

практически инвариантной относительно параметра s (рис.1), а процесс тушения очень сильно затянут во времени;

– увеличение влияния температуры на коэффициент испарения K_2 (рис.2) приводит к тому, что возрастает влияние на функцию $\theta(\tau)$ параметра s , а время тушения имеет тенденцию к уменьшению.

Таким образом, в случае слабого испарения капель воды получены модели объекта управления системы автоматического пожаротушения, в качестве которого используется горячая жидкость. Модели представлены в безразмерной форме.

1.Цариченко С.Г. Состояние вопроса использования тонкораспыленной воды при тушении пожаров // Алгоритм безопасности. – 2003. – №2. – С.14-16.

2.Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности. – К.: Репро-Графика, 2003. – 270 с.

3.Пожаротушение. Программные комплексы систем автоматического водяного, пенного, аэрозольного и газового пожаротушения. – Харьков: АГЗУ, 2004. – 114 с.

4.Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Алгоритм синтеза систем автоматического пожаротушения // Науковий вісник будівництва. Вип.36. – Харків: ХТУБА, 2006. – С.199-202.

5.Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Модели объекта управления системы водяного автоматического пожаротушения // Проблемы пожарной безопасности. Вип.20. – Харьков: УГЗУ, 2006. – С.74-81.

6.Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. – М.: АН СССР, 1961. – 208 с.

7.Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики. – Харьков: ХИПБ, 1993. – 288 с.

Получено 12.10.2006

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 547.187

Ю.В.ГЛАЗУНОВ, канд. техн. наук

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОД НАГРУЗКОЙ

Рассматриваются конструктивные формы сталебетонных стержней, особенности их работы в нагруженном состоянии. Проведено исследование прочности и деформации бетона в конструкциях с внешним армированием. Даны рекомендации по применению конструкций из сталебетона.

Особенностью сталежелезобетонных конструкций является эффективная совместная работа в составе единой конструкции стальных и железобетонных элементов. Сталежелезобетонные пролетные строения являются современным специфическим видом мостовых конст-

рукций, получившим широкое распространение в нашей стране и за рубежом.

В данном исследовании обобщен отечественный и зарубежный опыт применения сталежелезобетонных пролетных строений в автодорожных, городских и железнодорожных мостах [1-5].

Для автодорожных и городских металлических мостов сталежелезобетонные пролетные строения являются сейчас самым распространенным видом конструкций. Для данных конструктивных решений характерны следующие преимущества в сравнении с металлическими конструкциями: экономия стали, увеличение вертикальной и горизонтальной жесткости при совместной работе железобетонной проезжей части и стальных несущих балок.

Сегодня железобетон и сталь – основные материалы пролетных строений капитальных мостов, которые работают как единая конструкция и позволяют во многих случаях наилучшим образом использовать каждый из этих двух материалов в соответствии с его свойствами.

Для улучшения эксплуатационных характеристик автодорожных и железнодорожных металлических мостов применяется укладка на стальные балки или фермы железобетонной плиты проезжей части. Испытания таких пролетных строений показали, что железобетонная плита в определенной степени включается в совместную работу со стальными поясами, в том числе за счет трения и сцепления конструктивных элементов.

В настоящее время для большепролетных автодорожных и городских сталежелезобетонных мостов применяют преимущественно неразрезные балки постоянной высоты, предварительно напряженные с регулированием на опорах. В наибольших пролетах предварительное напряжение осуществляют путем натяжения высокопрочной арматуры.

Одним из конструктивных путей повышения прочности и выносливости бетона является внешнее армирование. Армирование бетона внешней оболочкой способствует его изоляции от окружающей среды, в результате чего создаются лучшие условия для работы бетона под нагрузкой.

В тонкостенных колоннах с металлической оболочкой прямоугольного и круглого сечений, заполненной бетоном, более рационально используются материалы. По сравнению с неизолированным бетоном, бетонное ядро имеет повышенную прочность вследствие обжатия оболочкой с двух сторон, и меньшую усадочную деформацию.

Наряду с этим отметим такие преимущества сталебетонных конструкций, как упрощение технологии их изготовления, сокращение

расходов на опалубку и закладные детали, простота сборки, ремонта и усиления, лучшая сопротивляемость в агрессивных средах, уменьшение высоты элементов благодаря отсутствию защитного слоя и компактному расположению арматуры.

В нормах проектирования сталежелезобетонных пролетных строений регламентированы расчеты на прочность, в которых учитывается развитие быстротечных пластических деформаций в предельном состоянии, с учетом виброползучести бетона и трещиностойкости железобетона.

Для расчетов на прочность принят следующий деформационный критерий: ограничение относительных пластических деформаций стали и полных относительных деформаций бетона некоторыми предельными величинами. Проведенными специальными исследованиями уточнены нормы расчетов на специфические для сталежелезобетонных конструкций усадочные и температурные воздействия.

Методы расчета сталежелезобетонных конструкций аналогичны с расчетом железобетонных и металлических конструкций. Сооружение в целом рассчитывается методами строительной механики – определяются усилия, действующие на отдельные элементы конструкции. При расчете необходимо учитывать прочность конструктивных элементов при осевом кратковременном сжатии и устойчивость сжатых изогнутых элементов.

Расчеты сталежелезобетонных пролетных строений отличаются повышенной сложностью, связанной со стадийностью работы, сочетанием специфики стальных и железобетонных конструкций, внутренней статической неопределимостью сечений. Необходимо также учитывать как внешние, так и внутренние силовые факторы (предварительное напряжение и регулирование), а также большое влияние неупругих деформаций.

В сжатых стальных верхних поясах сталежелезобетонных балок в ходе монтажа возникают большие напряжения от веса стальной конструкции и железобетонной плиты, а также от временных монтажных нагрузок. Железобетонная плита не обеспечивает устойчивости верхних поясов до жесткого присоединения блоков сборной плиты или набора прочности монолитной плитой.

При расчете на устойчивость с учетом плоской формы изгиба балки возникают трудности с геометрическими несовершенствами конструктивных элементов, сварочными напряжениями, а также пластическими деформациями, которые начинают развиваться при достижении предельного состояния сталежелезобетонной конструкции.

Проверку общей устойчивости сжатого пояса сталежелезобетон-

ной конструкции необходимо выполнить, исходя из следующего уравнения:

$$\sigma_B \leq \varphi R,$$

где $\sigma_B = M_z / I_{c,z}$ – напряжение в центре тяжести сечения сжатого пояса проверяемой балки; M_z – наибольший расчетный изгибающий момент, возникающий в панели балки; $I_{c,z}$ – момент инерции сжатого пояса балки относительно оси z ; R – расчетное сопротивление стали; $\varphi = f(\lambda)$ – коэффициент продольного изгиба центрально сжатого стержня, учитывающий развитие пластических деформаций и сварочных напряжений; λ – гибкость рассматриваемого эквивалентного стержня.

Гибкость λ определяется по формуле

$$\lambda = \pi \sqrt{\frac{E\mu}{\sigma_B}},$$

где E – модуль упругости стали; $\mu = \frac{1}{M} \sqrt{\int_a^b \frac{(M_x)^2 dy}{d}}$ – коэффици

ент, приближенно учитывающий особенности очертания эпюры моментов в балке на длине d рассматриваемой панели; $M_x = f(y)$ – функция изгибающего момента по длине панели; a, b – размеры граничных значений сжатого участка конструкции.

Пространственная расчетная модель стальной конструкции пролетного строения при наличии шарниров во всех узлах поясов главных балок и элементов связей должна обладать геометрической неизменяемостью. Для распорок связей на уровне сжатых поясов балок рекомендуется принимать гибкость $\lambda \geq 100$.

В зоне действия положительных изгибающих моментов в стале-железобетонной конструкции центр тяжести поперечного сечения должен быть расположен значительно ниже середины высоты стенки стальной главной балки. Такие конструктивные элементы укрепляют дополнительными горизонтальными ребрами жесткости, учитывая фактор местной устойчивости при монтаже, которые нет необходимости устанавливать при эксплуатации. Эти ребра жесткости должны проектироваться съемными и крепиться на болтах.

К сталежелезобетонным и железобетонным конструкциям с внешним армированием относятся также и трубобетонные конструк-

ции. В результате их применения уменьшается вес сооружений и стоимость в 2-3 раза, трудозатраты в 4-5 раз по сравнению с обычными железобетонными конструкциями. В сравнении с металлическими конструкциями в конструкциях с внешним армированием достигается существенное снижение стоимости (до 40%) и уменьшение расхода стали (45-48%).

Труبوبетонный стержень является комплексной конструкцией, состоящей из стальной трубы и бетонного ядра, работающих совместно. Такая конструкция обладает многими положительными качествами. Прочность бетонного ядра, сжатого стальной оболочкой как обоймой, повышается примерно в два раза. Вместо ожидаемой усадки происходит набухание бетона в трубе и его расширение, сохраняющееся на протяжении многих лет, что создает благоприятные условия для его работы.

Заполнение стальной трубы бетоном повышает ее противокоррозионную стойкость, защищая от коррозии ее внутреннюю поверхность, уменьшает гибкость конструктивных элементов, увеличивает местную устойчивость стенок трубы, повышает сопротивление оболочки деформированию в узлах сопряжения и при ударных воздействиях во время транспортирования и монтажа.

Наружная поверхность труبوبетонных конструкций примерно в два раза меньше, чем конструкций из профильного проката, вследствие чего у них меньше расходы по окраске и эксплуатации. Такие конструкции имеют также повышенную коррозионную стойкость.

Использование цилиндрических стержней в сооружениях, подверженных ветровым нагрузкам, позволяет снизить эти нагрузки за счет улучшения аэродинамических свойств. Стержень круглого поперечного сечения имеет повышенную устойчивость при одинаковых расчетных длинах. Жесткость на кручение такого стержня значительно выше, чем у стержней открытого профиля.

Оценку эффективности сталебетонных колонн выполняли в сопоставлении с железобетонными колоннами. Для обеспечения равных условий принятых вариантов соблюден принцип сопоставимости, предусматривающий расчет конструкций на одинаковые полезные и другие нагрузки. Сопоставляемые конструкции запроектированы в соответствии с действующими строительными нормами и правилами, имеют одинаковые нормативные и расчетные характеристики бетона и стали, длины, назначения и условия эксплуатации.

Основная цель, которая достигается путем взаимодействия стальных конструкций с железобетонными – получение более высоких технико-экономических показателей сооружений. В данных конструкциях

выполненное сравнение технических и экономических показателей происходило за счет использования преимуществ каждого из компонентов комбинированных конструкций при одновременном устранении их недостатков. Этому способствует хорошая сочетаемость стальных конструкций с тяжелым и легким бетоном, монолитным и сборным железобетоном.

Армирование бетона внешней оболочкой способствует его изоляции от окружающей среды, в результате чего создаются лучшие условия для работы бетона под нагрузкой. Тонкостенные колонны с металлической оболочкой, заполненной бетоном, отличаются от обычных колонн из армированного бетона более рациональным использованием материалов.

По сравнению с неизолированным бетоном, бетонное ядро имеет повышенную прочность, благодаря действию сил бокового сжатия, создаваемого оболочкой, и меньшую усадочную деформацию, так как отсутствует взаимодействие между материалом и внешней средой. Предельная деформация ползучести железобетонных образцов больше в 3-4 раза, чем сталебетонных. Нелинейность деформаций ползучести в неизолированных образцах проявилась при испытании в течение 20-30 суток, а в изолированных – 2-7 суток.

Железобетонные образцы, армированные продольной арматурой, равной по площади сечению оболочки, разрушаются при нагрузке, в два раза меньшей, чем разрушающая нагрузка сталебетонных элементов. Прогобы сталебетонных образцов при одинаковой нагрузке по сравнению с железобетонными в 5-10 раз меньше.

Необходимо также отметить такие преимущества сталебетонных колонн, как упрощение технологии их изготовления, сокращение расходов на опалубку и закладные детали, простота сборки, ремонта и усиления, лучшая сопротивляемость в агрессивных средах, уменьшение высоты элементов благодаря отсутствию защитного слоя и компактному расположению арматуры.

В сталебетонных конструкциях стальная оболочка выполняет одновременно функции как продольного, так и поперечного армирования, воспринимает усилия по всем направлениям конструкции и под любым углом. Боковое давление обоймы препятствует развитию микротрещин разрыва в бетонном сердечнике, который в условиях всестороннего сжатия выдерживает напряжения, значительно превосходящие прочность при центральной сжатии под действием нагрузки. Одновременно обойма, заполненная бетоном, оказывается в значительной степени защищенной от потери местной и общей устойчивости.

Сталебетонные конструкции очень надежны в эксплуатации – в

предельном состоянии они не теряют несущую способность мгновенно, как железобетонные, и способны длительное время выдерживать нагрузку. Бетон в обойме приобретает новые, более выгодные в техническом отношении свойства прочности, а именно – несущая способность сталебетонных элементов увеличивается за счет повышения устойчивости элемента в связи с наличием бетонного ядра. Стальная оболочка в поперечном направлении начинает работать только после достижения бетоном предельного состояния по прочности.

Сталебетонные конструкции можно изготавливать как на работающих в настоящее время заводах железобетонных конструкций, так и на местах возведения сооружений. Заполнение обойм бетоном не вызывает затруднений технологического порядка. Хорошее уплотнение и структура бетона обеспечивается отсутствием арматурного каркаса, при этом прочность бетона повышается до 14%.

Требования технологического процесса производства практически не ограничивают области применения сталебетона, который хорошо работает при сложном температурно-влажностном режиме, в условиях агрессивной среды, при любых пролетах зданий и сооружений, на таких производствах, где применение обычного железобетона затруднительно.

Эффективность строительных конструкций определяется такими показателями, как расход материалов на их производство, количество трудозатрат и, в конечном итоге, стоимость монтажных работ. Применение сталебетонных конструкций взамен железобетонных позволяет снизить их металлоемкость и трудоемкость изготовления, повысить надежность.

Преимущество сталебетонных конструкций по сравнению с железобетонными состоит также в том, что они не нуждаются в закладных деталях и в опалубке, так как вместо нее используется стальная обойма. Особенно ощутимо преимущество сталебетонных элементов там, где закладные детали составляют относительно большую удельную массу от общего объема металла. Применение новых методов обработки и сварки обойм автоматическими и универсальными установками позволяет упростить и значительно повысить технологичность сталебетонных конструкций.

Экономичность сталебетонных конструкций достигается благодаря многофункциональному и рациональному использованию стального листа: применение в качестве опалубки и закладных деталей; совмещение функций рабочей арматуры с защитными и изоляционными функциями; компактное расположение у внешней кромки; способность стального листа воспринимать растягивающие усилия одновре-

менно во всех направлениях в плоскости.

Сталебетонные элементы используются в нашей стране и за рубежом в качестве стоек и каркасов многоэтажных жилых, общественных, промышленных зданий, при строительстве мостов, путепроводов и транспортных развязок. Во всех случаях по сравнению с железобетоном той же несущей способности снижается себестоимость строительства и на 30-40% уменьшается расход металла.

Технико-экономические исследования показали, что применение сталебетонных элементов для колонн промышленных зданий способствует экономии до 31-55% стали по сравнению со стальными и до 13% – с железобетонными конструктивными элементами. Приведенные затраты снижаются в первом случае на 28-47%, во втором – на 51-62%. Использование сталебетонных колонн в подкрановых эстакадах позволяет экономить до 12-28% стали по сравнению со стальными и до 9% – с железобетонными колоннами. Приведенные затраты снижаются на 28 и 56%.

При существующей современной тенденции в строительстве – увеличение пролетов конструкций зданий и сооружений – вышеуказанные преимущества балок с внешним армированием создают предпосылки для значительного расширения области применения железобетона. По расходу стали (с учетом возможности применения прочных сталей), стоимости, площади огнезащитной изоляции такие конструкции более эффективны, чем стальные.

За счет включения железобетона проезжей части в совместную с главными балками работу в сталежелезобетонных пролетных строениях мостов экономится 25-30% стали.

1. Грушко И.М., Ильин А.Г., Чихладзе Э.Д. Повышение прочности и выносливости бетона. – Харьков: Вища шк., 1986. – 149 с.

2. Чихладзе Э.Д. Сопротивление материалов. – Харьков: УкрГАЗТ, 2002. – 362 с.

3. Клименко Ф.Е., Барабаш В.М. Листовая арматура периодического профиля для железобетонных конструкций с внешним армированием // Бетон и железобетон. – 1999. – №7. – С.19-22.

4. Smith F., Brown R. The Shearing Strength of Concrete, Bull. Univ. of Washington, №106, 2001. – p. 205.

5. Garner N.I. Use of Spiral Welded Steel Tubes in Pipe Columns. ACI. J. Proceedings, vol. 65, Nov. 2003. – p. 937-942.

Получено 06.10.2006