

Е. КАНЬШИН (фирма «GROETZ», Германия)

СТРОИТЕЛЬСТВО МОСТОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ ЦИКЛИЧНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ НАДВИЖКИ (ЦПН). ОПЫТ ГЕРМАНИИ

В статті викладено основні положення технології циклічного поздовжнього насуву мостів. Наведено історичний огляд та приклади ефективного використання технології для будівництва сучасних транспортних споруд складної конфігурації в стиснених умовах виробництва робіт.

В статье изложены основные положения технологии циклической продольной надвигки мостов. Приведены исторический обзор и примеры эффективного применения технологии для строительства современных транспортных сооружений сложной конфигурации в стесненных условиях производства работ.

The basic provisions of technology of the cyclic longitudinal pulling down of bridges are presented in the article. The historical review and examples of effective application of technology for building of modern transport structures of complicated configuration in the straitened conditions of performing the work are given.

В строительстве мостов с середины 1950-х гг. широко применяется предварительное напряжение железобетонных конструкций. Возможность создания предварительного напряжения непосредственно на строительной площадке позволила разнообразить конструкции пролётных строений мостов и послужила основой развития новых строительных технологий. В Германии и других странах Европы широко применяется технология циклической продольной надвигки (ЦПН), которая позволяет возводить высококачественные мостовые сооружения над автомобильными магистралями или железнодорожными путями без перерывов в движении транспорта, в сложной пересечённой местности. Технология ЦПН обеспечивает высокую экономическую эффективность при сооружении неразрезных пролётных строений большой протяженности.

Технология продольной надвигки заимствована из опыта строительства стальных мостов. Впервые при строительстве железобетонных преднапряжённых пролётных строений этот способ был опробован в Венесуэле в 1962 году, когда мост через р. Рио-Карони был надвинут с помощью скользящих частей и аванбека.

В дальнейшем эта технология была усовершенствована немецкими инженерами Фрицем Леонхардом и Вилли Брауном. Они разработали основные принципы и техническую оснастку для строительства пролётных строений в недельном цикле с продольной надвигкой, которые с успехом применяются и в настоящее время. Суть метода состоит в следующем. В ходе строительства осуществляется сооружение частей взаимосвязанных пролётных строений

(многопролётной неразрезной конструкции) за устоем или береговой опорой на стационарном стапеле. Отдельно бетонируемые секции присоединяют к ранее изготовленным в недельном цикле, после набора прочности бетона и предварительного напряжения, необходимого для «строительного состояния», их надвигают посредством специальной гидравлической установки в продольном направлении через промежуточные опоры, освобождая стапель для сооружения следующей секции (рис. 1).

Важным преимуществом этой технологии являются концентрация всего процесса изготовления пролётного строения на берегу, сопоставимая с заводскими условиями, а также возможность применения тепляка позволяет проводить работы круглый год.

Классическая схема цикла сооружения пролётного строения представлена на примере блоков коробчатого сечения – как наиболее целесообразных для метода ЦПН:

День первый: 5.00-7.30 – напряжение пучков предварительного напряжения; 7.30-8.00 – опускание наружной опалубки; 8.00-12.30 – надвигка готовой секции моста. Длина секции, как правило, соответствует половине расстояния между опорами, что составляет 20...25 м; 12.30-14.30 – подготовка, обработка смазкой и одновременный подъём опалубки; 15.00-16.00 – затягивание предварительно изготовленного арматурного каркаса; 16.00-19.00 – доработка, подготовка и рихтовка каркаса в опалубке на стапеле, стыковка предварительно напрягаемых пучков.

День второй: монтаж опалубки стен коробки и арматурного каркаса на подготовительном шаблонном стапеле.

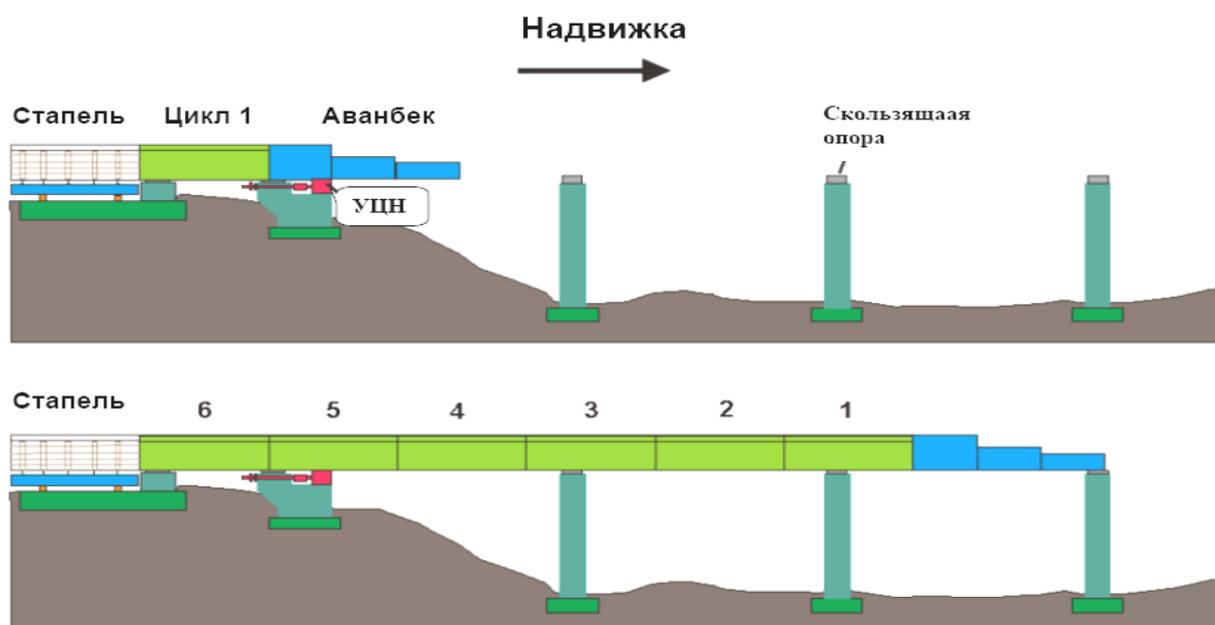


Рис. 1. Принципиальная схема ЦПН (УЦН – установка циклической надвигки)

День третий: завершение опалубочных работ, бетонирование стен и пола коробки пролетного строения.

День четвертый: демонтаж внутренней опалубки стен, выкатывание опалубки плиты проезжей части из уже готового отрезка, ее установка и выверка, укладка пучков преднапрягаемой арматуры, укладка верхних арматурных стержней.

День пятый: завершение арматурных работ и бетонирование плиты проезжей части.

День шестой и седьмой: твердение бетона.

Данная схема не является строго обязательной. Выбор схемы цикла зависит от конструкций пролетного строения, опыта работающих людей, сложности каждой секции и от погодных условий, влияющих на время твердения бетона. При введении дополнительной рабочей смены бетонирование коробки возможно уже во второй день, а плиты – в четвертый.

Применение этого метода возможно и для бетонирования пролетных строений «полного сечения» – двухребристых балок или плит, а также в случае необходимости преодоления каких-либо препятствий между опорами.

Основными параметрами выбора технологии строительства являются экономическая целесообразность и (или) техническая необходимость.

Как показывает практика, использование технологии ЦПН наиболее экономически эффективно при сооружении пролетных строений длиной 200...600 м. Это обусловлено сопоставимостью стоимости оснастки и вспомогательных конструкций для ЦПН (включая их монтаж

и обслуживание), с затратами на сооружение подмостей и опалубки для традиционного монтажа пролетного строения длиной до 200...230 м. С увеличением длины пролетного строения расходы на сооружение подмостей возрастают пропорционально длине, особенно интенсивно на высоких мостах, а при ЦПН основные стоимостные показатели остаются практически неизменными. Ещё одним важным фактором, влияющим на стоимость сооружения пролетных строений на подмостях, является несущая способность грунтов. От этого зависит тип фундаментов для промежуточных опор подмостей (мелкого или глубокого заложения). Изложенные факты и сопоставление стоимостей вспомогательных устройств позволяет сделать вывод о экономической целесообразности сооружения неразрезных пролетных строений большой длины по методу ЦПН, по следующим причинам:

- отсутствуют временные фундаменты для промежуточных временных опор для подмостей;
- весь цикл производства сосредоточен на «полевом» заводе, а не растянут вдоль всего моста, благодаря чему минимизировано количество строительных кранов, крановых площадок и подъездных путей, что позволяет снизить расходы на монтаж и содержание подъемной техники;
- возможно производство работ в зимний период, с сооружением тепляка на длине одной секции (до 30...40 м).

Сооружение пролётных строений свыше 600 м по методу ЦПН также возможно, но с применением дополнительной установки.

Самый длинный мост, сооружённый по технологии ЦПН - железнодорожный мост через реку Майн, с пролётным строением неразрезной конструкции длиной 1280 м.

Говоря об экономических преимуществах технологии ЦПН необходимо упомянуть и о некоторых стоимостных факторах удорожания. К увеличению затрат приводит необходимость дополнительного армирования и пучков напряжения, необходимых для восприятия монтажных нагрузок в процессе продвижки. Расход пучков натяжения и арматурной стали возрастает примерно на 10 % по сравнению с сооружением монолитных предварительно напряжённых пролётных строений на подмостях.

При строительстве мостов в горных условиях с высокими промежуточными опорами, технология ЦПН является намного экономичней и с точки зрения охраны труда значительно безопасней.

Технические сложности применения ЦПН для пролётных строений с изменяющимся радиусом в плане или поперечном сечении, как показывает опыт, также решаемы.

Так, при строительстве моста «Judental» в южной Тюрингии было найдено интересное решение.

Мост представлял собой конструкцию длиной 454 м с изменяющимися в противоположные стороны радиусами в плане, имел так называемую S-форму, с прямым отрезком длиной около 130 м, и изменяющимся поперечным уклоном от $i = 3,0 \%$ до $i = -2,5 \%$. Высота сооружения, превышающая 40 м, делала бы применение подмостей на всей длине моста экономически менее эффективным, чем в случае ЦПН. Изменяющаяся в плане геометрия пролётного строения, осложняющая применение ЦПН на всей длине и сравнительно небольшая высота на прямом участке моста, способствовали решению использовать смешанную технологию.

Со стороны оси «10» сооружение пролётного строения производилось по технологии ЦПН с продольным уклоном $i = 4,263 \%$ вниз (с горки) и постоянным радиусом $R=2000$ м.

С другой стороны, на прямом участке между осями «80» и «110», строительство пролётного строения осуществлялось на подмостях, возведённых с полным монтажом опалубки (рис. 2).

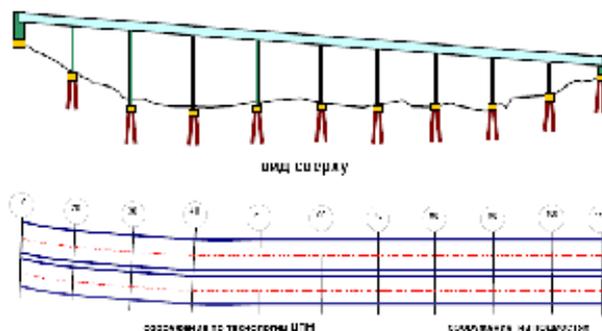


Рис. 2. Смешанная технология сооружения моста

В процессе конечной продвижки пролётного строения со стороны оси «10» аванбек был заведён в опалубку на подмостях, демонтирован, после чего был омоноличен соединительный участок (рис. 3, а и 3, б).



Рис. 3, а. Конструкция опалубки на подмостях



Рис. 3, б. Завод аванбека на опалубку

В другом случае, при строительстве моста «Schnaittach» длиной 1284 м на автобане А9 в Германии, была впервые применена технология ЦПН – «Match – Cast», принципиальная схема которой представлена на рис. 4.

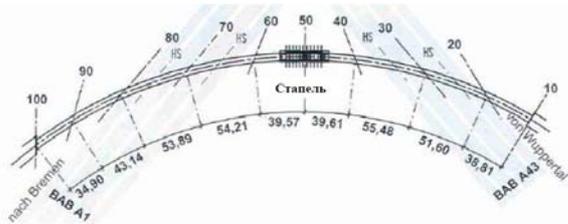


Рис. 4. Схема технологии «Match – Cast»

Эта технология позволяет сооружать пролётное строение моста как с постоянным радиусом, так и с изменяющимся. При этом стапель является подвижным, что позволяет сооружать отдельные участки с преломляющимися друг к другу углом, напоминающими «изогнутую цепь» и надвигать их циклами по так называемой приближённой продольной оси (рис. 5).

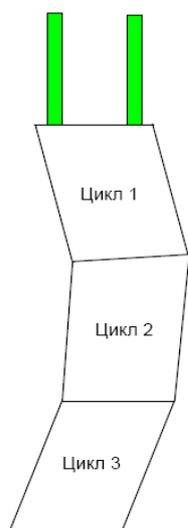


Рис.5. Размещение «циклов» надвигки вдоль ломаной оси пролётного строения

При производстве каждого нового отрезка стапель должен быть выставлен с углом преломления, определенном как приближающая продольная ось. Образующиеся при этом отклонения положения бетонной конструкции пролётного строения от основной оси моста (в конечном положении) в процессе надвигки воспринимаются поперечно перемещающимися подвижными скользящими опорными частями.

Для упрощения технической реализации проекта, позволяющего снизить его стоимость, надвигка производилась с двух сторон.

Во многих случаях выбор метода ЦПН продиктован технической необходимостью или практической невозможностью использования других способов строительства из-за проблем, связанных с частичной или полной остановкой движения на участках с высокой интенсивностью движения.

Рассмотрим несколько примеров сооружений, строительство которых осуществлялось методом ЦПН именно по этой причине.

• **Строительство автобан-моста Rastweg во Франкфурте-на-Майне** через транспортную развязку, остановка движения на которой, или даже его частичное ограничение было бы очень дорогостоящим и почти нереализуемым. В этом случае строительство велось с двух сторон и оба пролётных строения надвигались во встречном направлении (рис. 6).



Рис. 6. Встречная надвигка пролётного строения

Применение технологии ЦПН позволило вести строительство моста без остановки движения на столь напряжённой транспортной развязке.

• **Строительство моста на транспортной развязке Münster-Süd, пересекающего сразу два автобана – А1 и А43.**

Перед инженерами были поставлены два важных условия:

- ограниченная строительная площадка;
- невозможность остановки движения на существующей развязке, только его частичное ограничение.

Строительная площадка была организована в одном из «лепестков клеверного листа» (рис. 7).

Надвигка пролётного строения производилась со стапеля от середины в оба направления. Сначала было сооружено пролётное строение и соответственно надвинуто от оси «50» к оси «100», затем аванбек был демонтирован и снова сооружён на стапеле, но уже для надвигки в противоположную сторону. Так была выполнена вторая очередь пролётного сооружения методом ЦПН, а затем осуществлялось соединение.

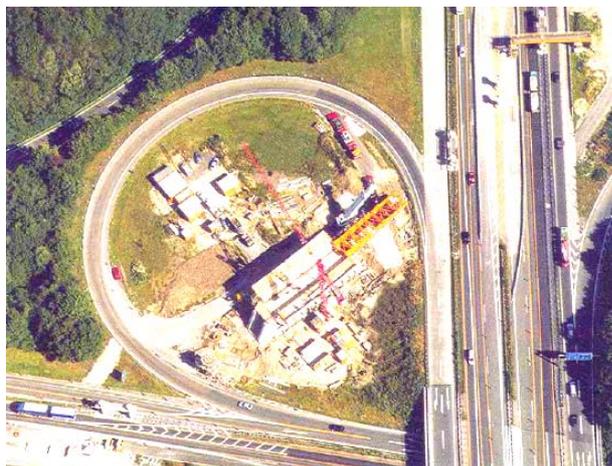


Рис. 7. Размещение строительной площадки

Оптимальным можно считать применение метода ЦПН при сооружении мостов с пролётами от 40 до 50...55 м.

Это связано с тем, что конструктивная высота коробки определяется из расчёта на максимальную нагрузку и с увеличением длины пролёта увеличивается высота, что является недостатком в техническом, экономическом и архитектурном планах. Стоимость конструкции возрастает, в то время как её большая часть используется не в полной мере.

Однако строительство мостов по технологии ЦПН с большими пролётами порядка 80...90 м и оптимальной конструктивной высотой коробки все-таки возможно.

Для этого применяются промежуточные временные опоры, а также переменная высота поперечного сечения пролётно строения. В случае с переменным поперечным сечением с увеличением строительной высоты в середине пролёта опорные части скольжения оснащают гидравлическими домкратами с электронным управлением, что позволяет регулировать давление во время надвигки. Возможен также вариант с большей высотой поперечного сечения над опорами и уменьшением его к середине пролёта - арочной формы, в этом случае необходимы вспомогательные конструкции под бетонной частью образующие прямую линию внизу (рис. 8).

Рассмотренные примеры сооружений являются практическим подтверждением широких возможностей применения технологии ЦПН для строительства мостов с преднапряжёнными монолитными пролётными строениями. При выборе системы и отдельных конструкций моста, и соответствующей технологии строительства необходимо учитывать технические и экономические составляющие как на период строительства, так и на период эксплуатации.



Рис.8. Надвигка пролётно строения длиной 80 м

Для больших пролётов наилучшими являются металлические конструкции, которые значительно легче бетонных, но в то же время их содержание и обслуживание требует немалых затрат. Эксплуатационные затраты мостов с железобетонными конструкциями гораздо меньше. Именно по этой причине получили такое широкое развитие преднапряжённые железобетонные конструкции в мостостроении в Европе.

Вывод

Сегодня на дорогах восточной Европы и постсоветского пространства наблюдается значительный рост интенсивности движения транспорта, что диктует необходимость строительства транспортных развязок. Применяя передовые технологии, такие как ЦПН, передвижные подмости с перемещением поверху или понизу и другие, можно решать такие задачи, занимая минимальные площади под строительство и обеспечивая при этом бесперебойное движение транспорта, что особенно актуально в условиях плотной городской застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бернхард, Г. Мостостроение по технологии циклической надвигки [Текст] / Г. Бернхард. – Берлин: Эрнст, 1999.
2. Косза, П. Необычный мост по технологии надвигки. Мост через автобан Мюнстер-Зюд [Текст] / П. Косза, В. Краутцалд, Х. Шмитц // Бетон и железобетон. – № 11/04. – Берлин: Эрнст. 2004.
3. Вебер, Ё. Строительство моста Шнайттах с помощью «Матч-каст-технологии» [Текст] / Ё. Вебер, Е. Счециор, Е. Риедемманн // Инженер-строитель. – № 1. – Дюссельдорф: Шпрингер, 1998.

Поступила в редколлегию 06.04.2010.
Принята к печати 12.04.2010.