

Инновационные конструктивные решения
пролетных строений проезжей части мостов

Innovation construction decisions of bridges span roadway

Кузменко Игорь Михайлович (Kuzmenko I.M.), кандидат технических наук, доцент кафедры «Соппротивление материалов» ГУВПО «Белорусско-Российский университет», (пр-т Мира, 43, Могилев, 212005, тел.: раб. +375 222 22 17 73, дом. +375 222 26 31 54, моб. +375 293 65 90 16)

Фридкин Владимир Мордухович (Fridkin V.M.), кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), (ул. Образцова, 15, Москва, ГСП-4, 127994, тел.: раб. +107 045 180 53 27, дом. +107 045 339 92 87, моб. +107 916 519 44 79)

Марков Станислав Николаевич (Markov S.N.), начальник проектного отдела ГИП РУП «Мостострой», (пер. Домашевский, 11, Минск, 220036, тел.: раб. +375 17 208 86 13, моб. +375 296 56 96 19)

Подымако Максим Эдуардович (Podymako M.E.), ассистент кафедры «Соппротивление материалов» ГУВПО «Белорусско-Российский университет», (пр-т Мира, 43, Могилев, 212005, тел.: раб. +375 222 26 40 14, моб. +375 292 41 99 97)

Леоненко Олег Викторович (Leonenko O.V.), кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Строительно-дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование» ГУВПО «Белорусско-Российский университет», (пр-т Мира, 43, Могилев, 212005, тел.: раб. +375 222 25 34 31, моб. +375 297 40 03 64)

Медведев Владимир Николаевич (Medvedev V.N.), аспирант ГУВПО «Белорусско-Российский университет», (пр-т Мира, 43, Могилев, 212005, +375 297 40 90 80)

Богданов Сергей Викторович (Bogdanov S.V.) магистрант ГУВПО «Белорусско-Российский университет», (пр-т Мира, 43, Могилев, 212005, +375 297 43 71 12)

Аннотация

Рассмотрено применение композитного несущего элемента строительных конструкций в качестве базового для сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных и городских мостов.

Application of composite bearing element of building constructions as base to bridge spans is considered.

Введение

Несущие элементы проезжей части пролетных строений мостов традиционно выполняются из сборного или монолитного железобетона, т.е. используется классическая композиция бетона и стержневой арматуры. Хорошо также известны и недостатки таких конструкций, которые связаны с фундаментальными недостатками бетона – неспособностью его воспринимать растяжение сколько-нибудь значительной величины и чувствительностью к хлоридам и сульфатам при нарушениях гидроизоляции автопроезда.

С другой стороны, в строительной практике применяется стальной профилированный настил, выполняющий, в первую очередь, функцию остающейся опалубки. Плита с поддоном из профилированного настила имеет ряд преимуществ перед обычной железобетонной плитой, позволяя использовать композицию «бетон – стержневая арматура – профилированный настил» в различных областях строительства. Однако стальной лист профилированного настила, имеющий малую толщину (до 2,0...2,5 мм), требует подкрепления при укладке бетона для повышения жесткости при пролете плиты более 1,2...1,6 м, не работает на общий изгиб пролетного строения как при укладке бетона, так и в процессе эксплуатации моста, имеет ограниченный по срокам службы период коррозионной стойкости, несмотря на оцинкованную с обеих сторон поверхность.

Основная часть

В результате поисковых исследований, проведенных в ГУВПО «Белорусско-Российский университет» (Республика Беларусь, г. Могилев) был создан новый композитный несущий элемент строительных конструкций (КНЭСК) и получены патенты Республики Беларусь и Российской Федерации [1,2]. Изобретение носит базовый характер, достаточно широко представлено в печати [3-11] и в значительной степени свободно от указанных выше недостатков.

Конструкция КНЭСК представляет собой композитную структуру, объединяющую бетоны с металлом за счет подключения в систему, наряду с одной – двумя разновидностями бетона и стержневой арматуры, еще и листового стального проката.

Один из вариантов конструктивного исполнения КНЭСК представлен на рис.1. Основными элементами являются стальной опорный лист 1, пластинчатая (фасонная) арматура 2, стержневая арматура 3, бетон 4. Фасонная арматура 2, лист 1 и бетон 4 определяют несущую способность композитного элемента, а стержневая арматура 3 выполняет монтажные функции и способствует сцеплению металлического каркаса с бетонным заполнителем. КНЭСК обладает хорошей масштабируемостью и гибкостью в конструктив-

ном плане, что определяет его возможное широкое применение в строительных конструкциях различного назначения.

К основным преимуществам КНЭСК можно отнести:

- снижение трудоемкости и стоимости изготовления за счет использования стального листа в качестве опалубки;
- повышенное сцепление металлической и бетонной составляющих;
- высокая несущая способность;
- разнообразие конструктивных форм.

В таблице 1 дается анализ конструктивно-технологических требований, обеспечиваемых сталежелезобетонными плитами на базе КНЭСК и стандартными сталежелезобетонными плитами, выполненными по профнастилу.

КНЭСК может выступать в качестве базового элемента для широкой гаммы конструкций, поэтому конструктивно-технологические требования к нему должны определяться при разработке проектной документации на конкретную конструкцию.

Большой выбор геометрии полостей, форм и расположения упрочняющих элементов обеспечивает благоприятные конструктивные условия для образования в заполнителе пустот и каналов, что в ряде случаев ведет к снижению веса несущих элементов и открывает возможность устройства внутри них различных коммуникаций.

Создание любых строительных конструкций, в том числе и на базе КНЭСК, должно сопровождаться расчетными исследованиями. Для этого необходимо создание методики, которая определяла бы алгоритм и средства выполнения расчетов. В рамках выполненной в Белорусско-Российском университете научно-исследовательской работы, финансируемой Министерством образования Республики Беларусь, разработана методика проектирования, расчета и оптимизации КНЭСК. В основу методики положено имитационное моделирование поведения конструкции с использованием математического аппарата теории упругости. Оно позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние (НДС) КНЭСК и его элементов при различных воздействиях, определять область рациональных параметров, прогнозировать поведение конструкции во времени.

При анализе КНЭСК реализуется ряд этапов, содержание которых определяется целями проектирования. На первом этапе, исходя из предполагаемого характера нагружения, выполняется поиск конструктивных форм, т.е. осуществляется так называемая топологическая оптимизация. Задачей оптимизации применительно к КНЭСК является поиск форм и расположения элементов армирования для обеспечения максимальной жесткости при заданных массовых характеристиках. Проведенные расчеты для случая работы КНЭСК на изгиб показали, что принятая форма фасонной арматуры (рис.1) близка к оптимальной.

Следующим этапом является определение количественных параметров, т.е. параметрическая оптимизация. Целью является подбор размеров элементов, при которых конструкция удовлетворяет критериям оптимальности. В качестве критериев могут выступать комплексные показатели, учитывающие конструктивные, технологические и экономические аспекты. Расчеты КНЭСК при различных условиях нагружения позволили проранжировать по значимости конструктивные параметры и получить зависимости, с помощью которых возможен выбор рациональных размеров элементов [11].

Значительное влияние на работоспособность конструкции оказывает процесс изготовления. Это влияние определяется не только качеством технологических соединений, но и возникающим в процессе сварки НДС. Анализ КНЭСК в процессе сварки металлической составляющей позволил определить уровень и характер остаточных напряжений и деформаций, а также разработать техпроцесс сварки, минимизирующий их негативное влияние. Проводятся исследования в направлении создания преднапряженных конструкций, получаемых в процессе технологической сборки.

Далее КНЭСК рассматривается как сталежелезобетонный элемент, но без учета реального физического взаимодействия между средами. Этот расчет необходим для определения потенциальных мест образования трещин и не дает каких-либо конкретных численных значений.

Дальнейшее усложнение математической модели приводит к рассмотрению КНЭСК как композитного элемента с учетом нелинейностей. В модели необходимо рассмотреть два типа нелинейностей: контактную и нелинейность механических свойств бетона. Контактная нелинейность учитывает непрямую зависимость между деформацией и напряжением в зонах контакта стали и бетона. Возможно задание допускаемых контактных напряжений, превышение которых приводит к разрыву связей между взаимодействующими средами (бетоном и сталью). Еще одним вариантом описания взаимодействия бетона и стали является использование специальных конечных элементов, позволяющих задать граничные значения нормальных и касательных усилий, при которых происходит срыв сцепления. В этом случае задача решается в нелинейной, но бесконтактной постановке.

Учет нелинейных свойств бетона позволяет смоделировать процесс трещинообразования и перераспределения нагрузки между несущими элементами КНЭСК.

Заключительным этапом является анализ НДС полномасштабной конструкции, базовым элементов которой является КНЭСК. Это позволяет более адекватно промоделировать работу КНЭСК с учетом взаимодействия между элементами конструкции. На этом этапе возможно применение суперэлементного подхода, дающего преимущества в использовании вычислительных ресурсов. В настоящее время разработан ряд математических моделей линейно-протяженных объектов на базе КНЭСК.

Необходимо отметить, что, несмотря на широкие возможности математического моделирования конструкций, необходимы эксперименты на натуральных образцах и моделях, которые могут выступать как средство верификации расчетов, так и как источник исходных данных.

Заключение

Благодаря творческому содружеству кафедр «Сопротивление материалов» ГУВПО «Белорусско-Российский университет» и «Мосты» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ) ведется активная работа по внедрению КНЭСК в мостостроение Республики Беларусь, а также подготовка к его применению в России [6-8].

Инновационный подход к решению проблем мостостроения нашел поддержку практиков – специалистов Минского РУП «Мостострой», г. Минск.

На базе КНЭСК в 2002 г. спроектирован и возведен пешеходный мост через р. Дубровенка в г. Могилеве (рис.2).

В г. Минске, на пересечении с железнодорожными путями ст. Минск-Северный (от 1-го городского транспортного кольца – пр. Машерова до ул. Харьковской), заканчивается строительство уникального автодорожного путепровода. В качестве несущего элемента мостового полотна путепровода впервые в Республике Беларусь приняты сталежелезобетонные плиты из КНЭСК в соответствии с Патентом РБ №4082. Путепровод имеет длину 200м и 6 полос движения (рис. 3, 4).

По мнению проектной организации применение КНЭСК в несущих конструкциях мостового полотна автодорожного путепровода над ж.д. станцией имеет следующие преимущества:

- более безопасный процесс строительства в условиях ведения работ над действующими электрифицированными ж.д. путями станции;
- ведение работ в любых погодных условиях, в том числе и в зимний период, что ведет к сокращению сроков строительства;
- снижение трудозатрат на строительной площадке;
- меньшая, по сравнению с типовыми железобетонными конструкциями, строительная высота пролетных строений;
- большая, по сравнению с железобетонными конструкциями, долговечность мостового сооружения.

Использование КНЭСК приведет к совершенствованию известных конструктивных форм, позволит генерировать новые конструктивные формы, чем создаётся предпосылка научно-технического прогресса в строительстве.

Список использованных источников

1. Пат. 4082 РБ, МПК⁷ Е 04 С 2/28. Композитный несущий элемент строительных конструкций / В. М. Фридкин [и др.] ; заявитель и патентооб-

ладатель Могилев. машиностр. ин-т. - №970421 ; заявл. 29.07.97 ; опубл. 19.04.01, Бюл. № 3. – 3 с. : ил.

2. Пат. **2181406 РФ, МПК⁷ Е 01 Д 12/00, Е 04 С 2/24**. Композитный несущий элемент строительных конструкций / В. М. Фридкин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. - №97121947 ; заявл. 29.07.97 ; опубл. 20.04.02, Бюл. № 11. – 6 с. : ил.

3. Новые направления в конструировании композиционных структур с высокой экономической эффективностью и несущей способностью / И.М. Кузменко [и др.] // сб. статей IV межд. конф. «Nove smery vo vyrobnych technologiach». – Presov, 1999, С.83-86.

4. **Кузменко, И.М.** Совершенствование конструктивных форм сварных сталежелезобетонных строительных конструкций. / И.М. Кузменко, А.В. Семенов, И.А. Леонович // Сварка и родственные технологии : республиканский межведомственный сборник научных трудов БГНПК ПМ НИКТИ СП с ОП. –1999. – № 2. – С. 24-26.

5. Применение сварных несущих элементов в новых композитных строительных конструкциях / И.М. Кузменко [и др.] // Сварочное производство. – 2003. – № 9. – С. 47-50.

6. Инженерно-экологические и конструктивно-технологические проблемы создания инженерных барьеров при долговременном хранении и окончательном захоронении отработавшего ядерного топлива в недрах Земли / В.М. Фридкин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 4. – С.88-94.

7. Новые возможности создания инженерных сооружений для обеспечения экологической и антитеррористической безопасности промышленной утилизации некоторых видов технической продукции / С.А. Чесноков [и др.] // сб. статей Международного научно-технического конгресса по безопасности. – 2005. – № 11. – С.57-61.

8. **Фридкин, В.М.** Принципы формообразования в теории линейно-протяженных сооружений / В.М. Фридкин. – М.: Ладья, 2006. – 510 с.

9. **Кузменко, И.М.** Применение метода конечных элементов при расчете композитного несущего элемента строительных конструкций / И.М. Кузменко, М.Э. Подымако, В.Н. Медведев // Вестник МГТУ. – 2006. – №1. – С.109-113.

10. Аспекты проектирования композитного несущего элемента средствами САПР / И.М. Кузменко [и др.] // Вестник БРУ. – 2006. – №4. – С. 198-202.

11. Анализ влияния параметров металлической составляющей композитного несущего элемента строительной конструкции на его несущую способность / И.М. Кузменко [и др.] // Вестник БРУ. – 2007. – №1. – С. 157-166.

Таблица 1– Сравнительный анализ плит на базе КНЭСК и стандартных плит

Требования	Сталежелезобетонные плиты на базе КНЭСК	Стандартные сталежелезобетонные плиты, выполненные по профнастилу
Конструкторские		
1.1 особенности совместной работы стального настила с монолитным бетоном плиты	Совместная работа обеспечивается жестким защемлением фасонной арматуры в бетон. Стальной лист и бетон работают совместно до разрушения конструкции.	Совместная работа обеспечивается адгезией бетона (бетон прилипает к стальному листу), а также выштамповками разной формы. Стальной настил работает совместно, но до определенного момента.
1.2 несущая способность	Стальной лист полностью выполняет несущую функцию вследствие прочного сцепления бетона и поддона и расположения листа в растянутой зоне. Дополнительно требуется устройство гибких упоров.	Стальной лист (профилированный настил), имея пазы, лишь частично выполняет несущую функцию, а прочность сцепления определяет несущую способность плиты. Требуется дополнительно устройство гибких упоров.
1.3 огнестойкость конструкции	Преимущество в том, что в КНЭСК температурное поле распределяется равномерно по всему сечению, Применяются огнезащитные обмазки.	Наличие гофров приводит к нелинейному поведению конструкции при высоких температурах, что требует дополнительных мер по устройству огнезащиты конструкции. Применяются огнезащитные обмазки.
Технологические		
2.1 технология устройства	Стальная составляющая (лист, фасонная и стержневая арматура) изготавливается в заводских условиях с использованием сварки. После монтажа подается монолитный бетон.	Устанавливается профилированный настил, арматурный каркас, подается монолитный бетон.
2.2 техника безопасности	Отвечает всем предъявляемым требованиям.	Отвечает всем предъявляемым требованиям.

Подрисуночные подписи

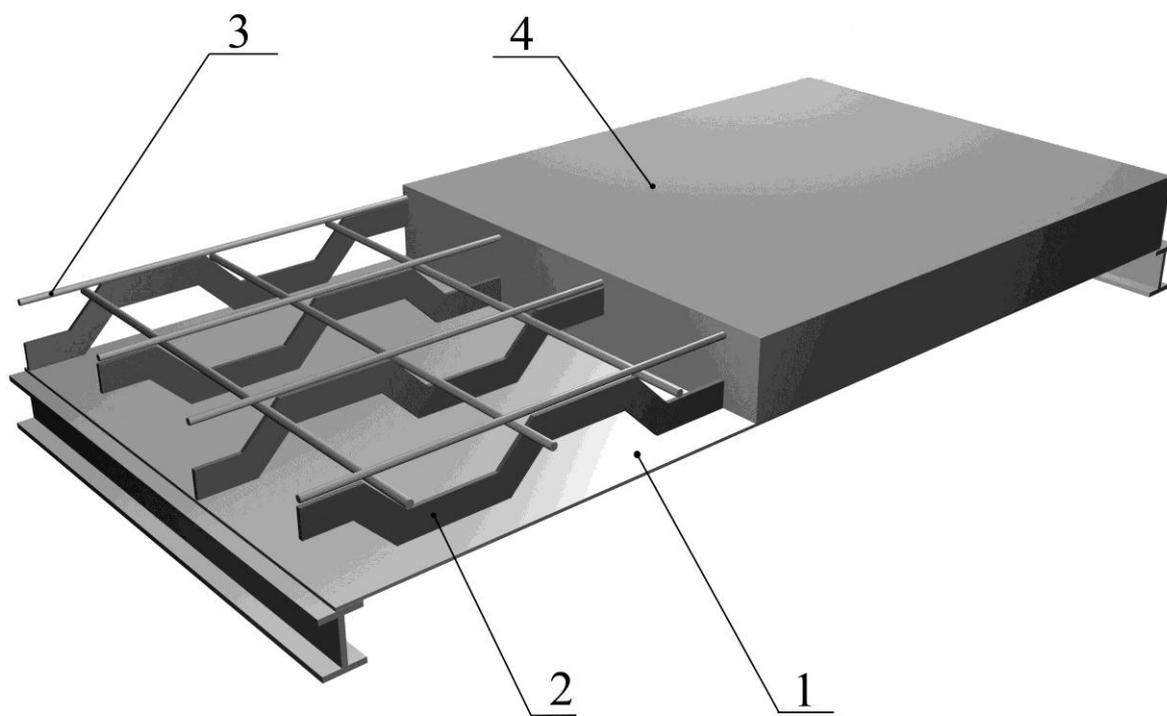


Рис.1 – Вариант конструктивного исполнения КНЭСК



Рис.2 – Мост через р.Дубровенка в г. Могилеве



Рис.3: Стальные сварные составляющие КНЭСК на месте монтажа

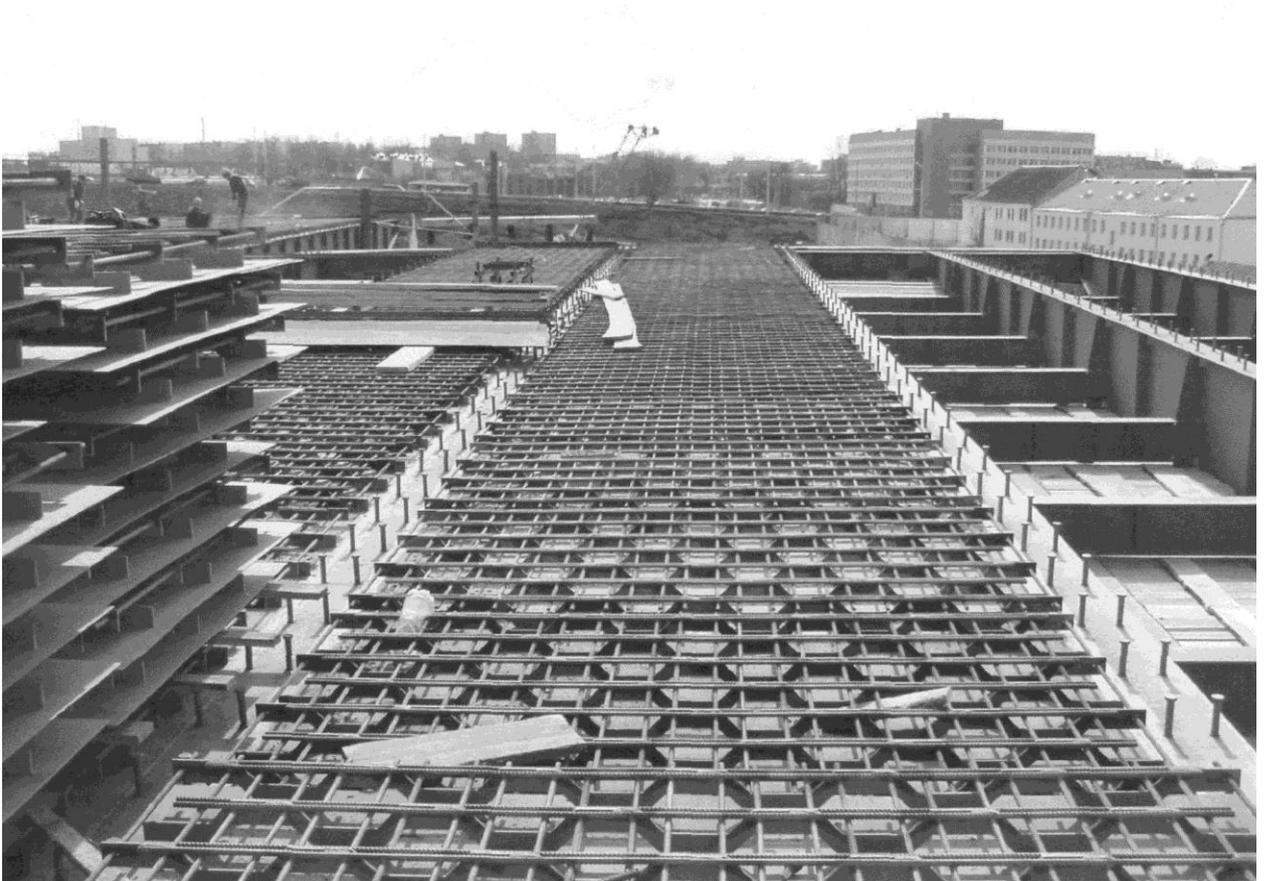


Рис. 4: Фрагмент мостового полотна путепровода на ст. Минск-Северный (июнь 2007 г.)