

Сталежелезобетонные конструкции и их применение

Ступчик С.С.

Научный руководитель – Згировский А.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Данная статья посвящена аналитическому обзору сталежелезобетонных конструкций и области их применения.

Введение. Работа над увеличением основных показателей эффективности конструкций – одно из ключевых направлений развития строительной отрасли. Достигнуть сокращения материалоемкости, стоимости, трудоемкости и сроков строительства позволяет применение сталежелезобетона – композитного материала, состоящего из стали и железобетона, работающих совместно в составе единой конструкции. Сталежелезобетонные конструкции благодаря объединению двух совершенно разных материалов обладают свойствами и стали, и железобетона, что позволяет им оптимально работать и в растянутой, и в сжатой зонах. Сталь преимущественно работает на растяжение, а бетон – на сжатие. Такая комбинация обладает большей жесткостью при меньшем размере поперечного сечения по сравнению с другими конструкциями, а так же отличается пониженным расходом стали, что, в свою очередь, обеспечивает снижение себестоимости.

Работа сталежелезобетонной конструкции достаточно сложная и требует учета многих факторов, из которых вытекает главный недостаток этого вида конструкций – сложность и трудоемкость расчета.

В современных реалиях вопрос экономии ресурсов и использования их с максимальной пользой стоит особенно остро, что к сожалению не находит отражения на современной строительной отрасли Республики Беларусь.

История развития и современное состояние сталежелезобетонных конструкций. Согласно исторической справке, развитие сталежелезобетонных конструкций началось с конца XIX в., когда строители оштукатуривали бетоном железные балки для обеспечения огнезащиты и для повышения коррозионной стойкости. Однако строители отмечали, что такие балки имели повышенную жесткость и прочность. В середине 50-х гг. XX века стало возможным увеличение пролетов мостов, выполненных из сталежелезобетона, благодаря использованию решетчатых сталежелезобетонных пролетных систем, так как железобетонные плиты на верхнем поясе фермы работают вместе с поясом.

В 1970 г. была разработана система «SWMB»: особая конструктивная схема возведения высотных зданий, основанная на использовании трубобетонных конструкций из стали и заполнителя из сверхвысокопрочного бетона. Административное здание «TwoUnionSquare» в США было построено по системе «SWMB» в 1988 г.. В настоящее время достаточно часто применяются монолитные железобетонные плиты по стальному профилированному настилу (СПН). За рубежом применение такого решения в перекрытиях общественных зданий – одно из самых распространенных.

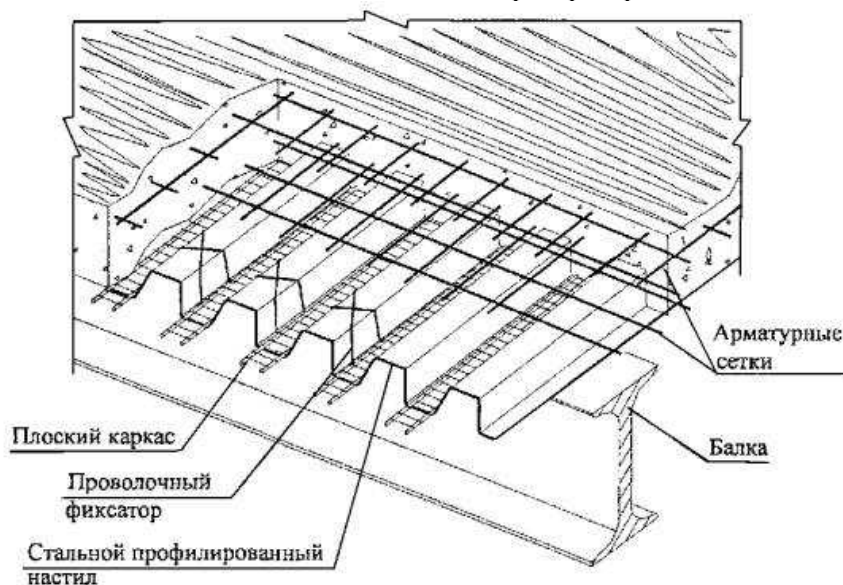


Рисунок 1. Монолитная ЖБ плита по СПН

Применение сталежелезобетонных перекрытий также эффективно в многоэтажных жилых и административных зданиях со стальным каркасом, строящихся в труднодоступных и сейсмических районах, а также в промышленных зданиях. СПН в такой конструкции выполняет две главные задачи: обеспечивает бетонирование железобетонной плиты, являясь опалубкой, и выполняет функции несущей арматуры после отвердевания бетона. В настоящее время достаточно разнообразны применяемые в строительстве типы сталежелезобетонных конструкций:

- плиты, армированные гладкой листовой сталью или СПН;
- линейные сталежелезобетонные балочные элементы, армированные обычной и высокопрочной напрягаемой внешней полосовой арматурой;
- комбинированные балки с необетонированной, частично или полностью обетонированной стальной балкой и плитой, опирающейся на верхний или нижний пояс балки;
- колонны, выполненные из брусковых элементов с внешним армированием четырьмя уголками;
- железобетонные конструкции с жесткой арматурой в форме двутавра, крестообразного сечения, корчатого сечения, «сляба» сплошного сечения, а также с частичным обетонированием жесткой арматуры;
- трубобетонные конструкции: с внешней стальной оболочкой и бетонным ядром без арматуры или армированным продольной гибкой арматурой (с железобетонным ядром) и др..

Отдельно необходимо остановиться на одной из важнейших задач при возведении конструкций из сталежелезобетона – обеспечении совместной работы стальной и железобетонной составляющих. Эта задача решается установкой соединительных элементов: жестких и гибких упоров, анкеров. В случае жестких упоров на бетон действует местное смятие, вызванное передачей бетону сжимающих усилий посредством соответствующих упорных поверхностей. Гибкие упоры работают на изгиб, у его основания образуется наибольшее смятие бетона. Существует понятие стад-болта – это анкер, который представляет собой калиброванный стальной стержень или арматуру периодического профиля и приваривается одним концом к верхнему поясу балки. СПН с выштамповками также служит для объединения составных частей сталежелезобетонной конструкции, обеспечивая передачу сил сдвига с помощью зацепления стали и бетона, а также благодаря силам трения. Для фрикционного соединения составляющих сталежелезобетона применяют высокопрочные болты и шпильки. Их главное преимущество заключается в уменьшении местных возмущений и концентрации сдвигающих усилий и напряжений по сравнению с упорами и анкерами.

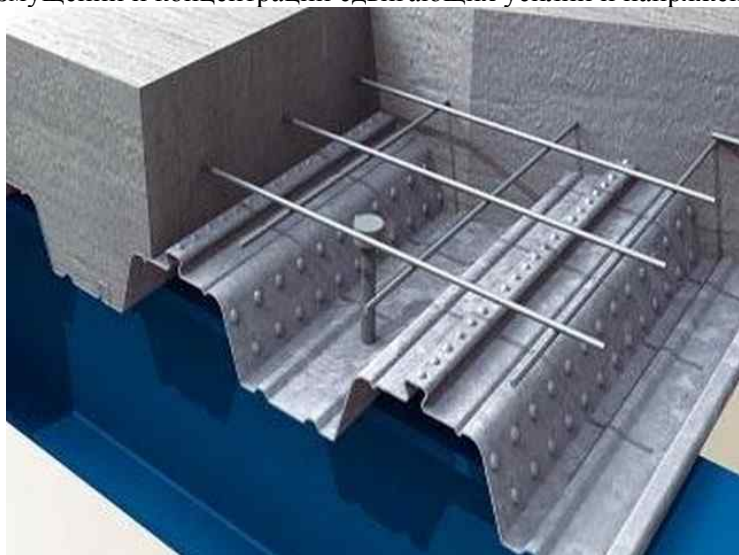


Рисунок 2. Приваренный стад-болт

Наиболее широкое распространение сталежелезобетонные конструкции получили в области строительства мостов. Например, в Японии более чем в 50-ти мостах применены гофрированные стенки. Впервые такое решение было применено при возведении моста «Yahagigawabridge», 2005 г.. Однако за рубежом сталежелезобетон активно применяется при строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений, в том числе жилых домов. В США сталежелезобетон также используют для строительства и реконструкции взлетно-посадочных полос аэропортов, метрополитенов, а также в высотных зданиях.

В России сталежелезобетонные конструкции не являются новыми, однако не получают широкого распространения. Область их применения весьма ограничена: многопролетные и мостовые сооружения, вodosоды и трубопроводы в гидроэлектростанциях, путепроводы и виадуки. В отдельных случаях сталеже-

лестобетонные конструкции используют в строительстве высотных зданий, например, «Лахта центра». Перекрытия башни представляют собой монолитные железобетонные плиты по СПН, колонны – композитную конструкцию, состоящую из стального сердечника и железобетона вокруг него.

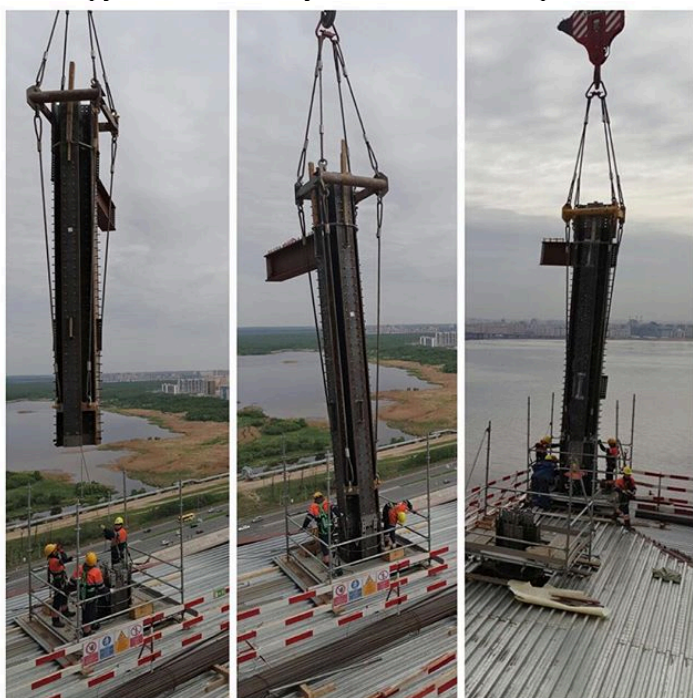


Рисунок 3. Монтаж стального сердечника композитных колонн Лахта-центра

Одной из причин, препятствующих повсеместному распространению сталежелезобетона в России, считается отсутствие полной и четкой нормативной базы по проектированию и изготовлению сталежелезобетонных конструкций. Однако 30 декабря 2016 г. приказом Минстроя России был утвержден Свод правил по строительству, распространяющийся на проектирование зданий и сооружений различного назначения. Кроме того, в России действуют СП 159.1325800.2014 «Сталежелезобетонные пролетные строения автодорожных мостов. Правила расчета», СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы», Стандарт организации (СТО) 0047-2005 «Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. Расчет и проектирование», СТО 0062-2009 «Упоры анкерные стержневые системы КОСО и технология их приварки к стальным балкам монолитных сталежелезобетонных перекрытий и закладным пластинам. Технические требования».

В Беларуси ситуация со сталежелезобетонными конструкциями слабо отличается от ситуации в РФ. Одним из немногочисленных примеров применения такого конструктивного решения является завод по производству газетной бумаги в г. Шклов. В 2006-2007 гг. в рамках строительства проектный институт "Белпромпроект" совместно с БНТУ запроектировал перекрытия производственных корпусов. Общая площадь перекрытий составила 4800 м.кв. Известно, что «ручной» расчет таких конструкций в значительной мере трудоемок, в связи с чем, для расчета использовалась компьютерная программа «FPLASTIC», разработанная сотрудниками кафедры "Металлические и деревянные конструкции" под руководством профессора Мартынова Ю.С. В основу программы положен собственный алгоритм, реализующий обобщенную на сталежелезобетонные конструкции "деформационную модель". Все расчеты соответствуют действующим нормативным документам и учитывают физическую нелинейность.

На территории РБ действует ТКП 45-5.03-16-2005 (02250) «Конструкции сталежелезобетонные покрытий и перекрытий. Правила проектирования».

На территории Европейского союза действуют Еврокоды EN 1994-1-1:2004 и EN 1991-1-2:2004.

Основные преимущества и недостатки сталежелезобетонных конструкций. Одно из преимуществ сталежелезобетонных изгибаемых элементов с внешней арматурой – повышение жесткости (вертикальной и горизонтальной) и прочности конструкций. В связи с этим становится возможным уменьшение размеров поперечного сечения несущих элементов. В свою очередь это приводит к уменьшению массы конструкции, а значит – к экономии строительных материалов. В таблице ниже приведены данные технико-экономических исследований.

Таблица 1. Экономия в результате применения сталежелезобетонных конструкций в зданиях и сооружениях.

Экономия (условия)	Эконо-	Сниже-
--------------------	--------	--------

	мля стали, %	ние приве- денных за- трат, %
По сравнению со стальными конструктивными элементами	28...33	25...30
По сравнению с железобетонными монолитными и сборными конструктивными элементами	11	45..50

Сталежелезобетонные конструкции демонстрируют свою эффективность не только на стадии строительства, что ведет к экономии денежных средств, но и на стадии эксплуатации, доказывая свою надежность и удобство обслуживания. Кроме того, расположение стали по контуру конструкции как оболочки, то есть использование ее и в качестве несущей арматуры, и в качестве несъемной опалубки, способствует удешевлению работ, повышению производительности труда при строительстве и уменьшению продолжительности строительства по сравнению с применением железобетонных конструкций. Несущая способность сталежелезобетонных конструкций с внешним армированием в виде стального листа достигается путем увеличения процента содержания листовой арматуры, а также само расположение такого армирования (на гранях конструктивных элементов) в случае оптимального применения высокопрочного бетона и небольших размеров поперечного сечения способствует увеличению несущей способности. Также увеличение несущей способности наблюдается благодаря эффекту обжатия бетона, которое создается облойкой в случае внешнего армирования. Кроме вышеперечисленных достоинств для конструкций из сталежелезобетона характерны простота сборки, ремонта и усиления конструкции, а также более высокая пожароустойчивость вследствие защиты стали от местного температурного воздействия железобетоном. Увеличение устойчивости конструкции за счет применения сталежелезобетона позволяет использовать этот материал в сейсмически опасных районах. Высокая сейсмостойкость и жаростойкость – одни из самых значимых преимуществ

Особенности методов расчета сталежелезобетонных конструкций. Расчет сталежелезобетонных пролетных конструкций имеет некоторые сложности, вызванные следующими особенностями:

- стадийностью работы конструкции (связанной с последовательным включением в работу частей сечения);
- сочетанием двух материалов, имеющих различные свойства и индивидуальные особенности работы в конструкции;
- внутренней статической неопределимостью сечений конструкций;
- учетом внешних и внутренних силовых факторов; – активным применением предварительного напряжения;
- значительным воздействием неупругих деформаций на работу конструкции.

В применяемых методах расчета сталежелезобетонных изгибаемых элементов принимают допущение об отсутствии деформаций сдвига в месте соприкосновения стали и бетона, считают справедливой гипотезу плоских сечений. Однако при наличии связей любой степени жесткости присутствует скольжение составных элементов, значит диаграмма продольных деформаций по высоте сечения прерывается в месте соприкосновения стали и бетона. Поэтому используемое допущение не совсем справедливо.

Кроме того, распределение деформаций и напряжений в стальной и железобетонной частях сталежелезобетонной конструкции обуславливается деформационными свойствами составных элементов и швами объединения, ввиду значительной жесткости которых важнейшую роль при расчетах играют упругие свойства материалов.

Натурные и численные исследования сталежелезобетонных конструкций. Для оценки напряженно деформированного состояния (НДС) сталежелезобетонных конструкций проводят различные эксперименты: численные (аналитические) и натурные. Численные методы исследования поведения конструкции с помощью различных программных комплексов являются мало затратными по сравнению с экспериментальными исследованиями, однако последние имеют явное преимущество – наиболее обширные и достоверные сведения об НДС конструкции и особенностях ее поведения в реальных условиях эксплуатации. Проводятся исследования как отдельных балок, так и сталежелезобетонных перекрытий, состоящих из стальных балок и опирающейся на них железобетонной плиты.

К основным выводам, полученным в результате проанализированных численных и натурных экспериментов, относятся:

- текучесть металла, достижение временного сопротивления бетона сопутствует разрушению исследуемых перекрытий;
- большая несущая способность сталежелезобетонных балок;
- отсутствие деформаций соединительных средств;

- видимые продольные трещины в бетоне появляются после возникновения существенных пластических деформаций и интенсивно развиваются до момента разрушения;
- относительные деформации бетона и стали существенно больше предельных;
- имеет место пространственная работа сталежелезобетонного перекрытия;
- разрушение вызывается пластическими деформациями, интенсивно развивающимися в балках, и исключением из работы сжатой зоны плиты
- в сравнении с отдельной балкой несущая способность балки в перекрытии выше в 1,14...1,24 раза, прогибы меньше в 1,5 раза; – характер зависимости прогибов от величины нагрузки меняется: на начальных этапах нагружения практически прямая пропорциональная зависимость, однако далее прогибы значительно увеличиваются при малом увеличении нагрузки, что связано с появлением податливости контакта.

Выводы. Сталежелезобетонные конструкции широко применяются во всем мире, однако имеют достаточно ограниченную область применения в Беларуси и России. В гражданском строительстве сталежелезобетон практически не применяется. Эффективность сталежелезобетонных конструкций по сравнению со стальными и железобетонными конструкциями позволяет достичь значительного увеличения прочности и жесткости, существенной экономии денежных средств и трудозатрат, сокращения сроков строительства и др. Расчет сталежелезобетонных конструкций имеет ряд специфических особенностей, которые могут быть учтены в расчетных программных комплексах, дающих адекватные результаты расчета согласно проанализированным исследованиям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартынов Ю.С. Сталежелезобетонные конструкции в промышленном и гражданском строительстве Белорусской ССР. Опыт разработки и внедрения. Мн.: БелНИИНТИ, 1989.

2. Мартынов Ю.С., Александрович А.С. К вопросу о методике статического расчета сталежелезобетонных решетчатых покрытий с объединением на сварке // Техника, технология, организация и экономика строительства. Строительная механика и строительные конструкции. Вып. 10. – Минск: Вышэйшая школа, 1984.

3. СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» (Приказ Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1030/пр).

4. Кибириева Ю.А., Астафьева Н.С., Применение конструкций из сталежелезобетона. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-konstruktsiy-iz-stalezhelezobetona/viewer> (дата обращения 14.04.2020).

5. ТКП 45-5.03-16-2005 (02250). Конструкции сталежелезобетонные покрытий и перекрытий. Правила проектирования. Введ. 2006-07-01. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2005.