(cc) BY

Коллеганов Никита Алексеевич
инженер-конструктор
ЗАО «Конструкторское бюро Ивлева»
НПФ «Геотекспроектстрой»
г. Ставрополь, Ставропольский край

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СЛОИСТЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВЫСОКОМОДУЛЬНЫМ БЕТОНОМ В СЖАТОЙ ЗОНЕ

Аннотация*: в статье отмечается тот факт, что в гражданском строительстве в настоящий момент распространены сплошные монолитные безбалочные железобетонные перекрытия, массивность которых отрицательно влияет на эффективность монолитного каркаса. Автор указывает, что пустотные монолитные перекрытия, имеющие меньшую массу, в Российской Федерации практически не применяются; использование легкого бетона с целью снижения массы перекрытий влечет за собой уменьшение жесткости. Автор утверждает, что перспективным представляется создание слоистых монолитных перекрытий из слоев тяжелого и легкого бетонов: последняя генерация легких бетонов, производящихся, в том числе, из самоуплотняющихся смесей, позволяет существенно уменьшить массу перекрытий и, соответственно, конструкций в целом.*

Ключевые слова*: слоистые монолитные перекрытия, легкий бетон, тяжелый бетон, срез, сцепление, жесткость, снижение массы конструкций, железобетонные конструкции, модуль упругости, деформационные свойства, балки.*

Здания и сооружения, которые длительное время находились в эксплуатации, зачастую требуют проведения мероприятий, связанных с их реконструкцией и техническими преобразованиями. Использование бетонов с необходимыми прочностными, плотностными и деформационными параметрами позволяет достигать требуемых значений жесткости, веса и теплопроводности строительных конструкций.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Выбор метода усиления является одной из задач проектирования реконструкции. Дополнительным бетонированием (добетонированием) сжатой зоны работающих на изгиб элементов – железобетонных балок, а также плит покрытия и перекрытия, – увеличивается площадь их сечения и, соответственно, внутренний момент сечения всей конструкции, повышая её несущую способность. При добетонировании организация перпендикулярного контакту старого и нового бетонов армирования, а также пазов, шпонок, насечек в старом бетоне, использование синтетических клеевых составов гарантируют совместную работу бетонных слоев изгибаемого элемента конструкции [2].

Для ограждающих конструкций, состоящих из одного слоя однородного материала, актуально обеспечение единственным конструктивным слоем как необходимых теплоизоляционных, так и прочностных характеристик. Необходимость обеспечить термоизоляцию не позволяет увеличивать прочность, повышая плотность. Задача решается объединением в элементах ограждающей конструкции двух материалов, один из которых характеризуется повышенной прочностью, другой – низкой теплопроводностью [3]. При проектировании железобетонных конструкций основной задачей является получение целевых значений их жесткости и прочности. Реальные деформационные и прочностные характеристики бетона часто не соответствуют нормативным требованиям.

Прочность и жесткость железобетонных балок, являющихся базовыми элементами железобетонных конструкций, в значительной степени зависят от прочностных и деформационных характеристик бетона.

Технология производства и применения оказывает существенное влияние на модуль упругости бетона, это учитывается в нормативных документах Республики Беларусь, EN, но не отражено в нормативах Российской Федерации: в них для тяжелого бетона начальный модуль упругости определяется исключительно исходя того, к какому классу бетон относится, без учета влияния свойства крупного заполнителя и применяемых добавок на модуль упругости бетона [5; 6]. Наличие достоверной актуальной информации о деформационных характеристиках бетона, а также полных диаграмм деформирования бетона [7 – 10]

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

позволят выполнить расчет железобетонных конструкций, показывающий реальное напряженно-деформированное состояние сечений.

Для расчета по второй группе предельных состояний предлагается базовая нормативная характеристика качества бетона – значение начального модуля упругости, определенного с учетом вида бетона и его класса по прочности на сжатие в соответствии с СП 63.13330.

Для предельных состояний, относящихся ко второй группе, одним из базовых нормативных параметров предлагается показатель качества бетона.

Конструкции из железобетона традиционно рассчитываются сначала по первой группе предельных состояний. Результатом расчета являются параметры армирования, установленные по сечениям и классам бетона и арматуры. Затем выполняется расчет для второй группы предельных состояний с целью оценки трещиностойкости и допустимых деформаций; если выявлены несоответствия – корректируются параметры армирования.

Метод определения диапазона допустимых вариаций начального модуля упругости бетона заданного класса, в пределах которого выполняются требования к жесткости конструкции, рассмотрен в [11] для изгибаемого элемента с одиночным армированием. Метод использует общеизвестные уравнения теории железобетона. Традиционно проектирование изгибаемых железобетонных элементы с одиночной арматурой ориентировано на разрушение по первому случаю.

Для одного класса бетона, устанавливаемого по прочности на сжатие, изменение рецептуры и технологии может повлечь изменение начального модуля упругости бетона при изменении в полтора раза и более. В [11] выполнено сравнение различных бетонов с пористыми заполнителями – тяжелых, мелкозернистых и легких. При одном и том же классе бетона по прочности на сжатие, изменение модуля упругости бетона позволяет широко варьировать прочностные и деформационные характеристики железобетонных балок. Выбор модуля упругости бетона должен учитывать параметры армирования и сечения балки, а также влияние рецептурно-технологических факторов на деформационные свойства бетона.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Различными исследователями созданы методы расчета параметров слоистых железобетонных конструкций.

Для двухслойных железобетонных конструкций [12–14] установлено, что соотношение модулей упругости может использоваться при учете исключительно упругой работы бетона, тогда как приведение с использованием соотношения призменной прочности эффективно в целях определения прочности.

Для трехслойной железобетонной плиты в [15] разработана методика расчета приведенного сечения конструкции, использующая соотношения призменной прочности или модулей упругости бетонов различных слоев.

В [15] показано, что при расчете несущей способности, а также прогибов и ширины раскрытия трещин наиболее корректно использовать коэффициент приведения, меняющийся на разных уровнях погружения. Применение соотношения секущих модулей деформации слоев из разных бетонов представляется максимально адекватным реальности, поскольку на начальной стадии загрузки, характеризующейся упругой работой бетона, оно равно отношению модулей упругости присутствующих в конструктивном элементе слоев бетона, тогда как прямо перед разрушением, на предельной стадии работы конструкций, – отношению призменной прочности различных видов бетона. Устойчивая работа трехслойной конструкции возможна исключительно в условиях прочного сцепления состоящих из различных бетонов слоев, когда деформации разных слоев в области их контактов одинаковы вплоть до полного разрушения конструкции.

В условиях достаточного сцепления слоев бетона допустимо на любой стадии работы железобетонной конструкции производить расчет ее трехслойных элементов как однослойных с применением переменных значений коэффициента приведения. Коэффициент приведения, зависящий от значения напряжений, определяется в соответствии с рекомендованной в [16] методикой. Поскольку бетон внешних слоев трехслойных конструкций обычно состоят из бетона, характеризующегося большей прочностью, нежели бетон внутреннего слоя, тяжелый бетон работает на упругой стадии вплоть до напряжений

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

$\delta_в / R_в$ = 0,3…0,4, тогда как менее прочный в состоянии работать упруго до значений напряжения $\delta_в / R_в$ = 0,6…0,7.

Исследования [12–14] показали, что в многослойных железобетонных конструкциях наблюдаются совместные деформации состоящих из различных бетонов слоев: расслоения не отмечается при десятикратной разнице в прочности бетонов и отличающихся в 12- 15 раз модулях упругости.

Помимо расчета прочности трехслойных конструкций, весьма актуален выбор корректных методов расчета трещинообразования. В [16] для трехслойной конструкции приведена методика ядровых моментов: в сжатой зоне расчетная эпюра напряжений принята для наружного слоя трапециевидной, для внутреннего – треугольной; для зоны растяжения – прямоугольно-ступенчатой.

Весьма актуальной является задача определения жесткости конструкции с образовавшимися трещинами. В [17] предлагается алгоритм расчета жесткости железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами, включающий следующие основные этапы:

– по уравнениям трещинообразования на участках совместного действия M, N и Q определяется количество уровней наклонных трещин, рассчитываются расстояния между трещинами вдоль осей продольной и поперечной рабочей арматуры, а также ширина раскрытия трещин, схема трещин с указанием их типов на боковую поверхность конструкции;

– с применением общепринятых зависимостей строительной механики выполняется расчет арок и балок переменного сечения, образовавшихся в результате появления трещин. В пределах поперечных сечений каждой образовавшейся конструкции перпендикулярно ее физической оси применяется гипотеза плоских деформаций, причем интенсивность деформаций укорочения не может превышать предельных значений, при которых идет деструкция стенки железобетонной конструкции по бетону;

– по схеме составного железобетонного стержня с трещинами проводится расчет с использованием единичных полосок, в зонах наклонных трещин

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

определяются кривизны (жесткости) выбранных сечений железобетонной конструкции.

Примененный в методике алгоритм расчета отличается следующими преимуществами:

– последовательное выполнение расчета по модулям «сечение», «стержневой элемент», «система» позволяет учитывать как нарушение сплошности бетона, так и несовместность деформаций бетона и арматуры;

– результатом является достаточно строгое решения благодаря применению многостадийной схемы расчетов;

– предложенная последовательность расчетов жесткости и трещиностойкости дает возможность, в случае учете податливости продольных и поперечных связей в составном стержне, избежать применения дифференциальных уравнений высоких порядков.

Сравнение определенных по СП 63.13330.2018 прогибов показало, что в центре экспериментальной конструкции они различаются в пределах 11%, а в зоне наличия наклонных трещин – в пределах 40% [17].

Заключение. Поскольку доля использования слоистых железобетонных конструкций из бетонов с различными характеристиками для решения практических задач строительства возрастает, актуальны дальнейшие исследования с целью совершенствования как технологий изготовления, так и методов их расчета. Перспективной представляется разработка технологии изготовления и методики расчета слоистых изгибаемых элементов с высокомодульным бетоном в сжатой зоне.

Список литературы

1. Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся высокопрочные и легкие бетоны на пористых заполнителях для эффективных конструкций / А.Н. Давидюк, Д.Р. Маилян, Г.В. Несветаев // Технологии бетонов. – 2011. – №1–2 (54–55). – С. 57–59.

2. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, при статическом и малоцикловом

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

нагружениях: моногр. / С.Д. Семенюк, Ю.Г. Москалькова. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 274 с. – ISBN 978–985–492–177–8.

3. Борышев В.В. Однослойные и многослойные ограждающие конструкции здания / В.В. Бобрышев // Молодой ученый. – 2018. – №47 (233). – С. 34–37. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://moluch.ru/archive/233/54196/. (дата обращения: 18.11.2022).

4. Беляев А.В. К определению касательных напряжений в изгибаемых слоистых железобетонных элементах / А.В. Беляев, Д.Р. Маилян, Г.В. Несветаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – №1. – С. 39–44.

5. The influence of the e-modulus of coarse aggregate on the stress-strain diagram of the concrete with frame structure / G. Nesvetaev, Y. Koryanova, E. Ivanchuk, A. Gortsevskoy // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 974. – P. 299–304. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.299.

6. Nesvetaev G.V. E-Modulus and Creep Coefficient of Self-Compacting Concretes and Concretes with some Mineral Additives / G.V. Nesvetaev, Yu.I. Koryanova, A.V. Kolleganov // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 284. – P. 963–969. – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.963.

7. Мкртчян А.М. Расчет железобетонных колонн из высокопрочного бетона по недеформированной схеме / А.М. Мкртчян, Д.Р. Маилян // Научное обозрение. – 2013. – №11. – С. 72–76.

8. Аксенов В.Н. Железобетонные колонны из высокопрочного бетона / В.Н. Аксенов, Д.Р. Маилян, Н.Б. Аксенов. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2012. – 167 с.

9. Кубасов А.Ю. К вопросу закрытия технологических трещин в железобетонных фермах комбинированным преднапряжением арматуры / А.Ю. Кубасов, Д.Р. Маилян // Научное обозрение. – 2015. – №10. – С. 17.

10. Маилян Д.Р. Проектирование железобетонных конструкций равного сопротивления / Д.Р. Маилян, В.Х. Хунагов. – Нальчик, 2015. – 176 с.

11. Маилян Д.Р. Регулирование жесткости и прочности железобетонных балок варьированием модуля упругости бетона / Д.Р. Маилян, Г.В. Несветаев //

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – Т. 20. №4. – С. 86–93.

12. Хунагов Р.А. Расчет двухслойных предварительно напряженных железобетонных панелей / Р.А. Хунагов, Д.Р. Маилян // Вестник Майкопского государственного технического университета. – 2011. – №4. – С. 33–37.

13. Хунагов Р.А. Двухслойные железобетонные панели с неравномерно обжатыми сечениями / Р.А. Хунагов, Д.Р. Маилян, А.М. Блягоз // Вестник Майкопского государственного технического университета. – 2011. – №4. – С. 37–41.

14. Хунагов Р.А. Двухслойные железобетонные панели с комбинированным армированием: моногр. / Р.А. Хунагов, Д.Р. Маилян, А.М. Блягоз. – Майкоп, 2012. – 162 с.

15. Belyaev A.V. Design features of three-layer slab reinforced concrete structures / A.V. Belyaev, G.V. Nesvetaev, D.R. Mailyan // Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 931. – P. 264–268. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.264.

16. Маилян Д.Р. Особенности деформационного расчета трехслойных железобетонных плитных конструкций. / Д.Р. Маилян, З.А. Меретуков, А.В. Беляев [и др.]. – Инженерный вестник Дона. – 2020. – №10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6641 (дата обращения: 18.11.2022).

17. Горностаев И.С. Анализ и результаты экспериментальных и численных исследований деформативности железобетонных составных балок / И.С. Горностаев // Строительство и реконструкция. – Орловск. гос. универ-т им. И.С. Тургенева. – ISSN: 2073–7416.

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)