# ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ. НАПРЯГАЕМАЯ АРМАТУРА

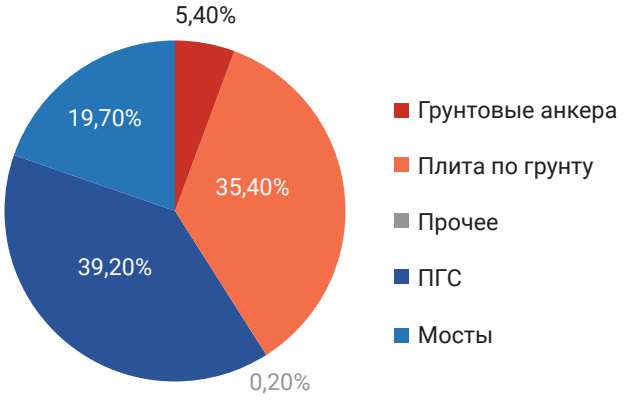
**С. Л. СИТНИКОВ,**
**к. т. н., технический директор ООО «СТС»**

*С КАЖДЫМ ГОДОМ ЧИСЛО ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ УВЕЛИЧИВАЮТСЯ, А ТАКЖЕ ПОЯВЛЯЮТСЯ ЕЕ НОВЫЕ ВИДЫ. К СОЗДАНИЮ СИСТЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ (СПН) НЕОБХОДИМО ОТНОСИТЬСЯ С ПОВЫШЕННЫМ ВНИМАНИЕМ, ИСХОДЯ НЕ ТОЛЬКО ИЗ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНСТРУКЦИИ ПРИ СООРУЖЕНИИ, НО И ИЗ УНИКАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ.*

Основные преимущества СПН: повышение прочности, долговечности, жесткости, взрывобезопасности и сейсмостойкости; сокращение затрат при строительстве и при эксплуатации, по сравнению со стальными конструкциями; уменьшение нагрузки на фундамент за счет уменьшения суммарного веса; исключение образования усадочных и температурных трещин; сокращение расхода бетона и арматуры; сокращение времени монтажа арматуры и т. д.

## ВИДЫ СПН, ТЕРМИНОЛОГИЯ И СТАНДАРТЫ

В определениях СПН есть некоторые особенности, которые часто называют неправильно. Например, как правильно называть натяжение напрягаемой арматуры и что первично: Post- Tensioning или Prestressed? Не надо путать понятия натяжение — tensioning — и напряжение — stressed. Все конструкции, построенные с




*Распределение напрягаемой арматуры по технологиям строительства*

напрягаемой арматурой, предварительно напряжены — Prestressed, а вот когда производятся натяжения напрягаемой арматуры по отношению к заливке бетона и его твердению, есть отличия: предварительное натяже-

ние — Pre-Tensioning, последующее натяжение — Post-Tensioning.

Для создания напряжения в конструкциях в СПН применяют различные виды напрягаемой арматуры: проволока гладкая и с насечкой; винтовая арматура, семипроволочные арматурные пряди; арматурные пряди в полиэтиленовой трубке и смазке (моностренды); арматурные пряди из карбона; ткань и ламинат из карбона. Все они имеют свои особенности и отличаются по монтажу, стоимости, надежности, ремонтопригодности и эксплуатации.

В состав элементов СПН, кроме основного элемента напрягаемой арматуры, входят анкеры для удержания и передачи усилия натяжения на конструкцию, каналообразователи с инъекционным раствором для передачи усилия натяжения арматурного пучка по длине в схеме со сцеплением с бетоном и много других элементов в зависимости от конструкции.

После отработки технологии СПН на мостах, предварительное напряжение конструкций, оборудование и технологии стали широко применяться в следующих сооружениях: автодорожные предварительно напряженные балки; усиление мостовых сооружений внешними пучками в защите; перекрытия зданий; вантовые, подвесные и экстрадозные мосты; плитно-ребристые конструкции (ПРК) и плитные пролеты; коробчатые конструкции пролетов с СПН; ригели; паркинги; промышленные полы; дорожные и аэродромные плиты; емкости для жидкости и газа; плавучие заводы по сжижению газа; защитные оболочки АЭС; грунтовые анкеры; нефтегазодобывающие платформы; бетонные мачты ветрогенераторов; защитно-барьерные ограждения дорог и паркингов; бетонные сухие доки; тоннели; вертикальное и горизонтальное перемещение конструкций.

Применение напрягаемой арматуры достаточно регламентировано современной нормативно-технической документацией. В России по системам предварительного напряжения конструкций действуют новые требования, основанные на евронормах. В целом мы ориентируемся на следующие документы:

- ГОСТ 13840 «Канаты стальные арматурные 1х7. Технические условия»;
- ГОСТ Р 53772-2010. «Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия»;
- EN 10138-2009 «Prestressing steels» («Арматура для предварительного напряжения»);
- ASTM A886 / A886M - 17 Standard Specification for Steel Strand, Indented, Seven-Wire Stress-Relieved for Prestressed Concrete.

У каждой страны есть свой национальный стандарт по напрягаемой арматуре.

Необходимо определиться с правильным названием напрягаемой арматуры (свитой из семи проволок) — пряди, которые сегодня как только не называют: канат, трос, струна, пучок и пр. Гостовское название прядей, в виде канатов, произошло из-за широкого понимания перевода английского названия «стренды». Но напрягаемая арматура по конструкции и применению не имеет ничего общего с канатом и тросом. Соответственно эти отличия учтены в кодах ТН ВЭД и определены в величине налоговых отчислений. На арматуру, в том числе напрягаемую, пряди — это 5%, а на многодельную более дорогую продукцию — канат (в том числе закрытый для подвесок) и трос — 15%. Так что при прохождении таможни необходимо учитывать «слишком свободный» перевод слова «стренд» для советского ГОСТ 13840. Тем не менее технологии СПН развиваются.

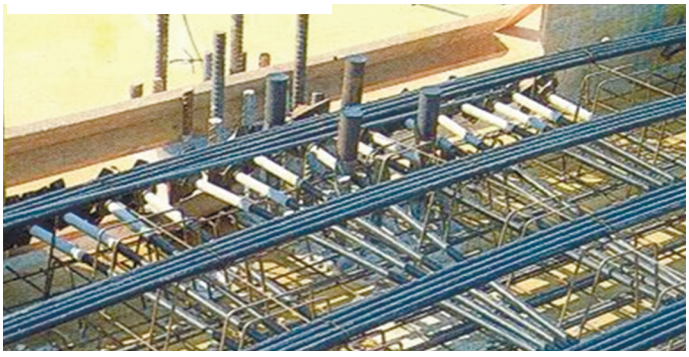
СПН начинались с пятимиллиметровой проволоки для сцепления с бетоном с помощью насечек, петель, «фонариков». Дальше появилась винтовая арматура — это стальные конструкции диаметром до 100 мм и выше, недостатки которых: прочность в два раза меньше, чем у прядей; они прямые. Проволочные арматурные пряди делают из семи проволок свивкой — для того, чтобы было сцепление с бетоном, на который передаются усилия

натяжения прядей и нагрузка. А чтобы не инъецировать и исключить трение о стенки, делают так называемые моностренды, то есть прядь в защите. Ее смазывают и вставляют в полиэтиленовую трубку. Для вантовых систем проволоку сначала еще оцинковывают.

## НОВЫЕ РЕШЕНИЯ

Приходят и новые технологии. Так, Мостотрест при строительстве трассы Москва — Санкт-Петербург на одном из путепроводов реализовал опытный вариант — сделали четыре балки с напрягаемой арматурой из углеродного волокна (карбона). Их изобрела японская компания. Мостотрест сделал автодорожные балки путепровода из таких прядей. Они не корродируют вообще. По цене, однако, здесь ничего не выигрывается, хотя и не проигрывается. Такая прядь в пять раз легче, но в пять раз дороже. Опять же, из-за малого веса их легко монтировать, но тяжело натягивать. А главный недостаток — состав карбоновой пряди: 85% углерода и 15% эпоксидной смолы. Соответственно, возникает вопрос о долговечности такого материала. В частности, отсутствует стойкость к перегреву при высоких температурах. Еще один негативный нюанс связан с коэффициентом относительного температурного линейного расширения, который в 40 раз меньше стали. Тем не менее, технологически получается очень интересная прядь, которую мы на этом объекте и испытывали.

Также из карбона делают ткани и ламели, которые наклеиваются на конструкции. Но есть здесь проблема:



*СПН по методу без сцепления с бетоном. Инъекция не требуется. Натяжение на бетон*

*Стенд для изготовления а/д балок с натяжение с прядей на раму (упоры)*

сначала подготовить поверхность, чтобы склеить качественно. И включается в работу эта ткань только тогда, когда конструкция начинает дальше деформироваться.

Приведу пример со сцеплением. По известной технологии, после заливки цементным раствором образуется цементный камень, который позволяет передать усилие натяжения на гофры, а гофры уже передают нагрузку на бетон. В Англии и в Америке, однако, даже есть норматив, что в морской прибрежной зоне нельзя применять гофрированные, жестяные каналообразователи. Так было решено после обследования нескольких старых мостов, жестяные каналообразователи которых практически разрушились от коррозии, вызванной хлористыми соединениями морского воздуха. На Русском мосту мы убедили проектировщиков, чтобы они приняли решение о применении полиэтиленовых каналообразователей.

Еще одна новая технология — производство предварительно напряженных автодорожных балок на строительной площадке, а не на заводе. Приведем пример строительства трассы «Таврида». Там на протяжении 250 км устроено 220 мостов и путепроводов, причем все они балочной конструкции. Мы туда отправили пять стендов, на которых делались эти автодорожные балки. Стандартно четыре балки в неделю снимаются с одного стенда. Компьютер управляет процессом твердения бетона с использованием греющей опалубки, повышая или понижая температуру в нужном месте в нужное время. Стенд, соответственно, является перевозным, он разбирается и затем снова собирается на новом объекте.

Последнее время, для усиления пролетного строения внешним армированием, мы также начали применять упоры для пучков не стальные, а из сверхвысокопрочного сталефибробетона. То есть вместо того, чтобы точить металлический упор, выполняя несколько трудоемких и достаточно долгих по времени операций, берем опалубку, замешиваем фибробетон, заливаем его — и через сутки такой упор можно ставить на объект. Причем возможно делать очень длинные пролеты. С использова-

нием этой технологии мы, в частности, в прошлом году сдали объект в Костроме.

На вантовых мостах тоже идет применение напрягаемой арматуры. Сейчас мы заканчиваем монтаж вантовой системы — уже российской, разработанной у нас в СТС — в Муроме. Первый подобный объект у нас был на Зее возле Благовещенска.

Еще одно техническое решение — плитно-ребристые конструкции (ПРК). Применено, в частности, на эстакадах в аэропортах Внуково и Домодедово. Коробчатые конструкции, разработанные в СССР как блоки К, нашли широкое распространение в Восточной Азии. Из них делают огромные сооружения даже для проезда скоростных поездов. В чем заключается эффективность? На заводе в опалубке профессиональная бригада изготавливает коробку. Вы привозите ее на объект, поднимаете и стягиваете пучками. То есть происходит ускорение строительного процесса, и вероятность брака меньше, чем при использовании традиционных решений. Сейчас мы реализуем похожую технологию (двухсторонее уравновешенное бетонирование) на скоростной дороге Москва — Казань на переходе через Осипов овраг.

*Плитно-ребристые конструкции (ПРК) и плитные пролетов с СПН*

Отдельно хотелось бы отметить устройство паркингов и логистических комплексов. У нас есть технология, которая позволяет делать пролеты в 18,5 м без колонн и опор. Достигается увеличение машино-мест на 15-20%. Важно, что в этом случае вообще нет деформационных швов. Как известно, проезд по ним тяжелой техники способствует разрушению конструкции. У нас рекорд — ни одного деформационного шва на протяжении 140 м.

Уникальное решение было реализовано на стадионе «Зенит» («Газпром Арена»). Футбольное поле особой конструкции там выкатывается из-под трибун, и поэтому потребовалось их усиление с помощью СПН 31 прядевыми пучками.

Посредством таких же прядей теми же домкратами происходит циклическая надвижка мостов. В этом плане нет ограничений ни по весу, ни по длине конструкции.

Также применяется лифтинг — вертикальное перемещение конструкций. В Мурманске на мостовом сооружении над железной дорогой поднимали фермы весом 1,5 тыс. т, а на Русском мосту была конструкция весом 1 тыс. т.

## ОБ УНИКАЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ

Основа системы предварительно напряжения конструкций является уникальное изделие — высокопрочная арматурная прядь, временное сопротивление которой (1860 МПА) превосходит стали: сталь пружинная 85 (1150 МПа), сталь 18ХГТ (980 МПа), сталь 09Г2С (490 МПа), сталь 30ХГСА (730 МПа), сталь У12 (1570 МПа), сталь ШХ (1570 МПа) и т. д. Высокие прочностные свойства прядей связаны с технологией изготовления, а именно пропускание подката диаметра 12 мм стали 80 через девять фильер, которые обеспечивают нагартовку металла и понижение диаметра подката до 5 мм после последней фильеры.

После свивки семи проволок получается высокопрочная напрягаемая арматура — прядь. Для создания моностренда — пряди в защите — на термопласт автомате обеспечивают нанесение смазки и формируют полиэтиленовую трубку.

Так как надежность и долговечность строительной конструкции полностью зависит от работоспособности напрягаемой арматуры, пряди должны проходить ряд входных испытаний перед установкой в конструкцию.

По требованию заказчика или не реже один раз в год проводят испытания прядей на релаксационную стойкость, усталостную прочность, стойкость против коррозионного растрескивания, растяжение с изгибом.

Из каждой бухты поставленных на объект прядей должна быть испытаны два образца на механические испытания в независимой сертифицированной лаборатории: модуль упругости пряди; разрывное усилие пряди; временное сопротивление разрыву при □0,1; предел текучести; нагрузка при условном пределе текучести; относительное удлинение.

Также проводятся следующие испытания оболочки моностренда: на трение пряди в защитной оболочке моностренда; на герметичность защитной оболочки моностренда; полиэтиленовой трубки моностренда на удар.

Технологии предварительного напряжения строительных конструкций можно отнести к особо сложным и ответственным работам, поэтому без многолетнего практического опыта их выполнять нельзя. Несмотря на определенные сложности, СПН продолжает развиваться и показывает свою высокую эффективность, по сравнению с традиционными технологиями. ■