

УДК 004.4

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА НАДВИЖКИ
НЕРАЗРЕЗНЫХ МОСТОВЫХ ПРОЛЕТОВ**

В. И. Наянов, Ю. В. Ноянов

Саратовский государственный университет
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: YVN@inbox.ru

Описывается система компьютерного слежения за напряженно-деформируемым состоянием опор и пролетного строения при его надвижке на опору моста.

Ключевые слова: строительство мостовых переходов федерального значения, современные технологии контроля.

Computer Control of the Process of Continuous Sliding Bridge Spans

V. I. Nayanov, Yu. V. Noyanov

A system of computer monitoring the stress-strain state of support and the span when it is sliding is described.

Key words: building bridges of federal significance, control technology.

За последние десятилетия наибольшее распространение получил монтаж стальных и сталежелезобетонных мостов методом продольной надвигки мостовых пролетов. Для обеспечения безопасности надвигки и надежности мостовых конструкций во время строительства особое внимание уделяется контролю за процессом надвигки. В середине 90-х годов прошлого столетия Саратовский госуниверситет, ОАО «Волгомост» (г. Саратов) и ОАО «Гипротрансмост» (г. Москва) приступили к разработке и созданию системы тотального компьютерного контроля за процессом надвигки пролетного строения. Совершенствование системы контроля и расширение диапазона контролируемых параметров пролетного строения во время надвигки происходили в процессе строительства мостового перехода в с. Пристанное вблизи г. Саратова. В результате взаимодействия ученых университета, проектировщиков и строителей ОАО «Волгомост» были усовершенствованы многие узловые технологические моменты и предложены новые технические решения процесса продольной надвигки пролетного строения. В итоге этой деятельности была разработана и создана система компьютерного слежения за напряженно-деформированным состоянием опор и пролетного строения в процессе его надвигки.

Краткое описание системы и результаты ее использования при строительстве моста в с. Пристанное приводятся ниже. Нужно отметить, что автоматизированный контроль процесса строительства внеклассных мостов стал нормой и впоследствии применялся в различных модификациях при строительстве других мостов на Волге и Каме (в городах Астрахань, Волгоград, Казань, Ульяновск). Планируется использование компьютерного контроля и при новом строительстве внеклассных автодорожных и железнодорожных мостов в других регионах России.

Выбор основных параметров для контроля

В настоящее время при строительстве мостов применяется специальное шпренгельное устройство, позволяющее без сооружения временных опор надвигать пролетное строение длиной до 160 м. В процессе надвигки пролетного строения могут возникнуть напряжения и деформации, превышающие допустимые значения. При существующих допусках на сборку пролетных строений и установку перекаточных устройств накопленные суммарные вертикальные отклонения могут достигать величины 10–15 мм. Такие отклонения в уровнях опирания смежных балок, находящихся на одной

опоре, приводят к перегрузке одной из стенок пролетного строения. Для выравнивания реакций под стенками коробки в процессе надвигки пролетных строений моста через р. Волгу у с. Пристанное под перекаточными устройствами устанавливались гидравлические преобразователи (плоские домкраты грузоподъемностью 1000 т с ходом поршня до 50 мм). Эти преобразователи были объединены на опоре в единую гидравлическую систему.

Теоретические значения реакций опор, изгибающих моментов и поперечных сил для любого сечения пролетного строения определялись по моделирующей процесс надвигки программе «Роллинг», разработанной в проектном институте «Гипротрансмост». Результаты расчета содержали данные о нормативных значениях реакций, изгибающих моментов, поперечных сил, прогибов на каждом шаге надвигки пролетного строения в сечениях, назначенных проектировщиком. Кроме того, им же определялись значения критических реакций, исходя из обеспечения местной устойчивости отсеков стенок главных балок. В наиболее нагруженных сечениях (корневые участки консоли пролетного строения с наибольшим вылетом во время надвигки и стыки главных балок, имеющих переломы профиля) предусматривалось измерение напряжения по стенкам балок в зоне нижнего пояса.

Особое внимание уделялось отслеживанию динамики отклонения оголовков опор как наиболее уязвимого параметра с точки зрения опасности быстрого развития нештатной ситуации. На определенных интервалах надвигки опорные реакции могут достигать величин, сравнимых с величинами на стадии эксплуатации. Применяемые в перекаточных устройствах антифрикционные материалы обладают достаточным разбросом величины коэффициента трения скольжения, зависящего от многих факторов: температуры воздуха, удельного давления, продолжительности перерывов надвигки и т. п.

При строительстве моста в любой момент времени обеспечивался контроль за параметрами, характеризующими успешный ход монтажа: величиной усилия выталкивания, положением пролетного строения в пространстве (путем определения координат свободного конца аванбека), усилием в ветвях полиспастов шпренгельной системы, выбирающих прогиб консоли пролетного строения и гасящих колебания, длиной плети пролетного строения, выдвинутой за устой и консоли, а также за напряжением сжатия бетона в уровне объединения тела опоры с фундаментом.

Все замеры вышеприведенных параметров передавались на центральный компьютер для оперативного анализа, а при появлении нештатной ситуации для остановки надвигки на контрольном пункте управления строительством.

Структура системы компьютерного контроля

Компьютерная система контроля может функционировать при различных условиях внешней среды и параметрах работы:

- на открытом воздухе (температурный диапазон от плюс 60°С летом в металлической коробке до минус 35°С зимой) при прямом воздействии атмосферных осадков на оборудование системы;

- при наличии больших масс металла и работе мощных электроустановок;

- при большой протяженности системы (около 1500 метров).

Систему можно подразделить на три части:

- 1) цифровые измерительные устройства, реализующие непосредственные измерения требуемых физических величин с последующим представлением результатов измерения в некотором цифровом коде;

- 2) система сбора данных, выполняющая транспортировку полученных данных на центральную станцию (персональный компьютер);

- 3) программное обеспечение, предназначенное для управления системой сбора данных, отображения состояния производственного процесса в реальном масштабе времени, накопления и сохранения результатов измерений.

При контроле процесса продольной надвигки пролетного строения использовались измерительные устройства различного назначения:

- для определения расстояния надвигки;

- для определения реакций на опорах (по давлению в упомянутой выше гидравлической системе);

- для измерения напряжений в стенках пролетного строения, контроля напряжения сжатия бетона опор в уровне объединения тела опоры с фундаментом, определения усилия в ветвях полиспаста, выбирающего прогиб консоли пролетного строения;

- для отслеживания отклонения оголовков опор (с использованием источника лазерного излучения).

Система сбора данных – это локальная вычислительная сеть, узлами которой являются контроллеры удаленных устройств (КУУ) и один компьютер. Каждый КУУ имеет уникальный адрес, что позволяет организовать опрос датчиков следующим образом: центральная станция формирует кадр, включающий в себя адрес определенного устройства, и передает его по линии, все контроллеры удаленных устройств, включенные в сеть, принимают этот кадр, но только одно устройство опознает «свой» код и формирует ответ, включающий в себя данные поступающие в КУУ от цифрового датчика. Такой принцип работы позволяет проводить сбор данных в любой последовательности и избежать конфликтов при их транспортировке от многих узлов.

Программное обеспечение данной системы на языках программирования С и С++ состоит из нескольких взаимодействующих частей. Это драйвер (программа управления) устройством сопряжения персонального компьютера и линии, программа обработки и сохранения

данных и программа графического представления данных, работающая в двух режимах (представление данных в реальном масштабе времени и просмотр сохраненных результатов). Имеются версии программного продукта, позволяющие работать в операционных системах MS-DOS и Windows.

Визуализация работы мониторинговой системы

Рассмотрим организацию вывода информации о состоянии процесса надвигки. Экран дисплея разделен на окна, и в каждом из них представлена информация о контролируемых параметрах (продвижение пролетного строения, отклонение оголовков опор, реакция опор, напряжение в стенках пролетного строения, натяжение троса в ветвях полиспаста, положение конца аванбека в плане, усилие в домкратах толкающего устройства и т. д.). Информация представлена в виде гистограмм, что позволяет руководителю надвигки быстро улавливать изменение общей картины состояния пролетного строения в любой момент времени.

В нижнем окне представлено схематическое изображение надвигаемого пролетного строения (с разбивкой на блоки и панели) и опор моста. В левом среднем окне выведены информация об отклонении оголовков опор в числовом виде и графическое представление гистограммой, которое применяется для визуального отображения большинства данных. Для каждой опоры дано предельно допустимое значение отклонения. В соседнем справа окне выведена информация по реакциям опор. Кроме данных, поступающих с измерительных устройств на каждой опоре, также выводятся изменяющиеся на каждом шаге надвигки значения предельно допустимой и теоретической реакций. В следующем окне этого ряда выводятся данные усилий в ветвях полиспаста по верховой и низовой стороне. В верхнем левом окне представлена информация о напряжении в стенках пролетного строения, при этом данные сгруппированы попарно для напряжений в верховой и низовой стенке с одинаковым удалением датчиков от конца пролетного строения с указанием расстояния. В среднем верхнем окне представляются результаты измерений сжатия бетона принимающей опоры в уровне верха фундамента в числовом и графическом форматах. В последнем окне осуществляется вывод информации о вертикальном прогибе и боковом отклонении конца аванбека. Для вертикального прогиба имеется возможность графического представления заранее введенных верхнего и нижнего предела по прогибу.

Все контролируемые параметры надвигки в реальном масштабе времени могут передаваться посредством модема в локальные сети заказчика и других участников строительства. Представленные также в виде гистограмм расчетные значения параметров, а также их предельные значения позволяют руководителю четко отследить либо нормальное, либо неблагоприятное поведение тех или иных характеристик надвигаемого пролетного строения и опор.

Поскольку такие характеристики, как отклонение оголовков опор и натяжения тросов в ветвях полиспаста могут при неблагоприятных обстоятельствах изменить свои значения в течение нескольких секунд, предусмотрены кнопки экстренного выключения толкающего устройства и тяговых лебедок. Следует заметить, что практика применения системы контроля на строительстве мостов через р. Волга в городах Саратов и Волгоград, а также моста через р. Кама у с. Сорочьи Горы (Татарстан)

показала обязательность применения подобных устройств экстренного выключения.

Основные результаты применения системы компьютерного контроля

Постоянное сопровождение основных строительно-монтажных работ с помощью предложенной авторами системы компьютерного контроля позволяет в процессе надвигки пролетных строений не только своевременно получать необходимую информацию о состоянии наиболее ответственных зон и участков, но и на основе анализа полученных в реальном масштабе времени измерений вносить коррективы с целью предотвращения аварийных ситуаций (вплоть до остановки процесса надвигки), связанных с возрастанием напряжений в элементах конструкции. Анализ причин возникновения нештатных ситуаций позволяет также совершенствовать проектные решения и способы проведения работ, что в совокупности приводит к существенному удешевлению строительства.

Показателен такой пример. Во время надвигки конструкции в пролет между седьмой и восьмой опорами, когда вылет консоли составил 102,2 м, порывистый ветер со скоростью 15–20 м/с возбудил колебания пролетного строения как в вертикальной (амплитуда колебаний в этой плоскости достигала 60 см), так и в горизонтальной плоскостях. С помощью телеметрического контроля данные колебания были зафиксированы. График указанного процесса представлен на рис. 1, из него следует, что колебательный процесс носит модуляционный характер с явными участками нарастания и спада амплитуды колебаний. Это позволило сделать вывод о том, что выдвинутая консоль представляет собой колебательную систему с высокой добротностью. Следовательно, необходимо предусматривать меры для гашения колебаний консоли.

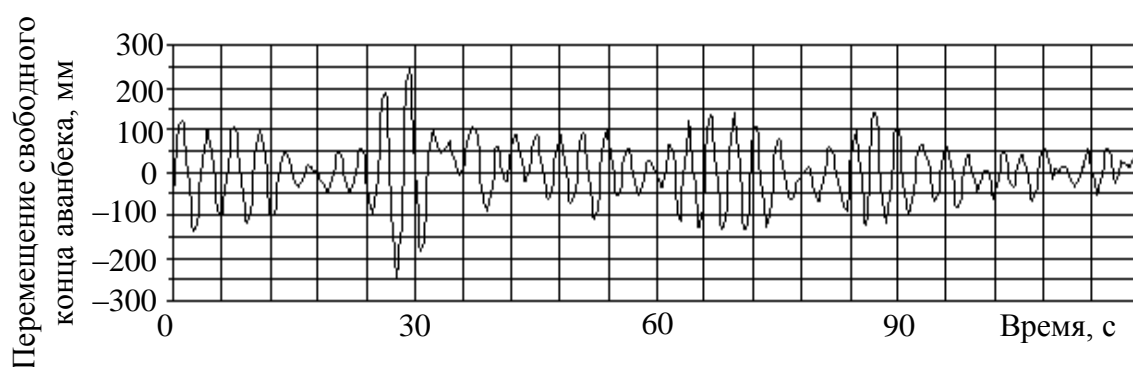


Рис. 1. График колебаний пролетного строения

Система компьютерного контроля напряженного состояния пролетного строения и опор прошла достаточную первичную проверку на работоспособность и может быть рекомендована для включения в нормативные документы по строительству мостов. Она не имеет мировых аналогов и впервые была представлена на конгрессе по мостостроению в

Японии [1], проводившемся международной ассоциацией *International Association for Bridge and Structural Engineering*. Дальнейшие этапы развития мониторинговой системы отражены в [2, 3]. Так, при строительстве моста в г. Ульяновске этой системой контролировался процесс подъема (нагрузок в траверсе) мостовых пролетов (рис. 2). Было достигнуто четырехкратное сокращение сроков строительства и экономический эффект в 1 млрд руб.



Рис. 2. Эпизод подъема второго пролета ульяновского моста (2007 г.)

В настоящее время проводится модернизация системы компьютерного контроля для использования её при сооружении внеклассных мостов в различных регионах России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Chemerinsky O., Seliverstov V., Chvyrev A., Akatov V., Naynov Yu.* Controlling Methods of Bridge Launching Process // IABSE Symposium on Long-Span and High-Rise Structures. Kobe, Japan. 1998, September 2–4. Kobe : IABSE, 1998. P. 501–506.
2. *Наянов В. И., Наянов Ю. В.* Современные технологии контроля в строительстве внеклассных мостов // Транспортное строительство. 2007. № 1. С. 86–87.
3. *Наянов В. И., Наянов Ю. В.* Автоматизированная система мониторинга напряженного состояния мостовых конструкций в процессе строительства внеклассных мостовых переходов федерального значения в гг. Саратове, Казани, Волгограде, Астрахани и Ульяновске в режиме реального времени // Третий Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций : в 2 ч. Ч. 1. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2007. С. 105–106.