монтаже кран совершает по пролетному строению возвратно-поступательные перемещения для уравновешенного монтажа блоков. Для обеспечения устойчивости кран имеет ауригеры и анкеруется за смонтированную часть пролетного строения.

Подробно порядок работы отечественных консольных кранов изложен в [12]. В настоящее время для навесного монтажа может быть использован консольный кран индивидуального проектирования, основные принципы работы которого аналогичны кранам СПК-36 и СПК-65.

2.2.4. Попролетная сборка на перемещающихся подмостях

Подмости из стальных сплошностенчатых балок перекрывают два пролета. Железобетонные блоки устанавливаются на подмости стреловым краном с собранной части и продольно перемещают специальными лебедками в проектное положение.

После сборки секции на клееных стыках осуществляется натяжение рабочей арматуры и бетонируется монолитный стык

между секциями в зоне минимальных изгибающих моментов; подмости перемещают продольной надвижкой в следующие пролеты для сборки следующей секции.

Следует отметить, что данная схема применяется достаточно редко в настоящее время. Поперечное сечение пролетных строений может быть только плитно-ребристым (ПРК), что связано с необходимостью передвижения блоков по подмостям. Более подробно особенности производства работ по данной схеме изложены в [1], [2].

2.2.5. Сборка шлюзовыми агрегатами

Шлюзовые агрегаты применяются для сборки составных балочных систем больших пролетов – 63...105 м и более. В СССР было построено много мостов с применением таких кранов-агрегатов (через р.Дон в г.Калач, через р.Дон в г.Серафимович, через р.Днепр в г.Днепропетровск и др.).

К сожалению, при строительстве моста в Серафимовиче произошла катастрофа - шлюзовой агрегат рухнул в реку при передвижении; были человеческие жертвы. Этот печальный случай послужил одной из причин более широкого внедрения металлических коробчатых пролетных строений и замещения ими железобетонных сборных. Однако, например, во Франции успешно применяют консольно-шлюзовые краны-агрегаты для строительства мостов и виадуков большой длины с железобетонными сборными пролетными строениями.

Консольно-шлюзовой кран-агрегат состоит из решетчатой или сплошностенчатой главной балки, которая опирается на заднюю и переднюю ноги, а также на шарнирную переднюю стойку, необходимую на некоторых этапах работы крана.

Длина главной балки зависит от величины пролетов моста. По верхнему или нижнему поясу главной балки (в зависимости от конструктивной схемы агрегата) двигаются две грузовые тележки. В комплект агрегата входят, также, перекаточные тумбы, которые

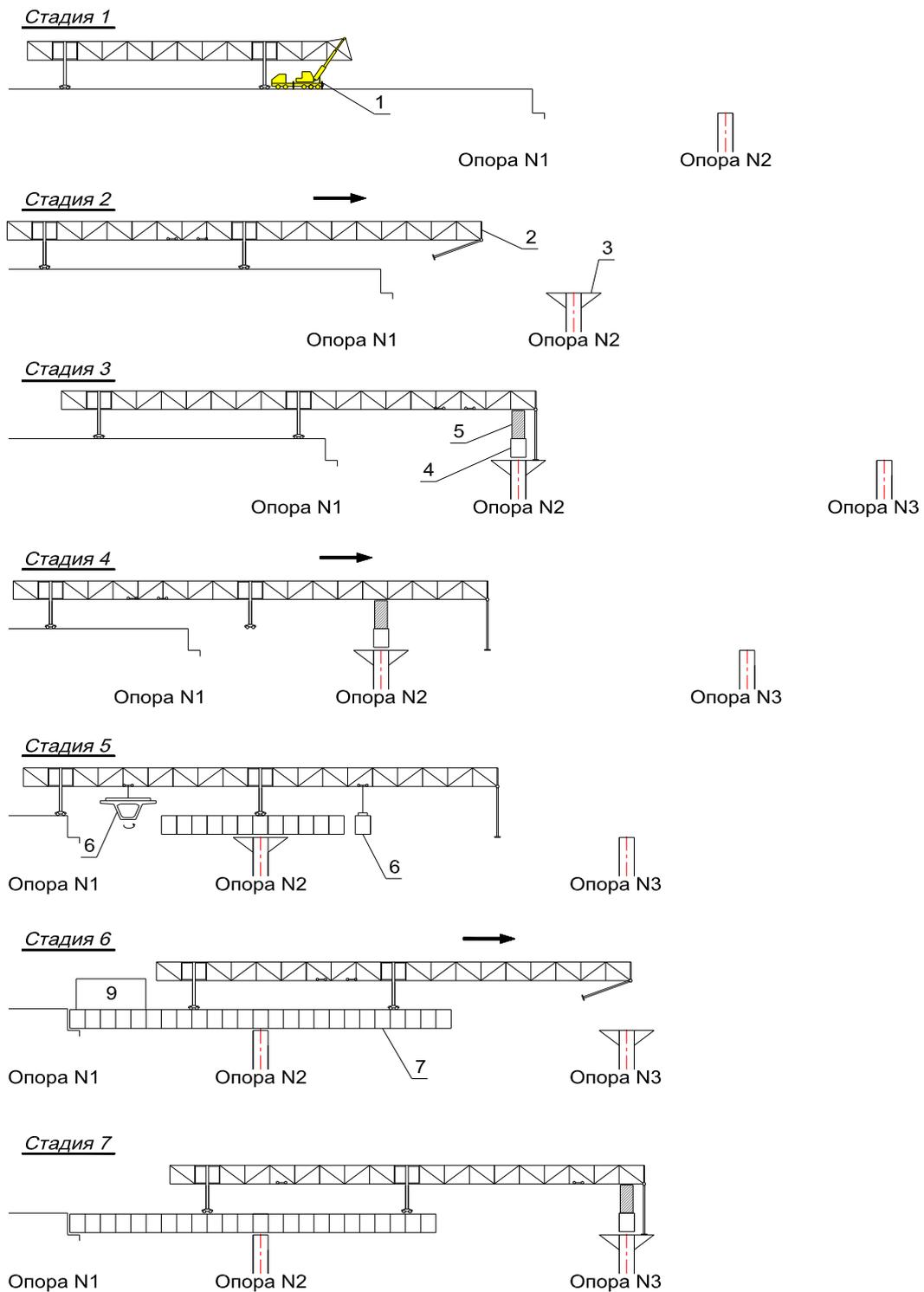


Рис.2.4. Монтаж составных железобетонных пролетных строений агрегатом шлюзового типа: 1 - стреловой кран для сборки агрегата на подходе; 2 - агрегат шлюзового типа; 3 - конструкция уширения (обстройки) промежуточной опоры; 4 - надопорный блок; 5 - перекаточная тумба; 6 - монтируемый блок пролетного строения; 7 - уравновешенно смонтированная "птичка"; 9 - противовес в пролете 1-2

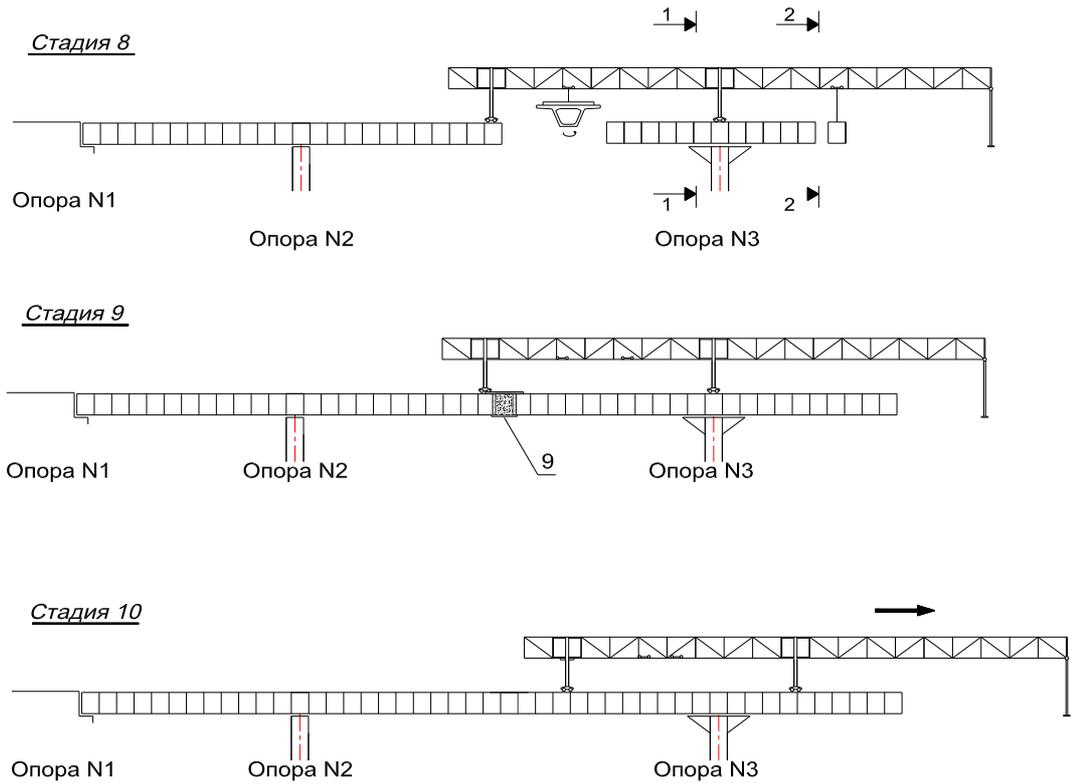


Рис. 2.5. Монтаж составных железобетонных пролетных строений агрегатом шлюзового типа (продолжение): 9 – монолитный замыкающий блок в середине пролета, бетонированный в опалубке; 10 – грузовая тележка агрегата

используются для передвижения крана из одного пролета в другой. Коробчатые блоки пролетного строения подают под кран по собранной части пролетного строения на платформах или трейлерах.

Рассмотрим основные стадии работы крана (рис. 2.4, 2.5).

Стадия 1. Сборка крана-агрегата.

Шлюзовой кран-агрегат собирается на насыпи подходов стреловым самоходным краном

Стадия 2. Приведение крана-агрегата в рабочее положение в пролете 1-2.

1. Кран перемещается в первый пролет; при этом он работает, как консоль.
2. На опоре №2 монтируют металлические подмости (обстройку) и опирают на них шарнирную переднюю стойку; после этого агрегат начинает работать, как двухпролетная неразрезная балка.

Стадия 3. Монтаж надопорного блока пролетного строения и перекаточной тумбы на опоре №2.

Стадия 4. Приведение крана-агрегата в рабочее положение в пролете 1-2.

1. Кран перекатывают в рабочее положение, при котором передняя нога опирается на опору №2, а задняя остается на подходе, у опоры №1.

Стадия 5. Уравновешенный монтаж «птички» над опорой №2.

1. Монтаж ведется уравновешенно, с опережением не более, чем на один блок с каждой стороны.
2. Устраиваются клеевые монтажные стыки; производится установка и натяжение рабочей и монтажной предварительно напряженной арматуры.

Стадия 6 и стадия 7. Переход крана в пролет 2-3 по консольной схеме. Приведение крана в рабочее положение в пролете 2-3 аналогично стадиям 3 и 4.

Стадия 8. Уравновешенный монтаж «птички» над опорой №3.

Стадия 9. Устройство монолитного замыкающего блока в середине пролета 2-3; преобразование системы из консольной в балочно-нерарезную.

Стадия 10. Переход агрегата в пролет 3-4.

Аналогично осуществляется монтаж всех остальных «птичек» с их омоноличиванием в серединах пролетов. После окончания монтажа кран разбирается на подходе противоположного берега стреловым краном.

Такая технология целесообразна при большом количестве пролетов. Могут быть смонтированы как балочно-неразрезные пролетные строения, так и рамно-неразрезные системы.

Целесообразно использовать изготовленный агрегат при строительстве других, однотипных мостовых сооружений. Однако чаще всего для каждого случая реализации этой технологии проектируется и изготавливается новый кран-агрегат.

2.2.6. Надвижка с конвейерно-тыловой сборкой

На берегу (на подходе) устраивается специальный стапель, на котором производится сборка отдельных секций пролетного строения. Кроме рабочей, устанавливается монтажная арматура, которая воспринимает растягивающие напряжения, возникающие при надвижке в тех сечениях, где на стадии эксплуатации действуют сжимающие напряжения. Для уменьшения изгибающих моментов в корне надвигаемой консоли пролетного строения применяется легкий аванбек длиной 0.6...0.7 максимального пролета.

Надвижка осуществляется по окончании сборки секций за счет горизонтального толкания собранного пролетного строения домкратами, расположенными, как правило, над устоем или с тыла (в торце). Могут быть использованы, также, подъемно-толкающие устройства на промежуточных опорах.

Движение осуществляется по специальным устройствам скольжения, расположенным на стапелях и промежуточных опорах. На промежуточных опорах часто устраиваются наклонные оттяжки во избежание возникновения в теле опор чрезмерных изгибающих моментов от горизонтальных сил при передвижении пролетного строения. Максимальный перекрываемый пролет достигает, как правило, 40...45 м.

Могут быть реализованы различные варианты схем сборки с надвижкой – надвижка с аванбеком, с аванбеком и временными опорами, а также различные виды и схемы расположения толкающих и накаточных устройств.

В СССР было построено несколько мостов по такой технологии. Применялись мокрые стыки шириной 50 мм.

2.2.7. Сборка на берегу с последующей установкой «птички» в пролет на плавучих средствах

Данная технология может применяться в многопролетных мостах с одинаковыми пролетами для ускорения строительства. В практике мостостроения вес устанавливаемых в проектное положение таким способом пролетных строений достигал нескольких тысяч тонн.

Плавучая система представляет собой плашкоут, обстроенный временными опорами для транспортировки на них собранной на берегу «птички». Система должна обладать достаточной плавучестью и остойчивостью (см. [6]). Опускание пролетного строения на опору может быть осуществлено за счет балластировки плавсредств или домкратными приспособлениями.

Могут быть применены, также, специальные плавучие краны грузоподъемностью 500 т и более.

После установки «птички» в проектное положение осуществляется бетонирование монолитных надпорных и замыкающих секций аналогично способу навесного монтажа (п. 2.2.2).

3. Возведение монолитных балочных предварительно напряженных пролетных строений

3.1. Общие данные

Начиная с конца 1950-х годов, в СССР широко применялись сборные железобетонные пролетные строения, а монолитные конструкции фактически перестали возводиться. В 1990-е годы монолитный железобетон стал возвращаться в отечественное мостостроение. За рубежом технологии сборного и монолитного железобетона активно и параллельно развивались.

Монолитные мостовые конструкции при условии их качественного исполнения часто оказываются более долговечными по сравнению со сборными. Монолитные балочные предварительно напряженные пролетные строения легко превращаются в неразрезные, в том числе криволинейные в плане системы; при этом количество деформационных швов значительно сокращается. До последнего времени на автомобильных и железных дорогах эксплуатировались мостовые сооружения из монолитного железобетона постройки начала XX века.

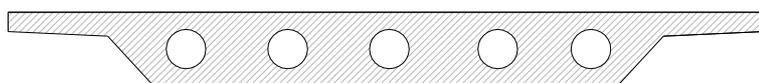
В настоящее время строительные, проектные и научные организации полностью овладели современными технологиями монолитного мостостроения (Мостотрест, Союздорпроект, Гипротрансмост, Гипростроймост, ЦНИИС и др). Наиболее широко применяют балочные неразрезные монолитные предварительно напряженные пролетные строения.

Поперечные сечения неразрезных предварительно напряженных пролетных строений должны иметь наиболее простые опалубочные формы (рис.3.1). Для пролетов до 42 м наиболее часто применяют плитно-ребристые сечения (ПРК) (рис. 3.1, в). Такие сечения имеют пролетные строения эстакадных частей мостов через р. Волга в г. Ярославль, р. Иртыш в г. Иркутске, а также построенные в конце 1990-х годов путепроводы на трассе М-5 «Урал» у г. Коломна.

а)



б)



в)



г)

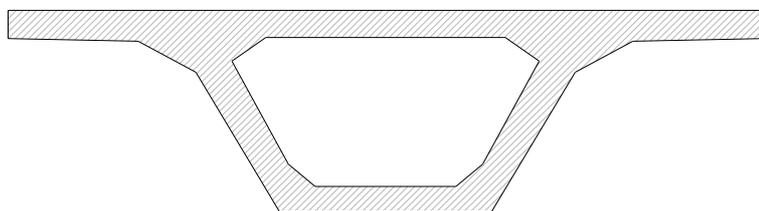


Рис. 3.1. Поперечные сечения монолитных балочных неразрезных пролетных строений: а,б-плитные; в-плитно-ребристое; г-коробчатое

Для пролетов более 42 м в мировой практике используются коробчатые пролетные строения (мост через Иртыш в г. Иркутске - в русловой части). Много коробчатых мостов построено во Вьетнаме по немецким, австрийским, японским и австралийским технологиям с участием российских специалистов (Новак В.В.).

Однако в начале 1990-х отечественное мостостроение оказалось не готовым к возведению монолитных предварительно напряженных мостов. Особенно большие трудности возникли с конструкциями для подмостей и опалубки.

В связи с этим была закуплена импортная техника и оснастка. При строительстве МКАД и третьего кольца в Москве были использованы опалубочные системы фирмы «Дока» (она включает фанерные листы палубы, продольные двутавровые деревянные клееные балки и поперечные стальные ригели из спаренных швеллеров).

Для арматурных элементов нашли применение канаты иностранного производства, а также было приобретено высокопроизводительное оборудование.

К настоящему моменту уже имеется оборудование отечественного производства (фирма СТС («Следящие тест системы»)) - анкеры, домкраты, приспособления для проталкивания канатов в каналы и др.

3.2. Требования к материалам и изделиям для монолитных предварительно напряженных пролетных строений

К материалам для монолитных предварительно напряженных пролетных строений предъявляются следующие требования:

1. Класс бетона - не ниже В35.
2. Портландцемент М500, со сроком хранения не более 30 сут со дня отгрузки с завода - из-за возможного снижения его активности (марки).
3. Расход цемента не более: В35 – 450 кг/м³, В40 - (М500) – 500 кг/м³, В45 (М600) – 550 кг/м³.

Расход цемента более 500 кг/м^3 значительно увеличивает усадку и ползучесть бетона, растут прогибы, развиваются трещины, что, к сожалению, часто наблюдается в монолитных пролетных строениях, эксплуатируемых на автомобильных дорогах.

4. Песок среднезернистый не должен содержать вредных примесей - глинистых и илистых частиц - более 1%.

5. Гранитный щебень фракций 5...20 мм и 20...40 мм должен быть промытым, с содержанием пылеватых и глинистых частиц не более 1%.

6. В бетонную смесь вводят добавки для повышения удобоукладываемости, водонепроницаемости и морозостойкости:

- разжижитель - суперпластификатор С-3 (нафталиносulfонат) – в количестве 0,3...0,7% сухого вещества от массы цемента;
- пластификатор ЛСТ-Е - замедлитель схватывания (сульфонат технический марки Е) - 0,1...0,2%;
- смола нейтрализованная воздухововлекающая СНВ.

7. Для бетонной смеси должно быть соблюдено $V/C < 0,45$.

8. Воздухосодержание не более 3%.

9. Соотношение по массе между П/Щ = 0,4...0,7 для обеспечения лучшей удобоукладываемости и 0,5...0,8 при прокачке бетонной смеси с ОК 10...12 см по длинным бетоноводам.

10. Для смеси используют воду питьевую.

11. Марки бетона по удобоукладываемости – П1...П4.

12. В качестве ненапрягаемой арматуры для предварительно напряженных пролетных строений применяется арматура классов:

- А-I Ст 3сп;
- А-II Ст 5сп;
- Ас-II 10ГТ, (северного исполнения);
- А-III 25 Г2С.

13. Напрягаемая арматура – пучки из канатов 15К7-1400 (15 -диаметр каната, мм, 1400 - класс проволоки по условному σ_T), временное сопротивление 17000 кг/см^2 .

На стержневой арматуре допускается ржавчина, снимаемая металлическими щетками. На канатах К-7 допустимо наличие только

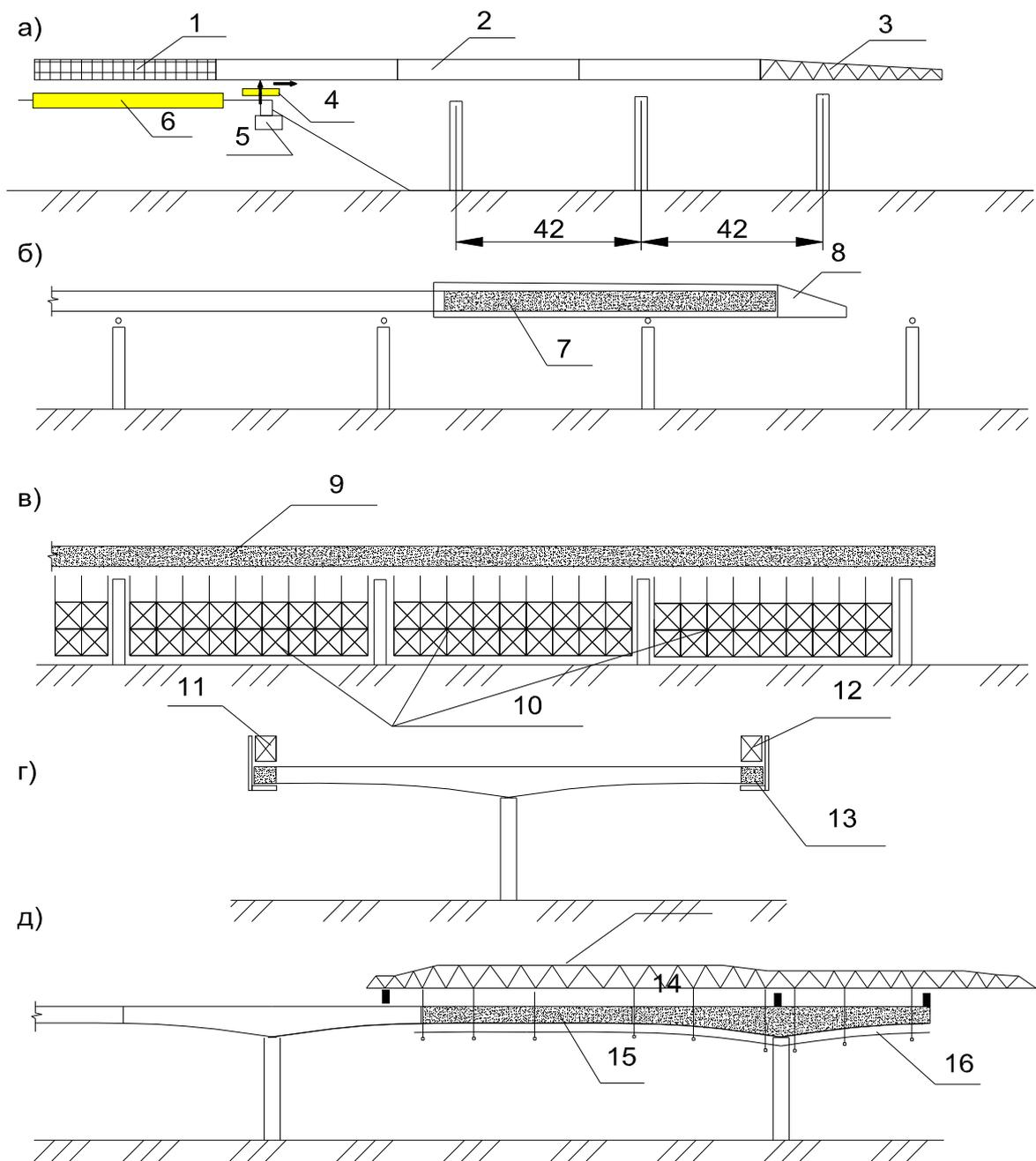


Рис. 3.2. Схемы бетонирования неразрезных монолитных пролетных строений: а - конвейерно-тыловое бетонирование с продольной движкой; б - попролетное бетонирование; в - бетонирование на сплошных подмостях; г - навесное бетонирование с помощью агрегатов консольного типа; д - навесное бетонирование с помощью агрегатов шлюзового типа; 1 - секция пролетного строения, бетонизируемая на стапеле; 2 -двигаемое пролетное строение; 3 - аванбек; 4 - устой; 6 - стапель для бетонирования секции пролетного строения; 7 - секция пролетного строения, бетонизируемая на продольно передвигаемом агрегате; 8 - агрегат для бетонирования; 9 - пролетное строение, бетонизируемое на сплошных подмостях; 10 - сплошные подмости; 11, 12 - агрегаты для навесного бетонирования консольного типа; 13 - бетонизируемая секция пролетного строения; 14 - агрегат для навесного бетонирования шлюзового типа; 15 - бетонизируемые секции пролетного строения; 16 - опалубка

налета поверхностного окисления, который может быть удален сухой ветошью. При эксплуатации напряжения в преднапряженной арматуре достигает 9000...10000 кг/см² и при развитии коррозии может произойти хрупкое коррозионное разрушение.

Канаты должны храниться в бухтах не более 6 месяцев в сухих проветриваемых помещениях. Интервал между натяжением и инъектированием должен быть не более 2 недель.

3.3. Варианты технологических схем возведения монолитных балочных неразрезных предварительно напряженных пролетных строений

Схема 1, (рис.3.2, а). Циклическая продольная надвижка. Неразрезное пролетное строение секциями длиной в один пролет бетонируют на специальном стапеле на подходе к мосту, а затем проводят продольную надвижку с аванбеком.

Схема 2, (рис.3.2, б). Попролетное бетонирование. Наиболее широко применяется в Западной Европе (ФРГ, Франция, Австрия) при одинаковых пролетах по 30...40 м; пролетное строение может быть криволинейным в плане. Применяются передвижные подмости специальной конструкции. Для передвижения подмостей используется специальная транспортная балка, перемещающаяся впереди подмостей.

Схема 3, (рис.3.2, в). Бетонирование цельного пролетного строения на сплошных подмостях. Подмости могут быть сплошными стоечными (ССП) высотой до 12 м из легких (до 35 кг) элементов, собираемых и разбираемых вручную (типа ALUMA SYSTEMS, поставка Канада, Costa Road Concord Ontario). Фундаменты могут быть на естественном основании.

Возможно, также, применение подмостей балочной конструкции с пролетами до 18 м на башенных опорах.

При длине пролетного строения больше 100 м многопролетные неразрезные системы бетонируют секциями со стыками в зонах минимальных изгибающих моментов.

Схема 4, (рис. 3.2, г). Навесное бетонирование с использованием агрегатов консольного типа. Применялось в СССР при строительстве двух мостов. В настоящее время по этой технологии сооружается мост в г. Иркутске. Навесное бетонирование широко применяют в Западной Европе. Несколько мостов построено таким способом во Вьетнаме.

Схема 5, (рис. 3.2, д) Навесное бетонирование с использованием агрегата шлюзового типа. Бетонирование проводят секциями уравновешенным способом. После бетонирования одного пролета агрегат перемещают в следующий продольной движкой. Метод широко применяется в странах западной Европы.

3.4. Бетонирование балочных неразрезных предварительно напряженных пролетных строений на сплошных подмостях

В настоящее время бетонирование пролетных строений секциями на сплошных подмостях широко применяется на объектах ОАО «Мостотрест» (мост через р. Волга в г. Ярославль и др. объекты).

Длина секций, как правило, включает 2-3 пролета, шов бетонирования расположен в сечении с минимальным изгибающим моментом. Пролетные строения имеют плитно-ребристую конструкцию (рис. 3.1, в).

Секции армируются пучками из 12 канатов 15К7. Применяются пять видов армоэлементов (армоэлемент включает пучок с каналообразователем, детали закрепления и передачи усилия на бетон и приспособления для инъекции).

Тип 1 - армоэлемент *секции 1*: анкеруется на опоре 7 омоноличиваемыми анкерами с «фонариками».

Тип 2 – *секции 1*, на опоре 7 - анкеруется омоноличиваемыми анкерами с «фонариками», а с другой стороны - анкерно-стыковым устройством УАСКО (устройство анкерно-стыковое канатное обжимное, рис. 3.5). Армоэлемент стыкуется с армоэлементом **Типа**

4-2 секции 2. Армоэлемент натягивают с одной стороны после бетонирования *секции 1*.

Тип 3 - армоэлемент *секции 1* и *секции 2*. Около опоры 5 он анкеруется омоноличиваемым анкером с «фонариками», а с другого конца имеется анкерно-стыковое устройство (УАСКО). Армоэлемент стыкуется с армоэлементом **тип 4-3** *секции 2* и натягивается вместе с армоэлементом **Тип 4-3** с одной стороны после бетонирования *секции 2*.

Тип 4-2, тип 4-3 - армоэлементы *секции 2*. Натяжение их выполняют после окончания бетонирования *секции 2*. На концах канатов для анкеровки в УАСКО имеются специальные обжимные анкера.

Сборка и установка арматурных сеток, армоэлементов, бетонирование и натяжение арматуры выполняются по следующим стадиям:

Стадия 1. Монтаж ненапрягаемой арматуры и анкерных стаканов.

- 1.1. Монтируют арматурный каркас (для выдержки толщины защитного слоя устанавливают бетонные дистанционные прокладки -«сухари»); верхние сетки не устанавливают.
- 1.2. Устанавливают в проектное положение торцевые щиты опалубки.
- 1.3. С внутренней стороны торцевых щитов болтами через уплотнительные прокладки (из рулонного гидроизоляционного материала) присоединяют анкерные стаканы.
- 1.4. В торцевых щитах опалубки по осям стаканов проделывают отверстия для пропуска пучков.
- 1.5. Вкручивают до упора в хвостовик анкерного стакана (АС) пластмассовый переходник (ПП).

Стадия 2. Сборка каналобразователей.

- 2.1. Перед установкой каналобразователей (трубок из обычной мягкой стали) по всей длине *секции* бетонирования монтируют арматурные рамки для фиксации каналобразователей в

- проектном положении в плане и профиле. На рамках устанавливают поперечные стержни в соответствии с проектными координатами.
- 2.2. Собирают каналобразователи из секций гофрированных труб (руковов) длиной 5 м с помощью соединительных муфт длиной 300 мм. Сборка идет, начиная с нижнего ряда от анкерного стакана; соединительная муфта первой секции каналобразователя накручивается на пластмассовый переходник, и всю секцию закрепляют в проектном положении на фиксирующих рамках вязальной проволокой.
 - 2.3. Последовательно скручивают соединительными муфтами остальные секции каналобразователей.
 - 2.4. На каналобразователях просверливают отверстия Ø20 мм и устанавливают накладки и контрольные пластмассовые трубки (верхний конец трубки должен быть выше на 700 мм верха плиты пролетного строения; на трубку прикрепляют бирку с номером пучка).

Стадия 3. Заправка пучков и организация анкерных и стыковочных узлов.

- 3.1. Армозэлемент тип 1 (*секции 1*), не стыкуемый с другими армозэлементами и имеющий один омоноличиваемый анкер с «фонариками» и анкер канатный (АК) - «активный» - к которому подсоединяют домкрат:
 - 3.1.1. Заправляются канаты в каналобразователь и выпускаются на 1100 мм со стороны опоры 7, а со стороны анкерного стакана на – 1500 мм.
 - 3.1.2. На конец каналобразователя устанавливается силовое кольцо и спираль местного армирования;
 - 3.1.3. На конце каждого каната с помощью станда ГПФ-3 изготавливаются «фонарики»;
 - 3.1.4. У опоры 7 концы пучков с «фонариками» устанавливаются в проектное положение;

- 3.1.5. В каналообразователь между канатами заводят металлическую Г-образную трубку, которая должна входить внутрь на 100 мм; устанавливают пластмассовую трубку;
- 3.1.6. На противоположном конце устанавливают обойму анкера АК, продвигают ее до опорной проточки анкерного стакана, в конусные отверстия устанавливают конуса (дольки конусов смазывают молибденовой смазкой);
- 3.2. Армозаэлемент тип 2 отличается тем, что его пучок анкеруется на торце *секции 1* у опоры 4 анкерно-стыковым устройством УАСКО; для анкерования в УАСКО на концах канатов изготавливают обжимные анкера.

Стадия 4. Бетонирование первой секции пролетного строения.

Каждая секция пролетного строения при высоте 1,20...1,75 м бетонируется на полное сечение - на всю высоту и ширину. Бетонирование проводится непрерывно на всю длину секции; смесь укладывается слоями толщиной по 0,35...0,45 м и захватками длиной 1,5...2,5 м.

В зависимости от времени года необходимо обеспечить благоприятный температурно-влажностный режим твердения, и минимизировать температурные и усадочные напряжения. Температуру во время всего периода твердения контролируют специальными термодатчиками. Для ускорения процесса твердения применяется метод «термоса».

Стадия 5. Натяжение пучков.

Для натяжения пучков из канатов 15К7 применяются специальные гидродомкраты двойного действия различные по предельным усилиям для пучков из 4; 7; 12; 19; 25; 31 канатов. Домкраты состоят из корпуса, обоймы захвата канатов в хвостовой части, поршня натяжения и поршня заклинивания. Домкрат опирается на обойму анкера посредством специальной проточки. Имеются домкраты различных фирм (Фрейсине, Дивидаг, СТС).

Все пучки натягивают с одной стороны. По технологии натяжения в конструкции различают два типа пучков-**компенсационные** и **рядовые**.

Компенсационные пучки натягивают в два этапа:

I этап. Сначала производят натяжение их на усилие $0,6 N_{нк}$ для компенсации температурных растягивающих напряжений в бетоне. Натяжение производят в момент снижения температуры примерно через 3 суток после окончания бетонирования (момент снижения температуры опасен с точки зрения образования температурных трещин). Прочность бетона на этот момент должна быть не менее 60% от проектной.

II этап. Производят дотяжку пучков до проектного усилия (прочность бетона должна быть не менее 80% от проектной).

Рядовые пучки натягивают на проектное усилие после дотяжки до полного усилия компенсационных пучков. Прочность бетона при этом должна быть не менее 80% проектной.

- 5.1. Перед началом работ по натяжению пучков на торцах ПС около каждого анкерного стакана краской наносится номер порядка натяжения пучка (иначе можно разрушить балку).
- 5.2. Концы пучка раскладываются, на каждый конец пучка надевается конусный наконечник.
- 5.3. Домкрат продвигается опорным концом к пучку, последовательно выдвигаются телескопические трубки, концы канатов заправляются в сепаратор домкрата.
- 5.4. Домкрат продвигают по пучку до упора (опорная проточка домкрата должна плотно сесть на обойму анкера).
- 5.5. Заклиниваются конуса в обойме захвата домкрата для их натяжения.
- 5.6. В магистрали **натяжения** домкрата создается давление, соответствующее усилию условного нуля $0,2 N_{нк}$, натяжение останавливается, и замеряется вытяжка пучка L , которая заносится в журнал натяжения пучков (как условный ноль). Продолжается натяжение до усилия $N_{нк}$ с выдержкой 5 минут.

- 5.7. Конуса запрессовываются, зафиксировав давление в системе запрессовки.
- 5.8. Производится плавный сброс давления в системе натяжения до нуля, удерживая давление в системе запрессовки.
- 5.9. Сбрасывается давление в системе запрессовки до нуля.
- 5.10. Расклинивают конуса в обойме захвата домкрата.
- 5.11. Концы канатов обрезают механическим способом («болгаркой») на расстоянии 30 мм от наружной поверхности обоймы анкера.
- 5.12. Показания манометра и величины вытяжки заносят в журнал натяжения*.

Стадия 6. Инъекцирование каналов.

Инъекцирование каналов с высокопрочными пучками на основании СНиП 3.06.04.-91 «Мосты и трубы», «Технических указаний по проектированию, изготовлению и монтажу составных по длине конструкций железобетонных мостов» ВСН 98-74 проводится не позднее 14 дней после натяжения при среднесуточной температуре воздуха не ниже +5°C.

Применяются инъекционные растворы следующего состава:

- Цемент- ПЦ500 портландцемент марки 500 3-х...суточный.
- Химическая добавка ЛСТ (лигносульфонат).
- Воздухововлекающая добавка СНВ.
- Вода.

Для приготовления и подачи раствора в канал применяется смесительно-инъекционная установка УСИ 12/2х100.

- 6.1. Подбирают состав и приготавливают инъекционный раствор.
- 6.2. Устанавливают инъекционные крышки на анкера, подсоединяют штуцер к анкерному стакану для закачки раствора.
- 6.3. Канал сначала заполняют водой, а потом проводят нагнетание.

* - Упругая вытяжка измеряется в диапазоне от $0,2N_{нк}$ - условный ноль - до $N_{нк}$ с точностью до 1 мм с помощью специальной линейки. Измерение проводится от корпуса домкрата до «флажка», который наклеивается на канат. «Флажок» не снимают до окончания натяжения. Главный и наиболее точный контроль натяжения осуществляют по манометру - точность $\pm 5\%$; по упругой вытяжке точность составляет только $\pm 10\%$. Это объясняется разбросом модуля упругости канатов.

- 6.4. Прохождение раствора контролируют по вытеканию воды, шлама и 5 л раствора из контрольных трубок.
- 6.5. После выпуска воздуха, воды, шлама и 5л полноценного раствора последовательно закрывают контрольные трубки (конец трубок загибают и фиксируют вязальной проволокой).
- 6.6. Проводят опрессовку под давлением 10 Bar в течение 5..7 мин.

3.5. Возведение балочных неразрезных предварительно напряженных пролетных строений методом навесного бетонирования

Метод навесного бетонирования балочных предварительно напряженных пролетных строений, а также консольных и рамных пролетных строений широко применяется за рубежом (Западная Европа, Юго-Восточная Азия и другие регионы мира). В практике мостостроения за рубежом с помощью навесного бетонирования перекрыты пролеты до 200 м и более (мост через Рейн у Бендорфа).

Навесное бетонирование реализовывалось в СССР в 1960-х годах, а сейчас снова возрождается в России. Метод навесного бетонирования особенно целесообразен при невозможности устройства подмостей в пролете (большая высота моста, интенсивное судоходство, сложные гидро- и геологические условия и пр.).

Пролетные строения, бетонируемые навесным способом, имеют обычно коробчатое поперечное сечение с вертикальными стенками, с постоянной или переменной по длине высотой.

Преимуществами монолитных конструкций перед сборными является отсутствие клеевых стыков, а также то, что ненапрягаемая арматура предыдущей секции не прерывается, а стыкуется с арматурой последующей секции. Эти преимущества дают значительный выигрыш с точки зрения эксплуатационной надежности.

Натяжение части верхних пучков осуществляется по мере бетонирования; другая часть верхних пучков натягивается после замыкания. Нижние пучки натягивают после замыкания пролетного

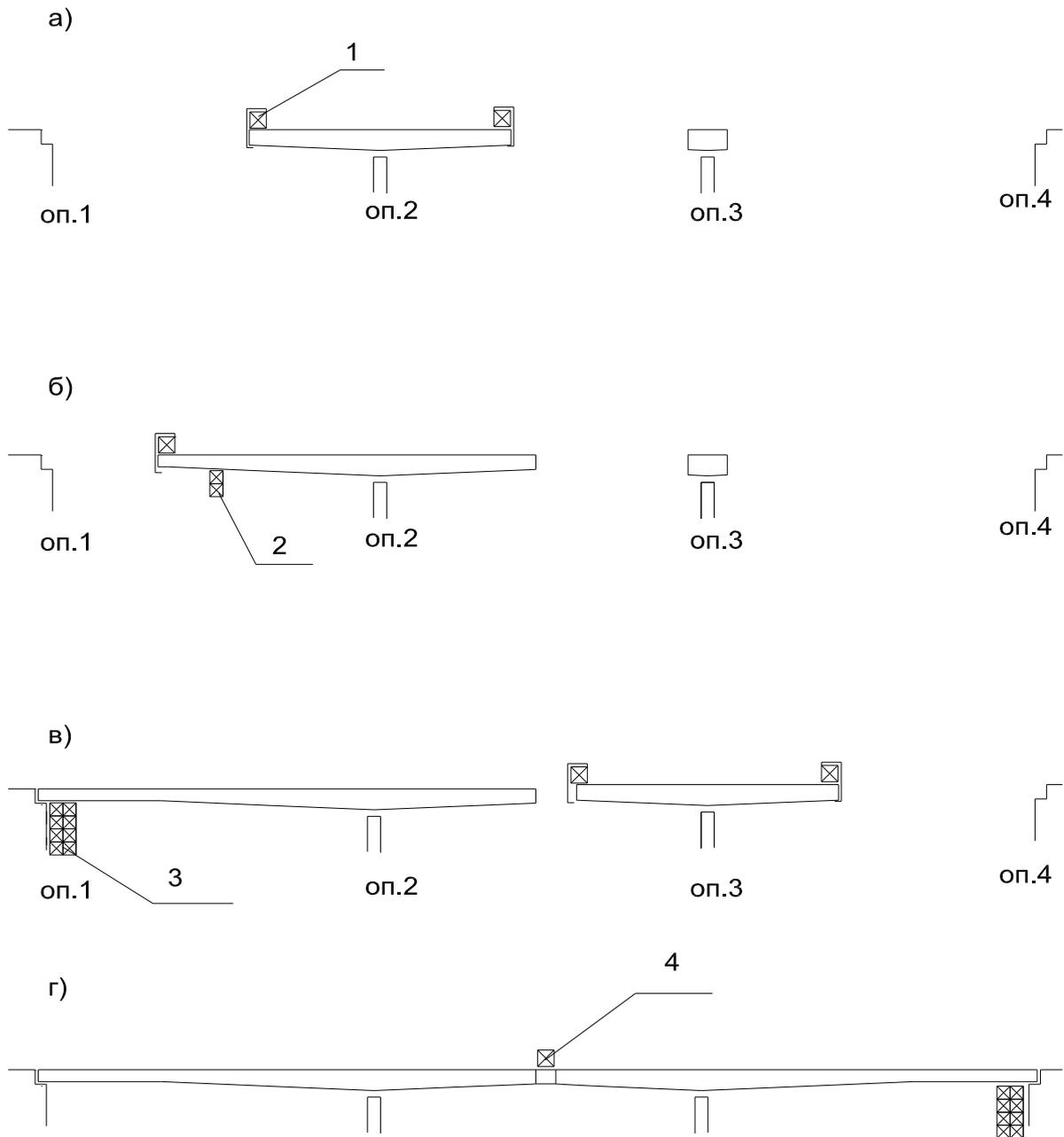


Рис. 3.14. Навесное бетонирование трехпролетного неразрезного пролетного строения: а - уравновешенное навесное бетонирование левой "птички"; б - полууравновешенное навесное бетонирование левой "птички"; в - бетонирование конечного участка пролетного строения на подмостях, навесное бетонирование правой "птички"; г-бетонирование стыка между "птичками": 1-агрегат для навесного бетонирования консольного типа; 2 - временная опора; 3 - подмости; 4 - опалубка для бетонирования замыкающего участка пролетного строения

строения и преобразования его из консольной в балочно-неразрезную систему.

В качестве рабочей преднапряженной арматуры используются пучки из канатов 15К7.

Метод навесного бетонирования заключается в последовательном бетонировании секций пролетного строения в направлении от опор к серединам пролетов. Секции пролетного строения длиной 3...5 м бетонируют в опалубке, подвешенной к специальным агрегатам, которые устанавливаются и передвигаются по ранее забетонированной части пролетного строения.

Конструкция достаточно легких передвижных агрегатов (передвижных подмостей) воспринимает вес одной секции. Максимальная величина железобетонной консоли, бетонируемой навесным способом, ограничивается прочностью ее сечения в ее корне и устойчивостью пролетного строения («птички») на опрокидывание.

В зависимости от схемы пролетного строения, величин пролетов и их соотношения возможны различные **схемы навесного бетонирования**.

Известны примеры уравновешенного (от промежуточных опор) и полууравновешенного навесного бетонирования. В некоторых случаях применяются вантовые оттяжки для обеспечения прочности консоли пролетного строения на стадии бетонирования. В балочных неразрезных мостах основными стадиями производства работ являются (рис.3.4):

Стадия 1 (рис. 3.4, а). На подмостях у опоры 2 бетонируют короткую надопорную часть пролетного строения, натягивают арматуру по проекту и устанавливают два агрегата для навесного бетонирования.

Стадия 2. С помощью агрегатов консоли наращивают в обе стороны от опоры; при этом обеспечивают устойчивость положения пролетного строения «птички».

Стадия 3. (рис. 3.4, б). При необходимости для обеспечения устойчивости положения устраивается вспомогательная опора, и

навесное бетонирование продолжают полууравновешенным способом.

Стадия 4 (рис. 3.4, в). В приопорной зоне у опоры 1 бетонирование проводят на подмостях.

Стадия 5. Симметрично переносят подмости на опору 3, бетонируют надопорный участок.

Стадия 6. Уравновешенным способом бетонируют «птичку» на опоре 3.

Стадия 7. Полууравновешенным способом заканчивают навесное бетонирование, и на подмостях бетонируют приопорный участок у опоры 4.

Стадия 8 (рис. 3.4, г). Производят замыкание ПС в середине пролета 2-3 и натягивают нижнюю рабочую арматуру.

Приведенная стадийность, в основном, является характерной для других всех случаев навесного бетонирования.

Как было сказано выше, длина секций принимается равной 3...5 м. При меньшей длине происходит увеличение количества секций и возрастает продолжительность бетонирования. Секции длиной более 5 м нежелательны из-за утяжеления передвижных агрегатов.

Агрегаты для навесного бетонирования (рис. 3.5) могут иметь различную конструкцию (консольную, рамную, сплошностенчатую, сквозную и проч.) и перемещаться по забетонированной части по рельсовым путям на тележках. К консольной части агрегата подвешиваются поперечные балки, на которые укладывается рабочий настил. Длина подвесной площадки должна быть достаточной для размещения бетонируемой секции и выступающей из нее арматуры. Устойчивость положения агрегата может достигаться установкой противовеса (при перемещении) и анкерровкой за конструкцию. Положение подмостей при бетонировании для обеспечения проектных линий регулируют с помощью домкратов.

За рубежом в некоторых случаях применялись агрегаты шлюзового типа, перекрывающие целые пролеты моста и передвигаемые методом продольной надвижки. Они состоят в

поперечном сечении из двух несущих ферм, к нижним поясам подвешивается опалубка бетонизируемых секций.

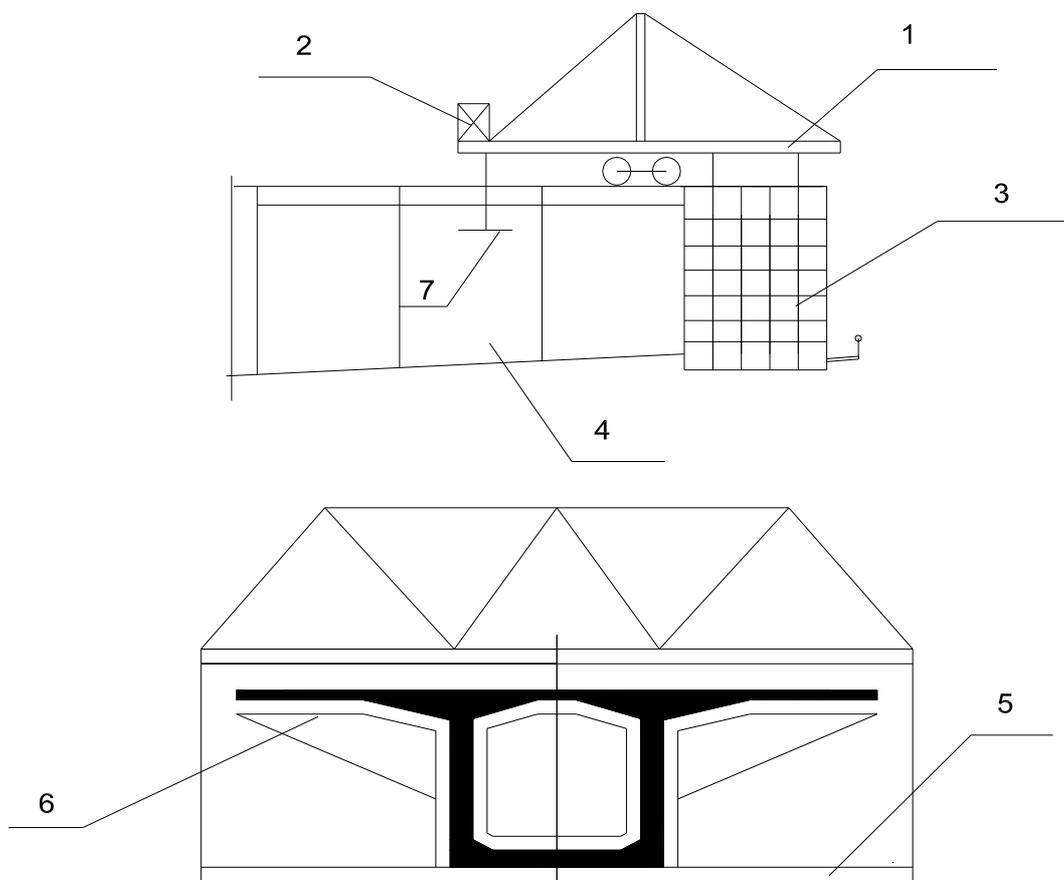


Рис.3.15. Агрегат для навесного бетонирования: 1-консоль; 2-противовес; 3-опалубка; 4-секция бетонирования длиной 3...4м; 5-нижние подвесные подмости; 6-опалубка; 7-анкер

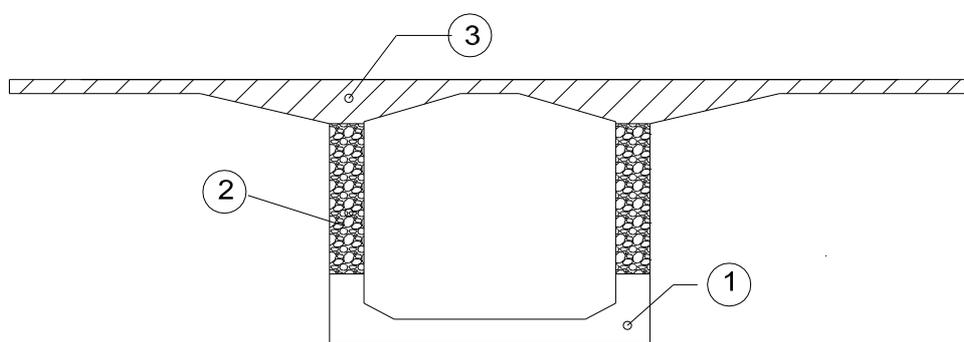


Рис.3.16. Последовательность бетонирования секции

Секции бетонируют в металлической щитовой опалубке. Бетонирование секции выполняют по стадиям (рис. 3.16).

Стадия 1. Устанавливают подмости (поддон) в проектное положение, регулируя его по высоте домкратами. Устанавливают опалубку и арматурные сетки нижней плиты, закрепляют каналообразователи в проектном положении, а также анкерные стаканы, ненапрягаемую арматуру стыкуют внахлестку с арматурой забетонированной секции.

Стадия 2. Устанавливают арматуру и опалубку стенок коробчатой балки. Бетонируют стенки.

Стадия 3. После установки палубы верхней плиты устанавливают нижние сетки плиты, каналообразователи и анкерные стаканы, бетонируют верхнюю плиту.

Стадия 4. После твердения бетона и достижения им 80% проектной прочности (через 2...3 суток) производится распалубка, натяжение части пучков напряженной арматуры домкратами двойного действия и последующие инъектирование каналов (в зимнее время устраивается тепляк)

Стадия 5. В завершении цикла секцию раскружаливают, перемещают агрегат в следующую секцию.

Для бетонирования применяют быстротвердеющий цемент (БТЦ) высоких марок (М500...600), который набирает 0,7...0,8R_b в течение 2...3 суток. Для обеспечения проектного очертания нижнего пояса пролетного строения при бетонировании можно поднимать и наклонять нижние щиты опалубки. Весь цикл работ по возведению одной секции занимает одну неделю.

Для выравнивания напряжений после замыкания «птичек» проводится искусственное регулирование (например, подъемка пролетного строения на крайних опорах для уменьшения напряжений в бетоне над промежуточными опорами).

3.6. Циклическая продольная подвижка

Суть метода (рис. 3.2, а) циклической продольной надвижки (ЦПН), или, точнее, конвейерно-тылового бетонирования с продольной надвижкой, заключается в том, что секции пролетного строения длиной до 20 и более метров бетонируются на стапеле, и после натяжения арматуры, конструкция надвигается в пролет. ЦПН широко применяется в Западной Европе и успешно применена при строительстве мостовых сооружений в России (мост через р.Царица в Волгограде, путепроводы в Москве и др.).

Продольно надвигаемые пролетные строения балочно-неразрезной системы могут иметь пролеты до ~42 м и полную длину до 400 м. В плане пролетные строения могут быть криволинейными на всей длине или на части длины. Поперечные сечения обычно плитные или коробчатые, но возможно применение и других конструктивных форм.

Практикуются различные схемы надвижки:

Схема 1. Надвижка с аванбеком длиной $\sim 0,6L_{\max}$.

Схема 2. Надвижка с усилением консоли шпренгелем.

Схема 3. Надвижка с устройством вспомогательных опор в пролетах.

Работы методу ЦПН выполняются по следующим стадиям.

Стадия 1. На подходе вблизи от устоя возводится стапель, на котором бетонируется очередная секция пролетного строения.

Стадия 2. Стапель оборудуется опалубкой, поддерживающими ее конструкциями, устройствами для распалубки, тепляком при зимнем бетонировании и пр.

Стадия 3. Устанавливается ненапрягаемая арматура и армоэлементы.

Стадия 4. Секция бетонируется (аналогично ПС на подмостях), проводится натяжение арматуры в соответствии с проектом.

Стадия 5. Присоединяется аванбек и проводится надвижка по устройствам скольжения.

Стадия 6. На стапеле бетонируется следующая секция.

В качестве толкающего устройства надвигки используется специальная гидросистема, состоящая из подъемно-толкающих устройств, насосной станции, следящей системы. В процессе надвигки проводится мониторинг усилий в промежуточных опорах для исключения их перегрузки. В некоторых случаях при большой высоте опор устанавливают специальные оттяжки, прикрепленные к верху опор.

4. Сооружение сталежелезобетонных балочных пролетных строений

4.1. Общие данные

В 1940...50-е гг. при испытаниях пролетных строений мостов с металлическими сплошностенчатыми балками и монолитной железобетонной плитой было замечено, что плита включается в совместную работу с балками. В качестве «упоров» проявили себя головки заклепок, расположенные по верхнему поясу балок. Это явление натолкнуло на мысль включать железобетонную плиту в совместную работу с металлическими балками с помощью специальных упоров.

Первый в нашей стране проект сталежелезобетонного моста был разработан известным инженером Г.Д. Поповым (Проектстальконструкция). Строительство сталежелезобетонных (composite bridge) пролетных строений началось в конце 1940-х годов.

Сталежелезобетонные мосты бывают разных систем (балочные, рамные, комбинированные), сталежелезобетонные балки жесткости используется в вантовых и висячих мостах малых пролетов. Наиболее широкое применение находят балочные сталежелезобетонные мосты.

По статическим схемам они могут быть разрезными с пролетами до ~42...63 м, температурно-неразрезными, и неразрезными с пролетами до 100 м и более.

По технологии возведения железобетонная плита может быть монолитной или сборной. С точки зрения эксплуатационной надежности мосты с монолитной плитой в большинстве случаев оказываются предпочтительнее. В последние годы в Московском регионе широко стала применяться монолитная плита проезжей части.

По видам поперечных сечений СЖБПС подразделяются:

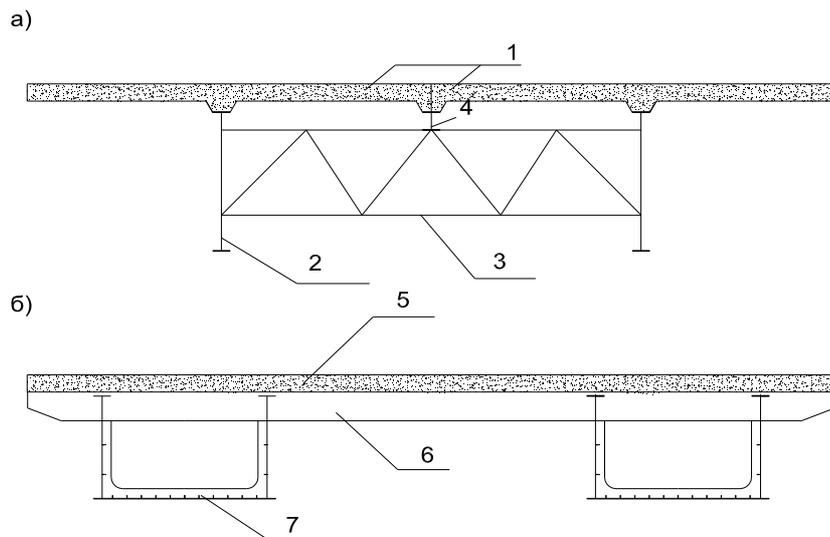


Рис. 4.1. Поперечные сечения сталежелезобетонных пролетных строений: а-со сборной плитой; б-с монолитной плитой; 1-блоки железобетонной плиты; 2-главные стальные балки; 3-связи между главными балками (сквозные фермы); 4-средний сварной прогон; 5-монолитная железобетонная плита; 6-поперечная балка; 7-коробчатая балка

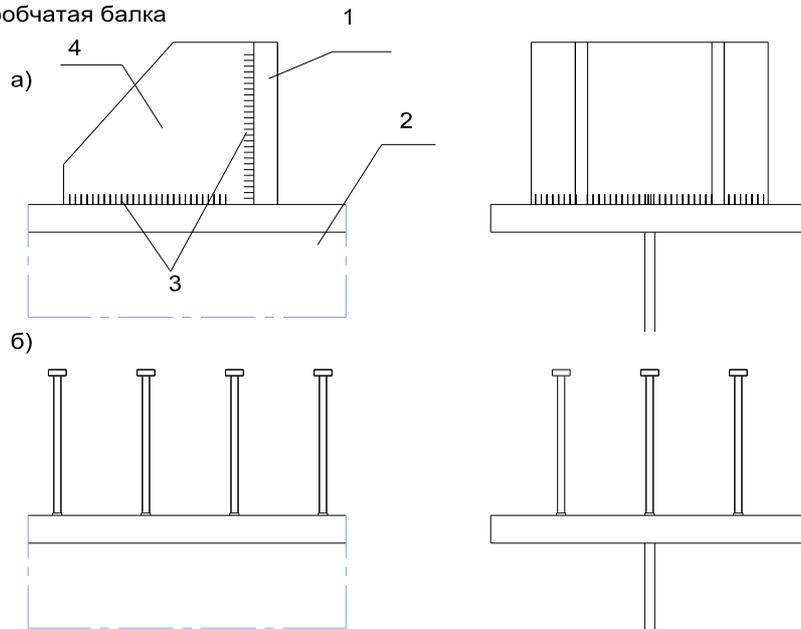


Рис. 4.2. Конструкция упоров для объединения в совместную работу стальных балок и железобетонной плиты: а-жесткие упоры; б-гибкие упоры с головками: 1-лист; 2-балка; 3-сварные швы; 4-ребра

- а) с двумя сварными главными двутавровыми балками (рис. 4.1,а) и промежуточным прогоном (при сборном варианте плиты), с монтажными соединениями на высокопрочных болтах;
- б) с многобалочной схемой (для путепроводов с малой строительной высотой);
- в) с коробчатыми балками (рис. 4.1, б) с вертикальными стенками (с монолитной плитой);
- г) с коробчатыми балками полной заводской готовности с монолитной плитой);
- д) со сквозными фермами.

Материал для основных металлоконструкций ПС:

- сталь 10ХСНД и 10ХСНД-2;
- сталь 15ХСНД для фасонного проката (угловая сталь);
- сталь СтЗсп5 для временных монтажных продольных и поперечных связей.

Материал монолитной плиты - бетон гидротехнический класса В35, марка по морозостойкости F300 (испытания в солях), W10, арматурная сталь классов А-I и А-III.

4.2. Виды упоров

Для объединения в совместную работу балки и плиты применяются различные виды упоров.

Жесткие упоры (рис. 4.2, а) используют в пролетных строениях со борной плитой. Они состоят из лобового листа и ребер, которые приваривают к верхнему поясу балки на заводе. Шаг установки для удобства и простоты делают по длине постоянным.

Гибкие упоры применяют при монолитной плите. Они могут быть наклонными из приваренных петель к верхнему поясу балки. Сейчас начали применять гибкие упоры Нельсона Ø25мм (рис. 4.2, в) с головками (по германским нормам DIN 32500-3), которые приваривают специальным автоматом на заводе.

Находят применение и другие конструктивные решения заделки балки в монолитную плиту.

4.3. Монтаж типовых сталежелезобетонных пролетных строений со сборной железобетонной плитой

До настоящего времени применяют типовые пролетные строения со сборной плитой проезжей части проектировки ЦНИИПСК, Ленгипротранса и других проектных организаций. Эти пролетные строения просты по конструкции и не требуют при сборке высококвалифицированной рабочей силы.

Конструкция состоит из блоков сварных главных балок с ребрами жесткости и приваренными к верхнему поясу жесткими упорами (рис. 4.3). Для уменьшения пролета железобетонной плиты по оси пролетного строения устраивается прогон, также представляющий собой сварной двутавр. Железобетонная плита разделяется на два монтажных блока по ширине.

Монтажные стыки блоков главных балок и других металлических элементов устраиваются фрикционными на накладках и высокопрочных болтах М22. Пролетные строения имеют поперечные сквозные связи в виде сварных ферм из парных уголков и продольные связи для обеспечения геометрической неизменяемости и для гарантии устойчивости верхних поясов при монтаже.

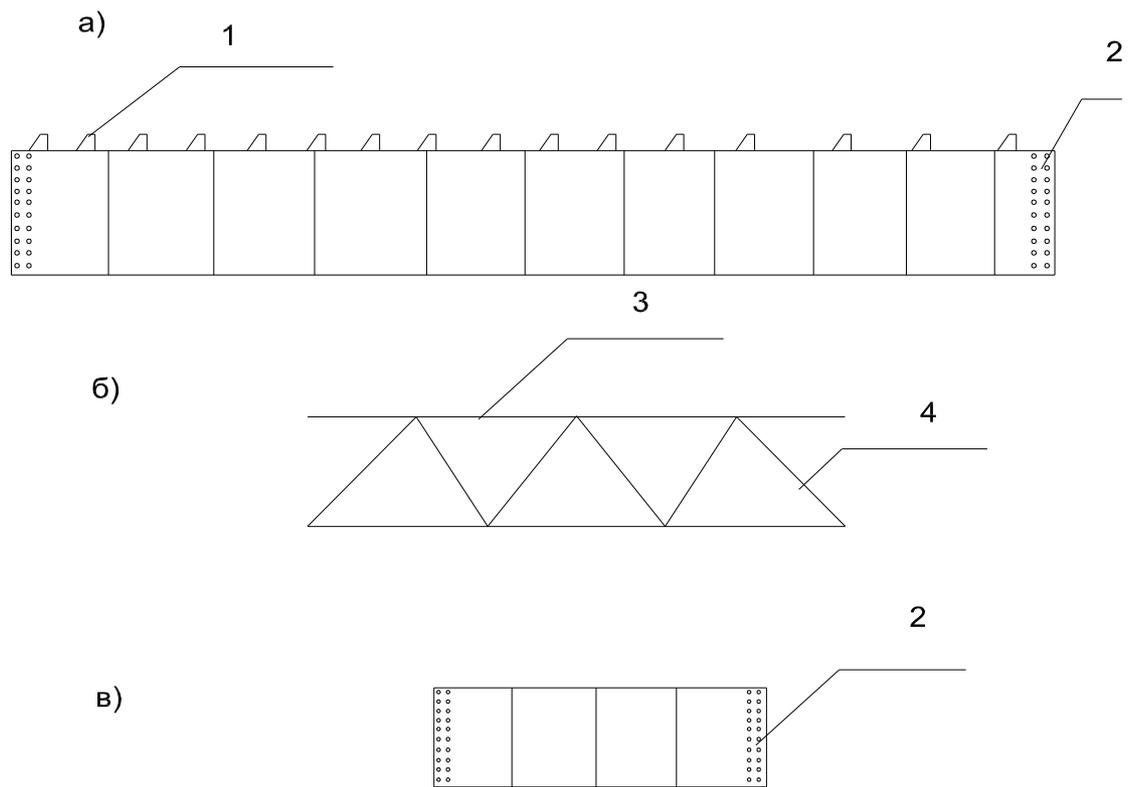


Рис.4.3. Основные заводские блоки стальных балок типовых сталежелезобетонных пролетных строений: а-блок главной балки с приваренными жесткими упорами; б-блок сквозных поперечных связей в виде сварной фермы из уголков; в-блок сплошнотенчатой надпорной диафрагмы; 1-жесткие упоры; 2-отверстия в стенке для установки высокопрочных болтов монтажных стыков; 3-уголки поясов сварных ферм поперечных связей; 4-раскосы из уголков

Возведение сталежелезобетонных ПС производится **в два этапа**. На первом устанавливают в проектное положение стальные конструкции, на втором монтируют железобетонную плиту. Монтаж стальной части может проводиться на берегу с последующей надвижкой в проектное положение. Или сборка выполняется непосредственно в пролетах моста различными кранами. Возможен монтаж кранами большой грузоподъемности крупных блоков или целых пролетных строений (без плиты).

Монтажные стыки выполняют на высокопрочных болтах (ВПБ). Широкое применение ВПБ в СССР нашли в 60-е годы, а в США и других странах - гораздо раньше. Например, в США в 1953 г. прошел симпозиум по ВПБ. Раньше болтовые соединения на черных и получистых точеных болтах применялись только во временных мостах из-за большого перерасхода стали.

ВПБ изготавливают из термически закаленных заготовок из стали 40Х и комплектуются двумя (одной) шайбами и гайкой. Метизы поступают на строительную площадку в защитной смазке. Диаметр болта значительно меньше (на 3 и более мм) диаметра отверстия, что упрощает заводское изготовление и сборку. При установке гайки закручиваются и болт натягивается на значительное усилие и таким образом, работая на растяжение, сжимает соединяемые листы конструкции. Момент закручивания связан с усилием растяжения в болту формулой

$$M = k \cdot N \cdot d ,$$

где $k = 0,17$ -коэффициент закручивания;

d - диаметр болта;

N - усилие натяжения болта.

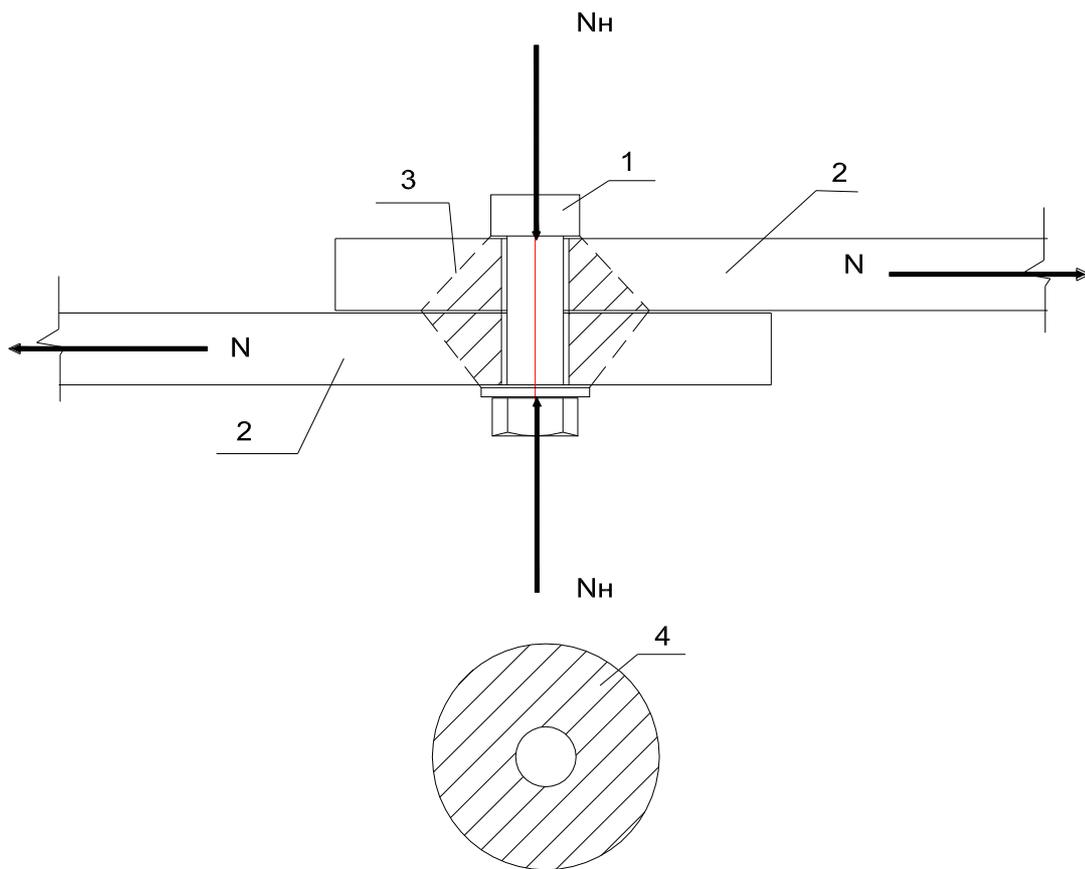


Рис. 4.4. Схема работы фрикционного соединения на высокопрочных болтах: 1-высокопрочный болт; 2-соединяемые листы; 3-"втулка сжатия"; 4-сжатая зона листов ("болтоконтакт")

Усилие натяжения болтов М22 – 20 тс, крутящий момент закручивания составляет 80 кгс.

Вокруг натянутого болта образуется «втулка сжатия» и возникают значительные силы трения между соединяемыми листами. Площадь, на которой развиваются силы трения, называют «болтоконтакт» (рис. 4.4). Несущая способность одного «болтоконтакта» по СНиП

$$Q = \frac{N \cdot \mu}{\gamma},$$

где μ - коэффициент трения (0,35...0,55);

γ - коэффициент надежности, зависящий от количества болтов в соединении (при большом количестве болтов надежность увеличивается).

В процессе выполнения соединений на высокопрочных болтах необходимо выполнить две главные задачи: 1) обеспечить очистку контактных поверхностей и 2) провести натяжение болтов до проектного значения.

Очистка контактных поверхностей возможно осуществить металлическими щетками; при этом будет достигнут коэффициент трения всего $\mu = 0,35$, что приводит к перерасходу болтов.

В основном очистка производится песко- или дробеструйным методами с достижением коэффициента трения $\mu = 0,55$. При пескоструйном методе чистят до светло-серого цвета металла.

Сборку необходимо произвести в течение 3-х суток с момента очистки. Если сборка не была осуществлена в указанный срок, очистку повторяют. Очистке подлежат фасонки и концевые зоны блоков балок.

Болты перед установкой подготавливают промывкой от консервирующей смазки в керосине и контрольной прогонкой резьбы. Закручивание производят пневмогайковёртом на неполное усилие, а затем вручную динамометрическим ключом, который тарируется не реже 1 раза/смену. Контроль осуществляется по моменту закручивания. Закрученные до проектного усилия болты помечают

краской. Дополнительно проводится контроль комиссией (выборочно) с участием представителя «заказчика».

При сборке на подходах (рис. 4.5) с последующей надвижкой блоки главных балок устанавливают на клетки из шпал или бетонные блоки высотой 80 см для удобства работ. Под поясами располагают домкраты для регулирования положения блоков по высоте. Длина блоков главных балок обычно кратна модулю 21 м (10,5 м, 21 м). При большей длине блоков сокращается количество монтажных стыков.

Главную балку собирают стреловыми кранами сразу на полное сечение. В стыке перекрывают парными накладками стенки и пояса сварных балок.

При выполнении стыка на ВПБ в отверстия сначала устанавливают пробки (рис. 4.5, в) - стальные цилиндры с коническими головками с диаметром, равным диаметру отверстий с допуском $-0,2$ мм; их забивают в отверстия легкими кувалдами. Если пробки не проходят, отверстия рассверливают райбером.

Затем в отверстия устанавливают ВПБ и затягивают их обычным гаечным ключом для сплачивания пакета. После сборки всех металлоконструкций проводят геодезическую проверку профиля и плана. При необходимости возможно домкратами провести корректировку продольного профиля. Проводится операционный контроль качества работ с составлением исполнительных схем продольного профиля главных балок.

После корректировки профиля ВПБ затягивают на полное усилие.

После установки металлоконструкций в проектное положение проводится монтаж сборных плит. Плиты должны быть уложены на верхний пояс главных балок на слой бетона. Для этого следует установить специальную опалубку. Плиты монтируют стреловым краном, который перемещается по уже уложенным по плитам колеиному настилу.

После укладки плит проводится искусственное регулирование, которое заключается в:

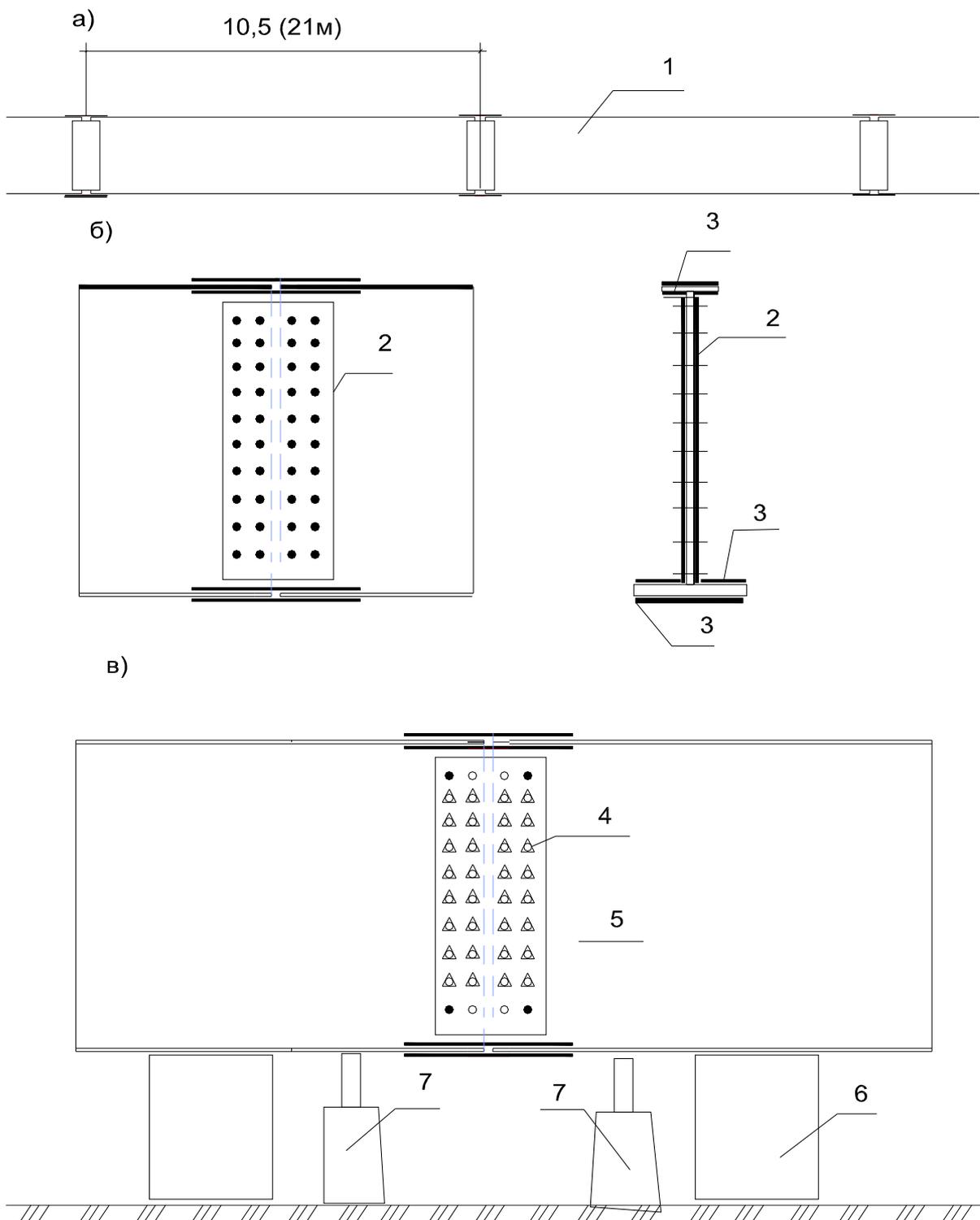


Рис.4.5. Монтажные стыки главных балок типовых сталежелезобетонных пролетных строений: а-расположение монтажных стыков по длине; б-конструкция стыка; в-схема сборки стыка на сборочной площадке или на подмостях; 1-блоки главных балок; 2-накладки стенки; 3-накладки поясов; 4-высокопрочные болты; 5-монтажные пробки; 6-сборочные клетки; 7-домкраты для выравнивания блоков по высоте

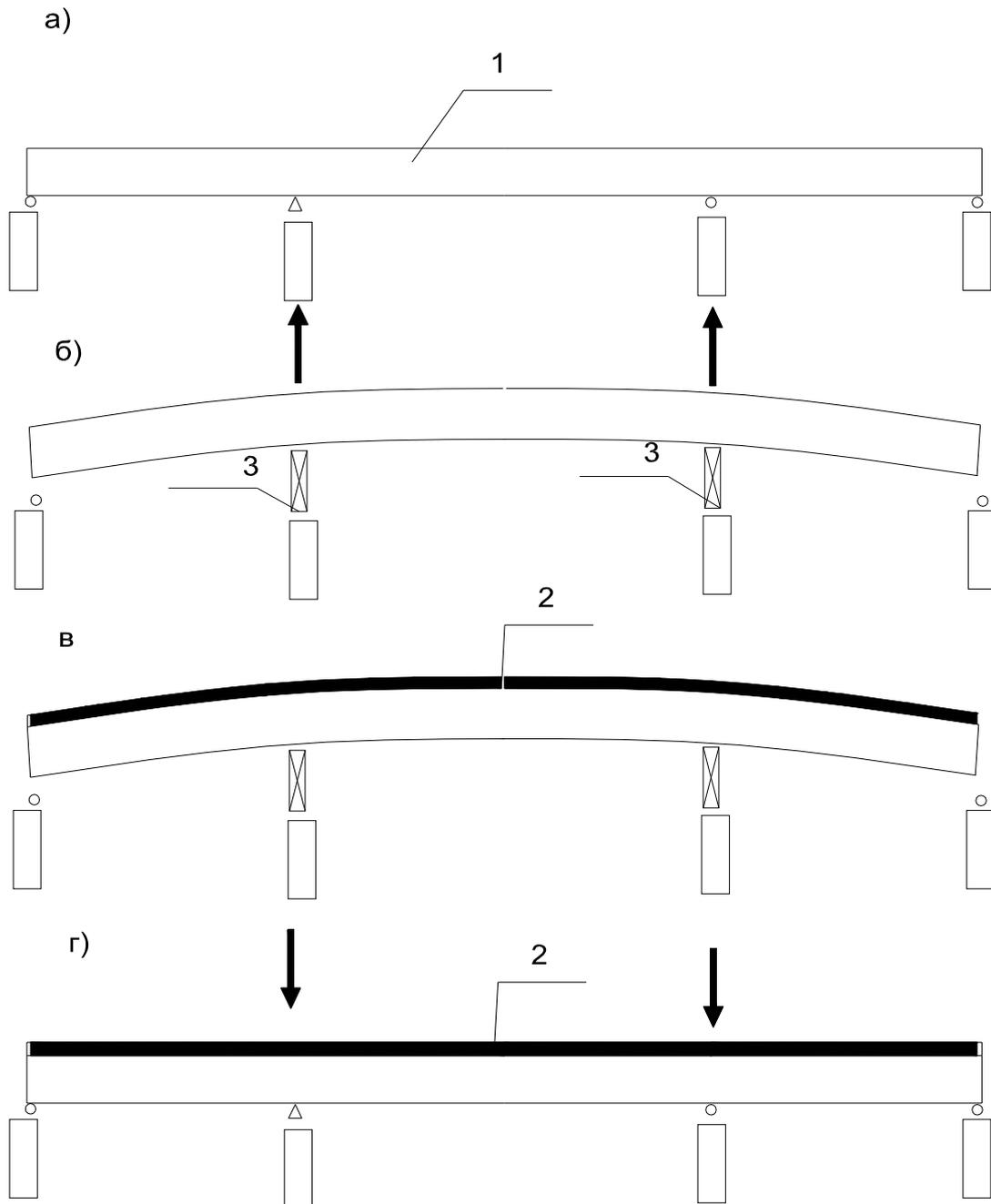


Рис. 4.6. Искусственное регулирование усилий в балках трехпролетного неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения:
 а-стальная часть пролетного строения, установленная на опоры;
 б-поддомкрачивание стальных балок на промежуточных опорах;
 в-монтаж или бетонирование монолитной железобетонной плиты;
 г-опускание пролетного строения на опорные части после набора прочности бетона;
 1-стальные балки; 2-железобетонная плита; 3-домкраты и временные клетки

1) Поддомкрачивании пролетного строения на промежуточных опорах. После этого свариваются продольные выпуски арматуры сборных плит и омоноличиваются монтажные стыки, а также упоры в «окнах».

2) После набора прочности бетоном омоноличивания проводят опускание ПС на опорные части, и таким образом, заканчивается процесс искусственного регулирования.

Основные этапы регулирования усилий показаны на рис. 4.6.

В результате регулирования усилий:

- в надопорной зоне над промежуточными опорами в бетоне плиты создаются предварительное обжатие;
- выравнивается продольный профиль ПС;
- достигается заметная экономия стали (напряжения искусственного регулирования в металле достигает 1000 кг/см^2).

4.4. Основные схемы установки стальных балочных конструкций в проектное положение

В зависимости от условий монтажа применяются в основном следующие методы установки стальных балочных конструкций в проектное положение.

Схема 1. Продольная надвижка по капитальным опорам с аванбеком является самым распространенным способом (рис. 4.7, а). Длина аванбека при пролете до 84 м равна 21 м. Металлоконструкции при неразрезной схеме собирают на подходах на всю длину, присоединяют аванбек и проводят надвижку с помощью лебедок с обустройством опор ходовыми устройствами в виде безребордных кареток. Ролики кареток располагаются под стенками главных балок, для предупреждения схода ПС с кареток предусматривают боковые ограничители. Схема установки тяговых и тормозных лебедок зависит схемы моста.

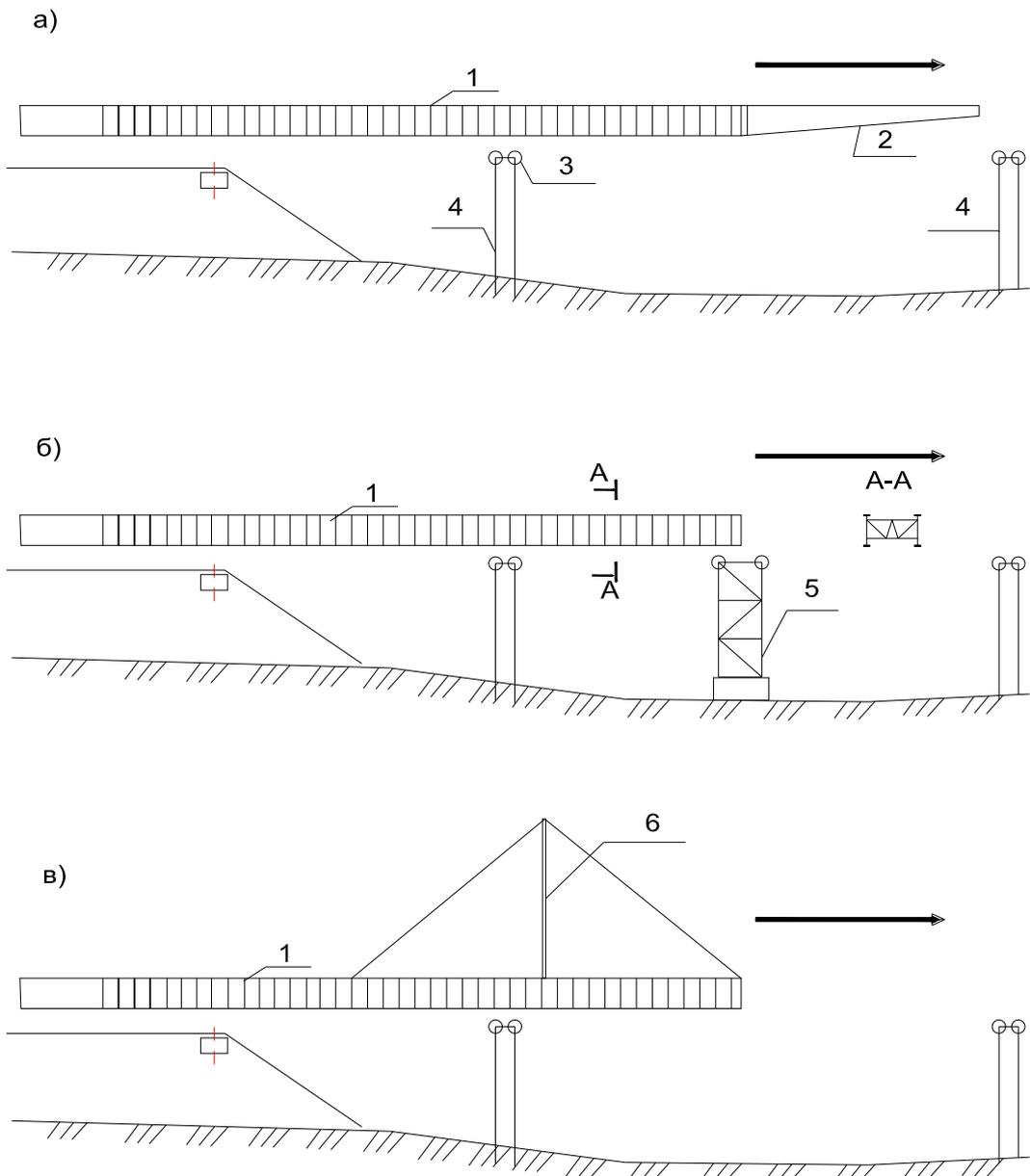


Рис.4.7. Схемы монтажа металлической части балочных неразрезных сталежелезобетонных пролетных строений: а- продольная надвигка по постоянным опорам с аванбеком; б -продольная надвигка по постоянным и временным опорам; в-продольная надвигка с усилением шпренгелем. 1-надвигаемая стальная конструкция; 2-аванбек; 3-накаточные устройства; 4-постоянная опора; 5-временная опора; 6-шпренгель

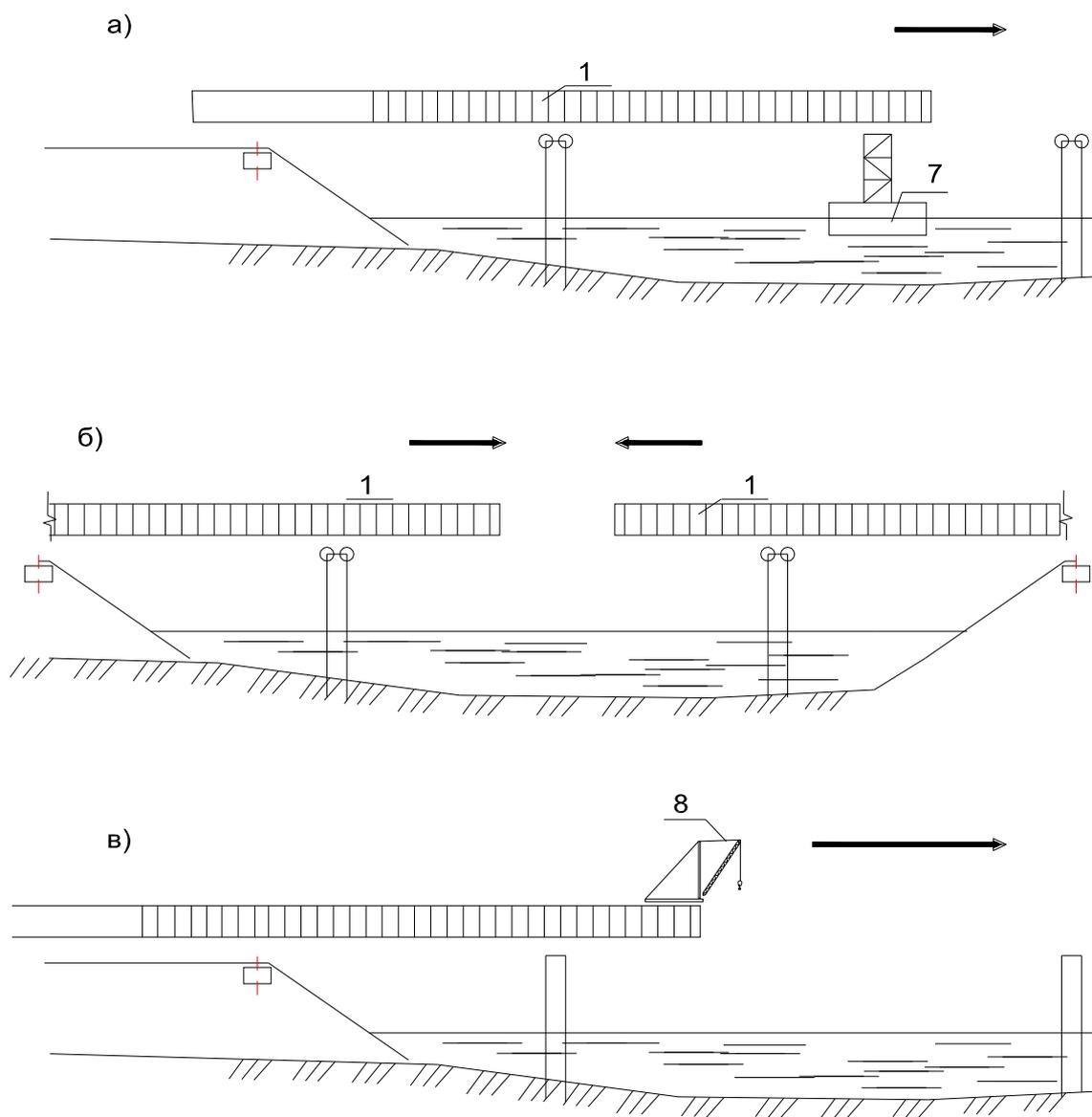


Рис. 4.8. Схемы монтажа металлической части балочных неразрезных сталежелезобетонных пролетных строений: а- продольная надвигка по постоянным опорам с плавучей опорой; б -продольная надвигка с двух берегов по постоянным опорам;в -навесная сборка. 1-надвигаемая стальная конструкция; 8-монтажный кран на смонтированной части пролетного строения

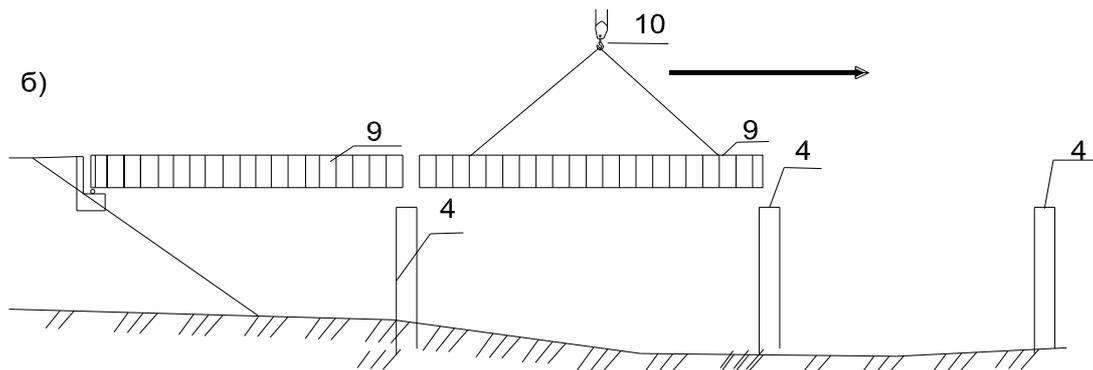
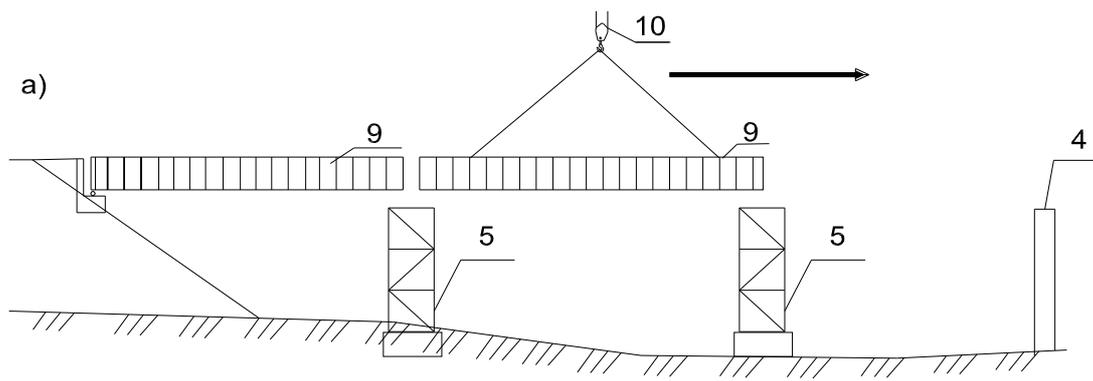


Рис.4.9. Схемы монтажа металлической части балочных неразрезных сталежелезобетонных пролетных строений: а-сборка с использованием вспомогательных опор; б-сборка крупными блоками и цельными пролетными строениями.

9-укрупненный блок или целое пролетное строение; 10-монтажный кран (козловый, стреловой или плавучий)

Схема 2. Продольная надвижка по капитальным и временным опорам (рис. 4.7, б). При надвижке на временные опоры передаются горизонтальные силы трения, что должно учитываться при их расчете.

Схема 3. Продольная надвижка по капитальным опорам с использованием шпренгеля (рис. 4.7, в). Он состоит из качающихся стоек и вант, для регулирования усилий предусматриваются полиспасты и лебедки. Подобным методом была проведена продольная надвижка главных балок неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения Рижской эстакады на третьем транспортном кольце в г.Москве.

Схема 4. Продольная надвижка с плавучей опорой (рис. 4.8, а). Используется при интенсивном судоходстве и невозможности устройства вспомогательных опор в русле. На первой стадии в меньших пролетах надвижка проводится без вспомогательных устройств, на второй стадии в судоходном пролете плавучая опора вступает в работу после прохода половины пролета. Надвижка проводится быстрыми темпами в специально выделенное «окно» (перерыв судоходства). Недостатком метода является довольно большая стоимость и трудоемкость плавучей опоры.

Схема 5. Продольная надвижка с двух берегов по капитальным опорам с замыканием в середине главного пролета (рис. 4.8, б). Длина консоли в главном пролете при этом методе уменьшается в два раза. Достаточно сложной операцией является замыкание двух секций пролетного строения в середине главного пролета. Под воздействием изменений температуры длина секций меняется, поэтому необходимо работы по замыканию проводить при минимальных колебаниях температуры воздуха и в кратчайшие сроки. Таким методом была проведена надвижка пролетного строения сталежелезобетонного моста через канал им. Москвы на Ленинградском ш.

Схема 6. Навесная и полунавесная сборка (рис. 4.8, в). Применяется редко. Монтажный кран может перемещаться по смонтированной части пролетного строения (может быть использован простой деррик-кран). Недостатком метода являются

более тяжелые и опасные условия проведения монтажных работ на высоте.

Схема 7. Сборка металлоконструкций на постоянных и временных опорах (рис. 4.9, а). В качестве опор используют башни из МИК-С. Этот метод широко используют при строительстве эстакадных частей мостов и городских эстакад в Москве Санкт-Петербурге и в других городах.

Схема 8. Монтаж крупными блоками кранами большой грузоподъемности (рис. 4.9, б) является прогрессивным методом. При этом цельнопролетные или крупные блоки массой до 500 т собирают в удобных условиях на специальных площадках, а потом транспортируют кранами и устанавливают на опоры. Возможно применение:

- а) козловых кранов (наиболее часто их используют для установки разрезных ПС $L=42\text{м}$ с массой до 50т);
- б) стреловых самоходных кранов с г/п до 400т и более;
- в) плавучих кранов г/п от 100т (речных) и до 1000т (морских).

4.5. Возведение сталежелезобетонных пролетных с монолитной железобетонной плитой

Монолитная плита применялась в начальной стадии строительства сталежелезобетонных пролетных строений. Затем был долгий период применения исключительно сборных плит.

Однако в последние годы стали возводить пролетные строения с монолитными плитами. С точки зрения эксплуатационной надежности монолитная плита более водонепроницаема по сравнению со сборной, в монтажных стыках (швах) и окнах (в местах расположения упоров) которой часто наблюдаются протечки.

В монолитных пролетных строениях наиболее часто применяются гибкие упоры Нельсона. При бетонировании плиты необходимо стремиться к максимальному устранению вредного влияния на продольный профиль прогибов стальных балок от веса укладываемого бетона. Для этого плиту бетонируют в несколько стадий и устанавливают временные опоры в серединах пролетов.

Например, при бетонировании плиты неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения на Киевском ш. при четырехпролетной балочной схеме бетонирование велось в две стадии от крайних опор к опоре №3.

Опалубочные и бетонные работы при сооружении плиты проезжей части мостостроительные организации производят на основе ППР и специально разработанного регламента, в котором изложены организационные и конструктивно-технологические мероприятия, по обеспечению качества бетона, реализации экзотермического способа выдерживания бетона, защиты от потерь воды затворения, обеспечения трещиностойкости возводимого сооружения.

Во всех случаях бетонные работы предпочтительно производить при положительных температурах воздуха (больше +5°C) и надежном прогнозе об отсутствии атмосферных осадков (дождя). До начала бетонирования должны быть закончены:

- все работы по монтажу опалубки по всей площади (монтаж опорных конструкций, подмостей, опалубочных щитов);
- установка арматурного каркаса;
- установка закладных деталей под стойки барьерных ограждений и дренажных устройств;
- установка опалубки в местах организации «рабочих» швов бетонирования.

До начала производства работ по бетонированию следует изготовить необходимое количество дистанционных прокладок - «сухарей», обеспечивающих толщину защитного слоя и проектное положение арматурного каркаса во всех сечениях плиты. Качество бетона дистанционных прокладок (ДП) должно быть не ниже качества бетона плиты проезжей части. ДП изготавливают на специальном посту с обеспечением всем необходимым оборудованием. Для них используют мелкие фракции щебня 5...10 мм. Размеры ДП должны соответствовать величине защитного слоя.

По мере монтажа опорных лесов, подмостей и элементов опалубки, инструментальной выверки ее положения, опалубку очищают от мусора и продувают сжатым воздухом. При обнаружении

неплотностей, которые могут привести к потере цементного раствора во время бетонирования, все обнаруженные места герметизируют липкой лентой или промазывают герметиком типа «Силикон».

После этого поверхности опалубочных щитов вручную протирают предельно тонким слоем солидола или другой консистентной смазкой. При высоком качестве формирующих поверхностей опалубочных листов из бакелизированной фанеры допускается смазку не наносить.

Установленная на место арматура, закладные детали и «сухари» должны представлять собой жесткий каркас, который не может быть расстроен при бетонировании монолитной плиты.

После окончания монтажа арматурного каркаса плиты и закладных деталей монтируют пути катания (перемещения) виброреек и передвижных мостиков. После выполнения подготовительных работ производят освидетельствование каркаса и опалубки с участием представителей «Заказчика» и проектной организации в соответствии с правилами авторского надзора за строительством зданий и сооружений.

Для обеспечения защиты фронта укладки бетонной смеси в опалубку плиты от атмосферных осадков необходимо иметь на всю ширину пролетного строения комплект защитных передвижных или переставляемых тентов (рис. 4.11).

Каждую захватку бетонируют двумя бетононасосами (рис. 4.12), максимальный вылет стрелы которых подбирают в зависимости от места их установки. При бетонировании плиты путепроводов бетононасосы устанавливаю на грунте внизу.

Зимой бетонирование проводится в тепляках. Для подачи смеси используют секционные бетоноводы, опирание секций звеньев которых осуществляется на арматурный каркас. Подачу и распределение бетонной смеси плиты ведут последовательными полосами шириной 3...5 м. Укладку ведут гибкими рукавами. После подачи и распределения бетонной смеси в очередной полосе от бетоноводов отсоединяют гибкие рукава и соответствующие секции труб. После этого гибкие рукава вновь присоединяют к бетоноводам

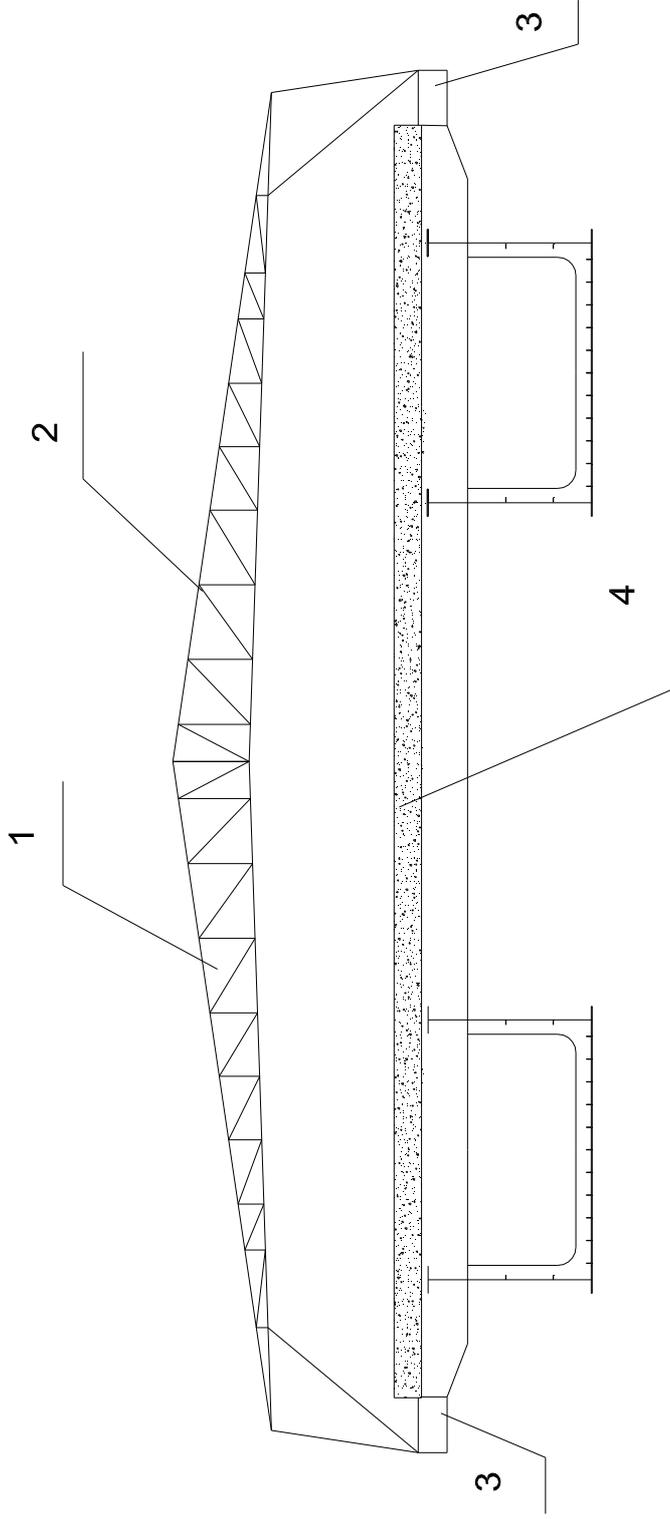


Рис. 4.11. Схема установки защитного перемещаемого тента для бетонирования плиты проезжей части: 1-инвентарная ферма; 2-верхний поллог; 3-вспомогательная консоль; 4-бетонируемая плита проезжей части

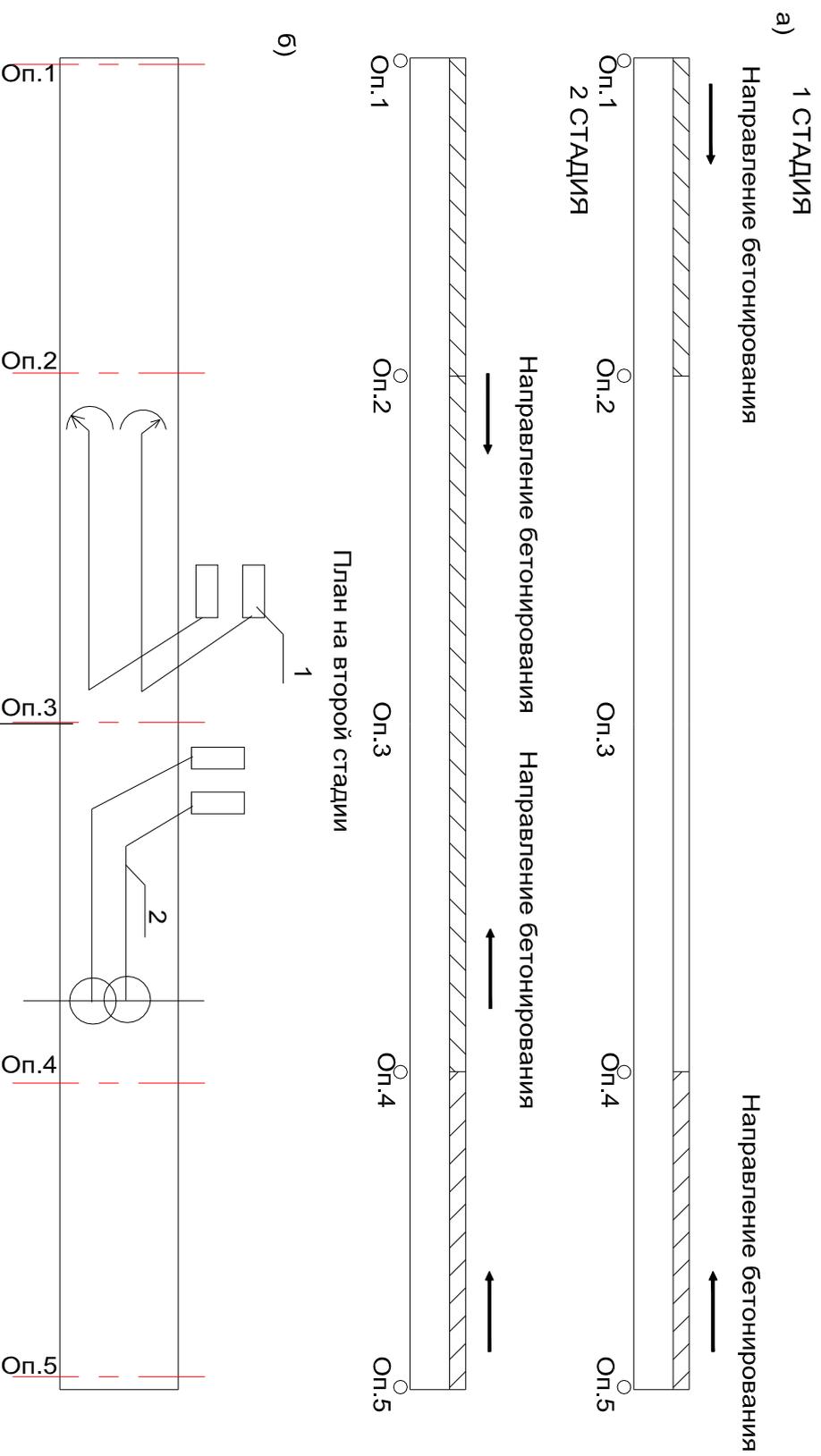


Рис.4.12. Схема бетонирования железобетонной плиты проезжей части неразрезного четырехпролетного сталежелезобетонного пролетного строения путепровода: а-стадия бетонирования; б-расположение бетононасосов на второй стадии; 1-бетононасос; 2-бетоновод $D=120$ мм из секций длиной 3м; 3-гибкий хобот (рукав)

в новом положении и продолжают подачу и распределение бетонной смеси в очередную полосу. Плиту бетонируют сразу на полную высоту.

После укладки бетонной смеси в полосе плиты производят уплотнение ее ручными вибраторами (с гибким валом).

Затем производится формирование поверхности бетона виброрейками. Весьма полезным является вакуумирование поверхности бетона. При этом с поверхности удаляется лишняя вода, воздух, а крупный заполнитель поднимается к поверхности плиты. Имеются устройства для вакуумирования фирмы Дупарас.

На расстоянии 2...3 м за виброрейкой на путях катания устанавливают перемещаемый мостик и с него проводят ручную доводку поверхности бетона деревянным инструментом (терками, полутерками, правилами).

После отделки на поверхность укладывают тепло-влажностное покрытие.

При чистовой отделке поверхности бетона она доводится затирочными машинами (при этом на некоторое время снимают тепло-влажностное покрытие).

5. Монтаж балочных неразрезных коробчатых стальных пролетных строений с ортотропной плитой проезжей части

5.1. Общие данные

Стальные коробчатые пролетные строения с ортотропными плитами проезжей части широко применяются в России и за рубежом для пролетов до 300 м. В последние годы построены мосты через р.Москва, Ока, Волга (в том числе два моста у г.Коломна и мост через р.Волга в г.Ярославль).

Коробчатые пролетные строения с ортотропной плитой проезжей части значительно легче сталежелезобетонных. При этом они обладают достаточной жесткостью на кручение, а также имеют существенные технологические преимущества:

1) конструкция приспособлена к заводской и монтажной сварке (швы удобно расположены, прямолинейны и имеют большую протяженность);

2) существенно сокращено количество монтажных элементов и стыков;

3) плоскостные монтажные элементы главных балок и ортотропных плит удобны для транспортировки.

Для стальных коробчатых пролетных строений основные способы монтажа те же, что и для монтажа стальных главных балок сталежелезобетонных пролетных строений.

Монтажные блоки коробчатых пролетных строений изготавливают на заводах ММК (мостовых металлических конструкций) в городах Воронеж, Курган, Ярославль. Основными сборочными элементами являются блоки главных балок. Длина их обычно кратна 21 м (составляет 10,5 м или 21 м). Однако длина таких блоков может превышать 21 м и достигать до 30 м. При вертикальных стенках блок представляет собой сварной двутавр с приваренными к нему вертикальными ребрами и стенкой, не доведенной до конца блока для обеспечения свободного прохода сварочного автомата (для выполнения монтажного стыка). Концы горизонтальных листов на заводе разделяют под сварку.

При наклонных стенках монтажный блок имеет L-образное поперечное сечение.

Блоки ортотропной плиты проезжей части (рис. 5.1) представляет собой конструкцию, состоящую из покрывающего листа с минимальной толщиной 12 мм, продольных ребер (плоских или коробчатого сечения) и поперечных балок таврового сечения. Длина блока ортотропной плиты проезжей части согласуется с длиной главных балок (обычно 10,5 или 11 м); ширина часто принимается равной ширине стандартного заводского листа – 2480 мм. В продольных и поперечных ребрах имеются заводские отверстия для установки высокопрочных болтов.

Блоки нижней ребристой плиты аналогичны по конструкции блокам ортотропной плиты проезжей части. Нижний лист переменной

толщины (в зависимости от проектных значений усилий по длине пролетного строения).

Над опорами имеются диафрагмы, которые также изготавливаются в виде блоков с привязкой к конкретной конструкции. В пролете устраиваются поперечные связи, изготавливаемые на заводе из уголков.

Монтажные стыки главных балок выполняются сварными.

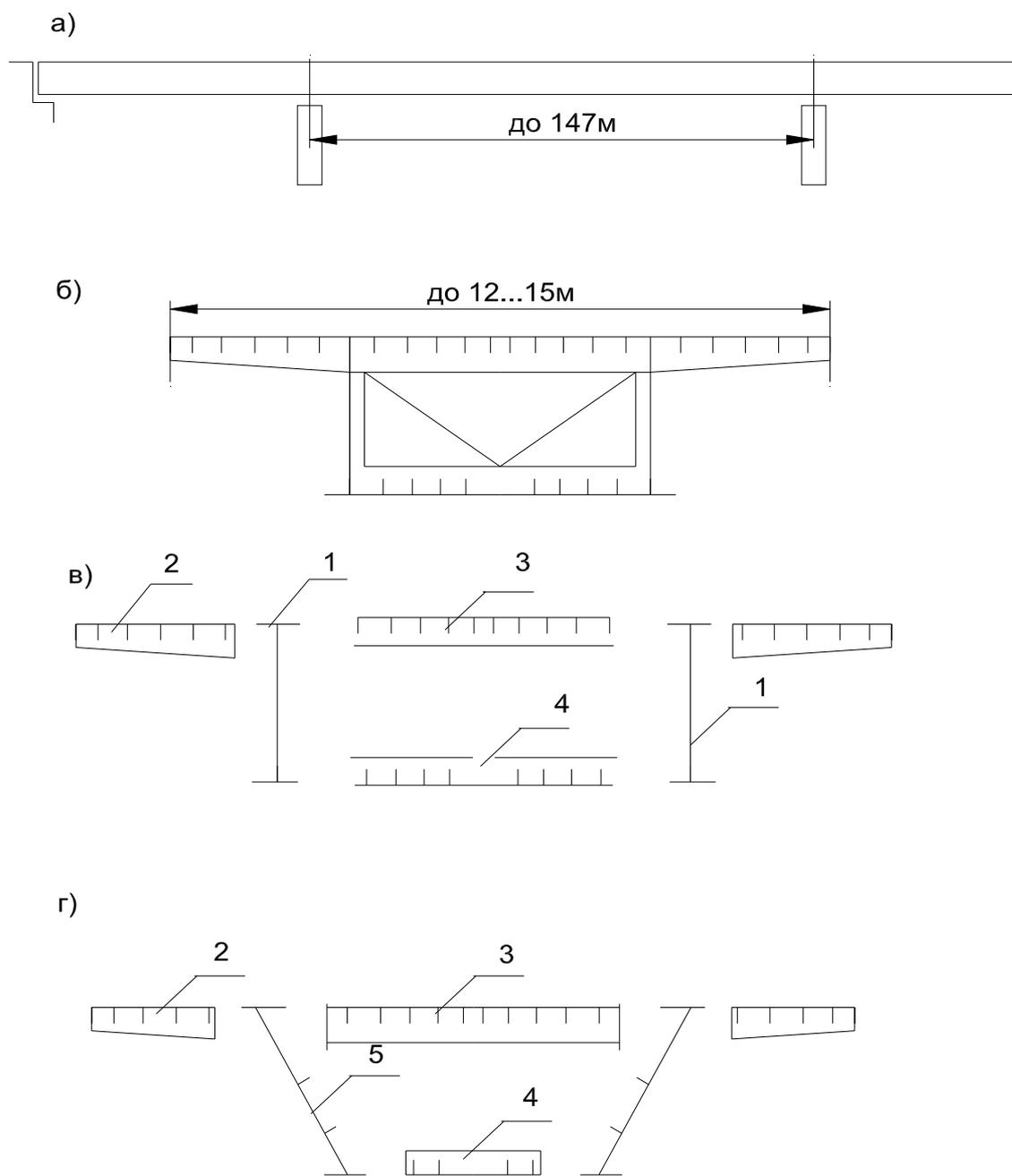


Рис.5.1. Схема неразрезных стальных коробчатых пролетных строений:
 а-фасад; б-поперечное сечение с вертикальными стенками; в-заводские блоки при вертикальных стенках; г-поперечное сечение с наклонными стенками; д-заводские блоки при наклонных стенках; 1-главная балка двутаврового сечения; 2-блок ортотропной плиты консоли; 3-укрупненный блок ортотропной плиты проезжей части; 4-укрупненный блок нижней ребристой плиты; 5-блок главной балки L-образного сечения

Впервые сварные монтажные стыки применил в мостах инженер-мостостроитель, академик Е.О.Патон. Во время Великой отечественной войны он применил сварку для корпусов танков Т-34, в то время как в Германии для этих же целей до конца войны использовались заклепочные соединения.

Конструкция монтажного стыка балок двутаврового сечения разработана Институтом электросварки им. акад. Патона в Киеве. Эти стыки имеют вертикальную вставку стенки шириной 400 мм для прохода автомата и вставку верхнего пояса. Вставка обеспечивает возможность доварки автоматом вертикальных швов до конца с последующей заваркой горизонтальных швов вставки.

Порядок сварки такого стыка следующий:

1. Стыковой шов №1 нижнего пояса двутавровой балки заваривают под флюсом автоматом.
2. Устанавливается вставка в плоскости стенки (вставка стенки вырезается «по месту»), и специальным автоматом завариваются вертикальные швы №2.
3. Устанавливается вставка верхнего горизонтального листа и горизонтальные стыковые швы №3 завариваются под флюсом полуавтоматическим или автоматическим способом..
4. Полуавтоматическим способом заваривают угловые швы №4 между стенкой и нижним поясом.
5. Вручную завариваются два угловых потолочных шва между верхним поясом и стенкой.

Устройство вертикальных швов (№2 п.2) осуществляется по методу принудительного формирования [1]. С этой целью стыкуемые листы располагаются с зазором 8...12 мм, причем с одной стороны устанавливают медную подкладку, а с другой - медный формирующий ползун, перемещающийся со скоростью сварки. Подкладка и ползун интенсивно охлаждаются проточной водой. Электродная проволока криволинейно изгибается и направляется в полость, образуемую кромками свариваемых листов, подкладкой и ползуном. Сварочная дуга горит под флюсом.

Шов нижнего пояса (п.1) сваривается в следующей последовательности. Сначала блоки главных двутавровых балок

устанавливают в проектное положение в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Между торцами нижних листов, которые имеют заводскую U-образную разделку, оставляют зазор 2...4 мм. Затем с боковых сторон приваривают вручную выводные планки. Под низ устанавливаются тонкие стальные прокладки толщиной 2 мм и медную подкладку толщиной 16 мм, которые прижимают легкими винтовыми домкратами. Зону стыка тщательно очищают пескоструйным аппаратом. Сварку нижнего пояса производят автоматом ТС-17МУ за несколько проходов. Швы обрабатывают шлифовальными кругами. Контроль качества сварки осуществляется гамма-лучами. После сварки нижнего пояса проводят повторную проверку положения блоков.

5.2. Конвейерно-тыловая сборка с циклической продольной движкой (с аванбеком)

Метод продольной движки с применением аванбека применяется наиболее широко для мостов и путепроводов с коробчатой ортотропной конструкцией. Сборка пролетного строения осуществляется на насыпи подхода, на специальном стапеле, который располагается по оси движимого пролетного строения (рис. 5.2). Длина стапеля зависит от максимальной длины пролета. Стапель оснащается сборочными опорами, домкратами, подмостями, клетями, толкающими и накаточными устройствами.

Непосредственно за стапелем на подходах располагают площадку укрупнительной сборки ортотропных плит, пост подготовки ВПБ (высокопрочных болтов), склады металлоконструкций (блоков главных балок и ортотропных плит). Вся зона стапеля и площадки за стапелем обслуживаются козловым краном (рис. 5.3) грузоподъемностью 45...50 т с пролетом до 42 м. На подходах предусматриваются проезды вдоль оси моста шириной не менее 3 м для подачи конструкций.

Примером циклической продольной движки является путепровод в г.Люберцы.

Сборочный стапель обслуживался козловым краном КС50-42Б грузоподъемностью 50 т с пролетом 42 м. Максимальная масса

надвигаемой «нитки» пролетного строения полной длиной 462 м составила 1950 т. Конструкция толкающего устройства включала в себя два захвата со связями и два гидроцилиндра немецкой фирмы «Эбершпехер» г/п по 1000 тс каждый с ходом поршня 2 м, которые объединялись в одну гидросистему для обеспечения в них одинаковых усилий. Концевые части цилиндров заканчивались проушинами для закрепления к захватам и упорам на устоях. Передача усилий на надвигаемое ПС осуществлялось гидрозахватами за свесы нижнего пояса (рис. 5.4, 5.5, 5.6). Максимальное необходимое усилие T на последней стадии продвижки при полной массе пролетного строения $Q=1950$ т составляло:

$$T = n \cdot Q \cdot (1,3 \cdot f + i) = 1,1 \cdot 1950 \cdot (1,3 \cdot 0,08 + 0) = 223 \text{ т},$$

где $n=1,1$ – коэффициент надежности;

$f=0,08$ - коэффициент трения (карточки скольжения фирмы «Эбершпехер»);

1,3 - коэффициент надежности (по трению);

$i=0$ продольный уклон.

Все промежуточные опоры были обустроены накаточными устройствами (рис. 5.7).

На верху ригелей опор устанавливались металлические тумбы, а на них - временные тангенциальные опорные части и балансирные балки с перекаточным устройством, состоящим из РОЧ и плиты скольжения, по которым укладывались карточки скольжения фирмы «Эбершпехер». Конструкция балансирной балки в сочетании с конструкцией аванбека позволяла при продвижке на опоры обходиться без проведения специальных операций по выборке прогиба консоли пролетного строения. Для уменьшения веса надвигаемой консоли с максимальным вылетом 84 м применен аванбек длиной 21 м. Кроме этого, для уменьшения прогиба консоли на длине 52,5 м крайние (консольные) части верхних ортотропных плит (под тротуарами) были смонтированы после продвижки.

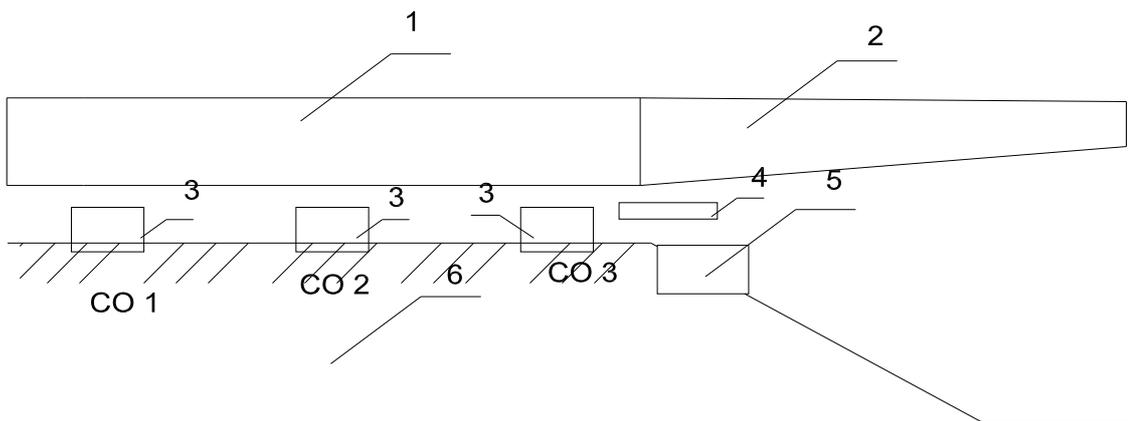


Рис. 5.2. Сборочный стапель (продольный разрез): 1-собираемая часть пролетного строения; 2-аванбек; 3-стапельная опора; 4-толкающее устройство; 5-устой; 6-насыпь

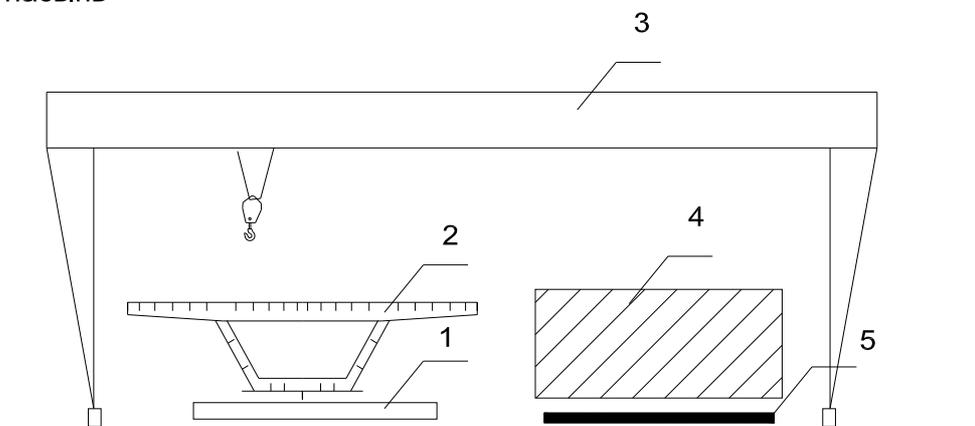


Рис.5.3. Сборочный стапель (поперечное сечение): 1-сборочный стапель; 2-собираемое пролетное строение; 3-козловый кран; 4-зона подачи конструкции; 5-временная дорога из железобетонных плит шириной 3м

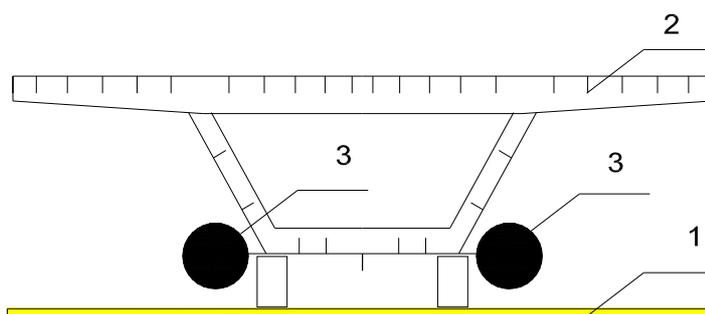


Рис.5.4. Расположение толкающих гидроцилиндров: 1-устой; 2-пролетное строение; 3-гидроцилиндр;

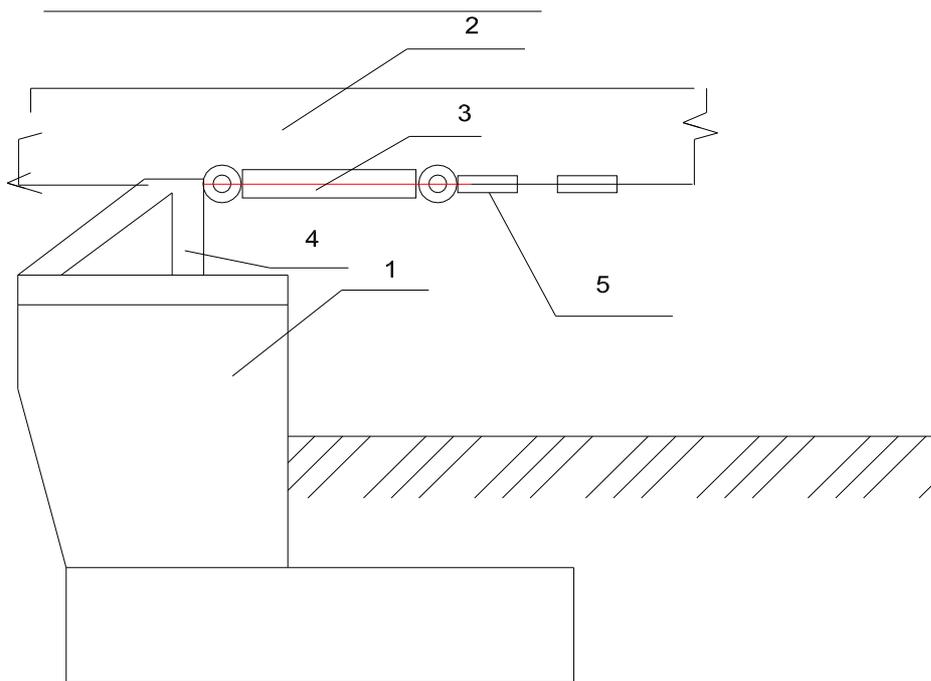


Рис.5.5.Толкающее устройство: 1-устой; 2-надвигаемое пролетное строение; 3-толкающий гидроцилиндр; 4-упор; 5-захват (гидрочелюсти)

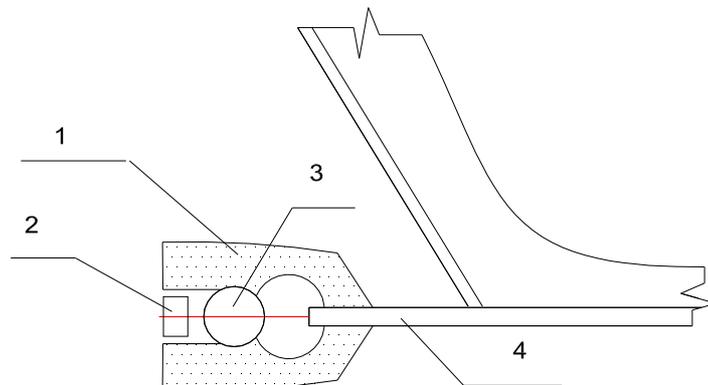


Рис.5.6. Конструкция захвата (гидрочелюстей) с максимальным зажимающим усилием до 700т: 1-захват; 2-домкрат захвата; 3-ось вращения захватов; 4-нижний лист пояса главной балки

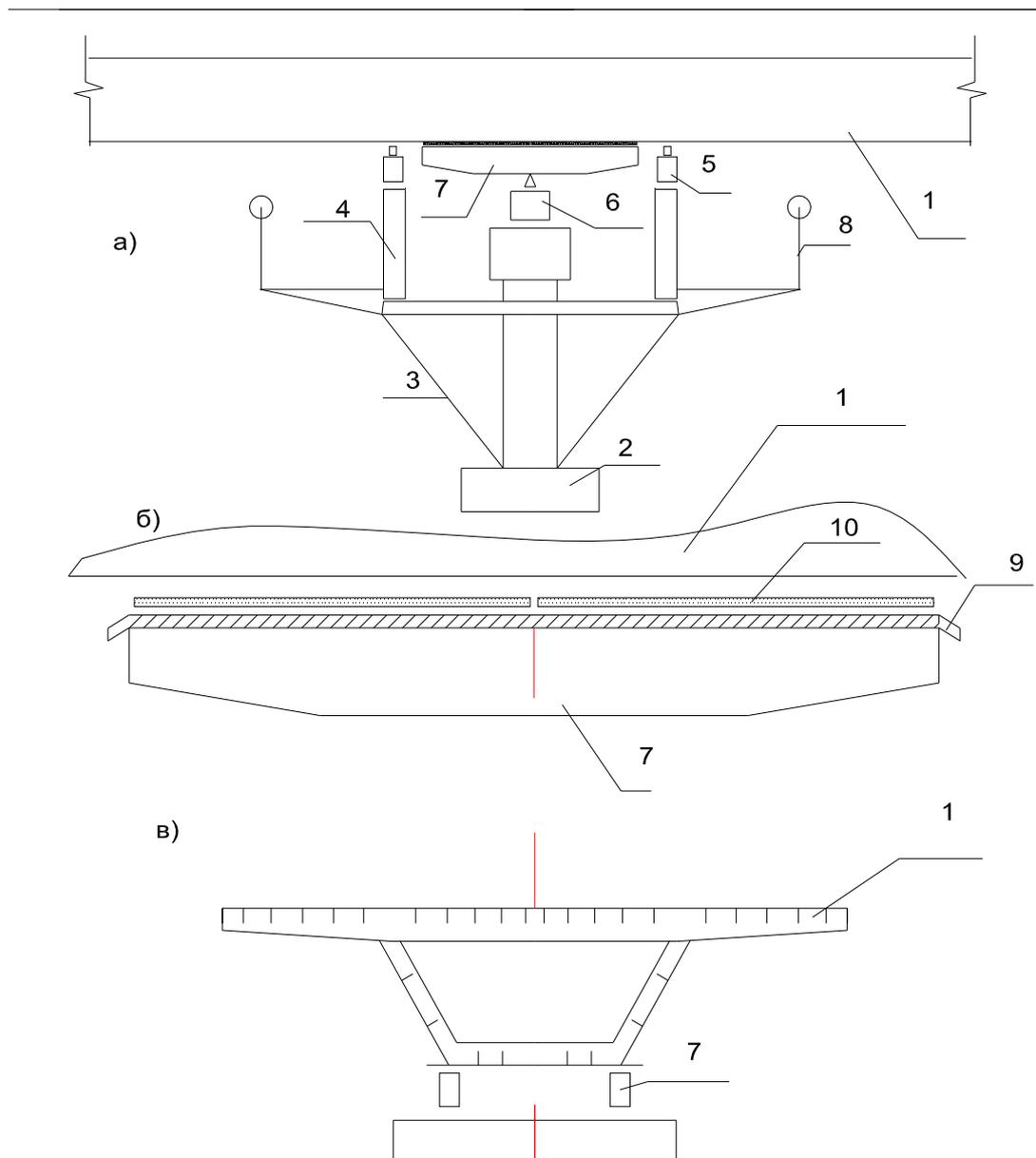
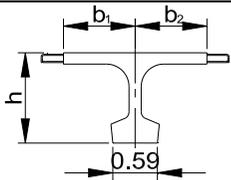
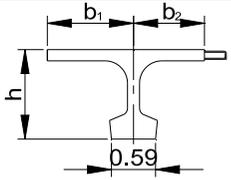
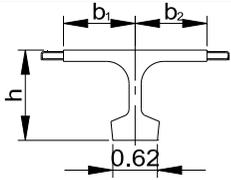
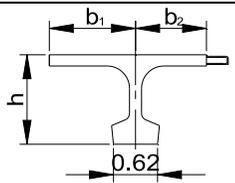
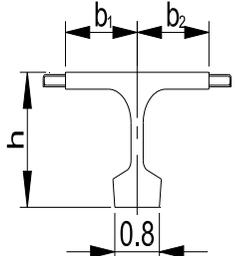
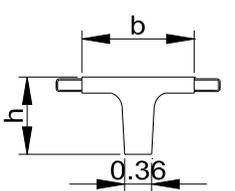
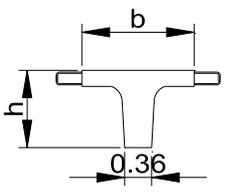
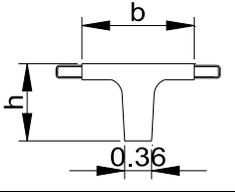


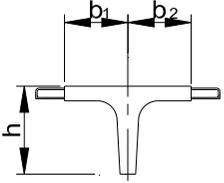
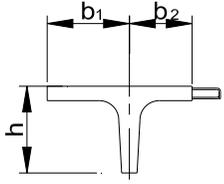
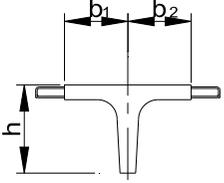
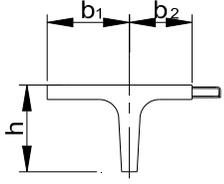
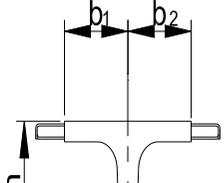
Рис.5.7.Обстройка промежуточной опоры при движении: а-вид обустройств с фасада; б-балансир; в-расположение перекаточных устройств под главными балками; 1-надвигаемое пролетное строение; 2-промежуточная опора; 3-стойки; 4- тумба; 5-домкрат; 6-опорная часть; 7-балансирная балка; 8-подмости для рабочих; 9-полированная плита скольжения лист из нержавеющей стали; 10-карточки скольжения

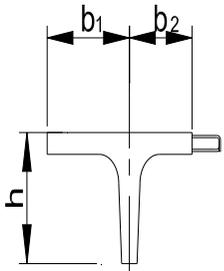
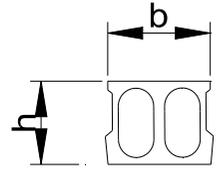
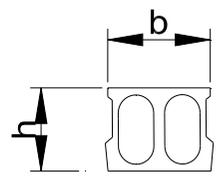
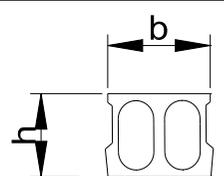
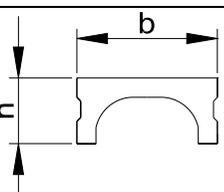
Формоопределяющим элементом (кондуктором) при укрупнительной сборке являлся коробчатый элемент длиной 2 м заводского изготовления, позволявший задать ход всей сборке и обеспечить надежное объединение с аванбеком. Монтаж каждой «нити» ПС производился в 8 стадий. При этом на стапеле собирали секции длиной до 84 м.

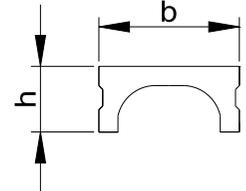
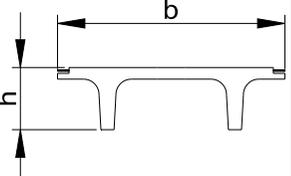
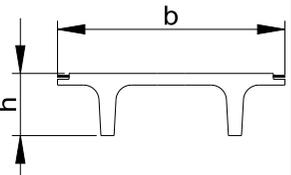
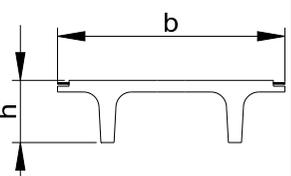
Весовые и геометрические характеристики некоторых цельнопролетных монтажных элементов железобетонных пролетных строений

№ п/п	Эскиз	Маркировка	Параметры				Рабочее армир. п/н или обычной арматурой	Примечание	
			полная длина L_p , м	h, м	b/b ₁ , м	b ₂ , м			Масса монтажн. элемента, т
1		Пр24	24	1,2	0,9	0,9	38,0	п/н	
2		Кр24	24	1,2	1,04	0,9	38,0	п/н	
3		Пр33	33	1,5	0,9	0,9	57,9	п/н	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4		Кр33	33	1,5	1,04	0,9	59,0	п/н	
5		Б42	42	2,1	0,9	0,9	90,0*	п/н	* - приведена максимальная масса для блоков полной длиной 42 м (монолитных или составных)
6		Б9	9	0,75	1,1	-	10,0	п/н	
7		Б15	15	0,75	1,1	-	16,5	п/н	
8		Б18	18	0,75	1,1	-	19,8	п/н	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9		Бпр12	12	0,9	0,65	0,65	10,9	обычн.	
10		Бкр12	12	0,9	0,85	0,65	11,8	обычн.	
11		Бпр15	15	0,9	0,65	0,65	13,6	обычн.	
12		Бкр15	15	0,9	0,85	0,65	14,7	обычн.	
13		Бпр18	18	0,9	0,65	0,65	17,6	обычн.	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14		Бкр18	18	0,9	0,85	0,65	18,9	обычн.	
15		П12	12	0,7	1,0	-	9,0	п/н	
15		П15	15	1,1	1,0	-	13,0	п/н	
15		П18	18	1,2	1,0	-	17,1	п/н	
16		Б12	12	0,7	1,66 или 1,8	-	15,5	обычн.	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17		Б21	21	1,2	1,66 или 1,8	-	33,0	обычн.	
18		Б700	7	0,75	2,0	-	9,4	обычн.	
19		Б15	15	0,75	2,0	-	22,6	обычн.	
20		Б21	21	1,2	2,0	-	32,5	обычн.	

ЛИТЕРАТУРА

1. Колоколов Н.М., Вейнблат Б.М. Строительство мостов: Учебник – М., Транспорт, 1975.
2. Строительство мостов: Учебник/ Бобриков Б.В., Русаков И.М., Царьков А.А.; под ред. Б.В. Бобрикова. – М., Транспорт, 1978.
3. СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы».
4. СНиП 3.05.06-91 «Мосты и трубы».
5. СНиП 3.01.01-85* «Организация строительного производства».
6. ВСН 136-78 «Инструкция по проектированию вспомогательных сооружений и устройств для строительства мостов», Минтрансстрой, М., 2001.
7. Справочник инженера дорожника, том «Строительство мостов и труб», - М.: Транспорт, 1978.
8. Александров В.Д. Карманный справочник производителя работ ОАО «Мостотрест». М., ОАО «Мостотрест», 2000.
9. Пашенко В.А. Заводское изготовление мостовых железобетонных конструкций. – М.: Транспорт, 1972.
10. Мамлин Г.А. Изготовление конструкций стальных мостов. - М: Транспорт, 1976.
11. Кручинкин А.В., Белый В.К. Монтаж стальных пролётных строений мостов. – М.: Транспорт, 1978.
12. Вейнблат Б.М. и др. Краны для строительства мостов: Справочник. -М., Транспорт, 1978.
13. Курлянд В.Г. Вариантное проектирование балочных железобетонных мостов. Учебное пособие. М.: МАДИ, 1987.
14. Инженерные сооружения в транспортном строительстве. В 2 кн.: учебник для студ. высш. учеб. заведений / П.М. Саламахин, Л.В. Маковский и др.; под ред. П.М. Саламахины. – М.: Академия, 2007;
15. Технические данные производителей кранового, бетонолитного и др. технологического оборудования, оснастки, а также материалов и элементов конструкций (Liebherr, КАТО, Dynapac, Ebershpaher, Maurer и др.).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Монтаж сборных железобетонных балочных пролетных строений из цельнопролетных элементов	6
1.1. Общие данные	6
1.2. Изготовление цельноперевозимых балок и их транспортировка	9
1.3. Особенности изготовления тавровых типовых балок с каркасной арматурой	11
1.4. Краны, применяемые для монтажа блоков балок	12
1.5. Схемы и правила строповки балок	19
1.6. Разновидности технологических схем монтажа сборных железобетонных балочных разрезных пролетных строений из цельноперевозимых балок и плит	22
1.7. Укрупнительная сборка балочных разрезных составных балок и установка их в пролет	29
1.8. Возведение сборных балочных разрезных предварительно напряженных пролетных строений из цельнопролетных балок с натяжением после бетонирования..	30
1.9. Монтаж сборных неразрезных пролетных строений из длинномерных элементов	32
2. Возведение сборных составных по длине балочно-неразрезных предварительно напряженных пролетных строений	33
2.1. Общие данные	33
2.2. Способы сборки	36
2.2.1. Сборка на сплошных подмостях	36
2.2.2. Навесная и полунавесная сборка	38
2.2.3. Консольные краны для навесной и полунавесной сборки	39
2.2.4. Попролетная сборка на перемещающихся подмостях	41
2.2.5. Сборка шлюзовыми агрегатами	42
2.2.6. Надвижка с конвейерно-тыловой сборкой	46

2.2.7. Сборка на берегу с последующей установкой «птички» в пролет на плавучих средствах	47
3. Возведение монолитных балочных предварительно напряженных пролетных строений	48
3.1. Общие данные	48
3.2. Требования к материалам и изделиям для монолитных предварительно напряженных пролетных строений	50
3.3. Варианты технологических схем возведения монолитных балочных неразрезных предварительно напряженных пролетных строений	53
3.4. Бетонирование балочных неразрезных предварительно напряженных пролетных строений на сплошных подмостях	54
3.5. Возведение балочных неразрезных предварительно напряженных пролетных строений методом навесного бетонирования	63
3.6. Циклическая продольная подвижка	69
4. Сооружение сталежелезобетонных балочных пролетных строений	70
4.1. Общие данные	72
4.2. Виды упоров	
4.3. Монтаж типовых сталежелезобетонных пролетных строений со сборной железобетонной плитой	73
4.4. Основные схемы установки стальных балочных элементов в проектное положение	81
4.5. Возведение сталежелезобетонных пролетных с монолитной железобетонной плитой	86
5. Монтаж балочных неразрезных коробчатых стальных пролетных строений с ортотропной плитой проезжей части	91
5.1. Общие данные	91
5.2. Конвейерно-тыловая сборка с циклической продольной подвижкой (с аванбеком)	96
Приложение. Весовые и геометрические характеристики некоторых цельнопролетных монтажных элементов железобетонных пролетных строений	12 0
Литература	12

