

Особенности оценки напряженно-деформированного состояния многопустотных железобетонных плит, усиленных установкой дополнительной композитной арматуры в растянутой зоне

Хотько Е.А.

Научный руководитель – Хотько А.А.

Белорусский национальный технический университет

При реконструкции зданий и сооружений часто возникает необходимость повышения несущей способности существующих железобетонных конструкций, что осуществляется их усилением. Выбор метода усиления зависит от результатов проверочных расчетов. Усиление многопустотных железобетонных плит перекрытий зданий в большинстве случаев выполняется установкой дополнительной арматуры в растянутую зону. При таком усилении, как правило, арматура усиления в виде отдельных стержней, или в составе каркасов, через прорезы, предварительно устроенные с верхней стороны пустоты конструкций, фиксируется в растянутой зоне с последующим обетонированием пустот с целью обеспечения совместной работы дополнительной арматуры и усиливаемой конструкции [1, 2]. Схема такого усиления представлена на рисунке 1.

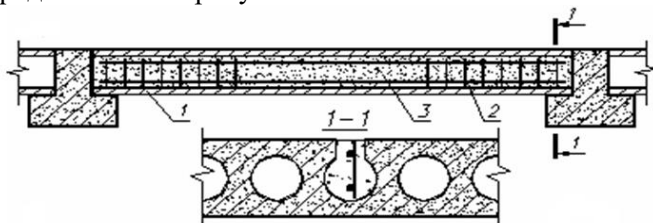


Рисунок 1 - Вариант усиления многопустотной плиты перекрытия установкой дополнительной арматуры: 1 – плита; 2 – сварной каркас; 3 – бетон

В качестве дополнительных стержней, устанавливаемых в пустоты усиливаемой многопустотной железобетонной плиты перекрытия, предлагается использовать (вместо стальной арматуры) композитную арматуру. Напряженно-деформированное состояние усиленной таким образом конструкции будет соответствовать работе железобетонного элемента с комбинированным армированием. Исследованиями напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с

комбинированным армированием посвящены работы, выполняемые под руководством профессоров Т.М. Пецолюда, В.В.Тура, ученых Российской Федерации и других стран [1, 4, 5, 6, 7].

Использование композитной арматуры при армировании железобетонных конструкций имеет свои особенности, так как использование такой арматуры (в связи с более низким модулем упругости по сравнению с модулем упругости стальной арматуры) без ее предварительного напряжения является не эффективным в связи с ранним образованием трещин и значительными прогибами. Предварительное напряжение композитной арматурой при изготовлении железобетонных изгибаемых элементов на данный момент практически осуществимо только с использованием самонапрягающего бетона [7]. Комбинированное армирование даже в случае отсутствия предварительного напряжения композитной арматуры позволяет использовать свойства композитной арматуры в сочетании с работой стальной арматуры. При комбинированном армировании композитная арматура включается в работу после достижения определенного уровня напряжений в стальной арматуре [1, 5, 6].

При усилении многопустотных железобетонных плит установкой дополнительных композитных стержней в растянутую зону, как правило, напряжения в стальной арматуре уже достигли определенного уровня. Уровень напряжений в стальной арматуре, соответствующий нулевым напряжениям в композитной арматуре, зависит от уровня нагружения усиливаемой плиты в момент усиления.

Повысить эффективность предлагаемого метода усиления возможно при условии предварительного напряжения композитной арматуры, что приведет в конечном итоге к повышению трещиностойкости и уменьшению прогибов усиливаемой конструкции. В случае усиления многопустотных панелей предлагаемым методом, не смотря на известные сложности создания предварительного напряжения композитной арматуры, представляется возможность предварительное напряжение таких стержней изменением их трассировки. Методика такого метода включения в работу дополнительной арматуры представлена в работах Д.Н. Лазовского [2]. Суть такой методики, иллюстрированной на рисунке 2, состоит в фиксации обетонированием концов дополнительных стержней усиления, их притягивания к нижней грани пустот плит при помощи струбцин или натяжных болтов

(чем создается предварительное напряжение) и последующего обетонирования пустоты с натянутой арматурой [1].

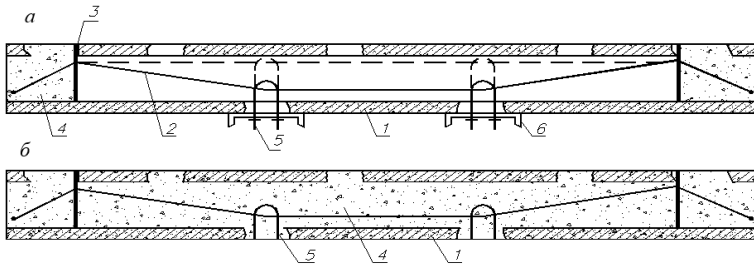


Рисунок 2 - Вариант создания предварительного напряжения дополнительной арматуры при усилении сборных многопустотных плит: а – плита в момент предварительного напряжения арматуры; б – усиленная плита, 1 – усиливаемая плита, 2 – дополнительная арматура, 3 – временная ограничительная пластина, 4 – бетон, 5 – натяжной болт, 6 – опалубка

В связи с тем, что композитные стержни являются упруго-деформируемыми, следствием изгиба таких стержней становится снижение их сопротивления растяжению. То есть, если стержень из полимерного композита изогнут (имеет криволинейное очертание в продольном направлении бетонного элемента), то создаваемые на стадии натяжения арматуры напряжения должны быть уменьшены, так как необходимо учитывать появление дополнительных напряжений в изогнутой части стержня.

Уровень достигаемых напряжений при изгибе композитного стержня зависит от радиуса кривизны стержня в точке перегиба, модуля упругости и характеристик поперечного сечения стержня. Напряжения, возникающие в стержне в результате его изгиба (искривления траектории) могут быть определены по следующей формуле [7, 8, 9, 10]:

$$\sigma_h = \frac{E_{fcp} \cdot y}{R_{ch}}, \quad (1)$$

где: E_{fcp} – модуль упругости композитного стержня;

y – расстояние от центра тяжести до растянутой грани изогнутого композитного стержня (это расстояние равно радиусу стержня);

R_{ch} – радиус кривизны стержня в точке его перегиба.

Исследования, проведённые в Университете Вайоминга (University of Wyoming, Pennsylvania) [10], показали, что вычисленное по формуле (1) напряжение несколько завышено в сравнении со своим реальным значением, поэтому рекомендуется значение радиуса кривизны стержня в точке его перегиба (R_{ch}), подставляемое в формулу (1), принимать несколько завышенным или принимать равным натуральному радиусу кривизны изогнутого стержня (R_n), который рассчитывается по формуле:

$$R_n = \frac{r^2}{2} \times \sqrt{\frac{E_{frrp} \times \pi}{P \times (1 - \cos \theta)}}, \quad (2)$$

Где r – радиус стержня из полимерного композита;

P – действующее в композитном стержне усилие;

θ – суммарный угол поворота оси напрягаемой композитной арматуры в точке её перегиба.

Подсчёт суммарной величины потери предварительного напряжения является важным этапом при проектировании предварительно напряжённых бетонных элементов, армированных стержнями из полимерного композита.

Выделяют следующие виды потерь предварительного напряжения в напрягаемой композитной арматуре: потери, вызванные упругими деформациями бетона; потери, являющиеся следствием ползучести бетона; потери, вызванные усадкой бетона. Расчёт этих потерь для композитной арматуры производится аналогично, как и для стальной напрягаемой арматуры. При подсчёте потерь предварительного напряжения в напрягаемой композитной арматуре учитывается снижение величины её модуля упругости.

В связи с тем, что значение модуля упругости стержней из полимерного композита ниже значения модуля упругости стальных стержней, то потери предварительного напряжения в напрягаемой композитной арматуре, вызванные упругими деформациями, ползучестью и усадкой бетона, будут значительно меньшими по сравнению с потерями предварительного напряжения, вызванными протеканием аналогичных процессов в стальной напрягаемой арматуре [7, 8, 9, 10].

Потери предварительного напряжения в напрягаемой композитной арматуре, вызванные релаксацией напряжений в стержнях из полимерного композита зависят от вида армирующего волокна и склады-

ваются из трёх составляющих: потери, вызванные релаксацией напряжений в полимерной матрице; потери, вызванные распрямлением армирующих волокон; потери, вызванные релаксацией напряжений в армирующем волокне.

На начальной стадии создания предварительного напряжения композитного стержня, часть усилия передаётся на полимерную матрицу (чаще всего она представлена различными видами смол). Полимерная матрица является упругопластическим материалом, поэтому процесс релаксации в ней напряжений и связанные с данным процессом потери предварительного напряжения являются следствием сопротивления матрицы внешней нагрузке. Релаксация полимерной матрицы характеризуется соотношением жесткостей полимерной матрицы и армирующих волокон и объёмным содержанием армирующих волокон в композитном стержне.

Однонаправленные армирующие волокна композитного стержня не являются идеально параллельными между собой (так как волокна не являются идеально прямыми). По этой причине в процессе предварительного напряжения стержня, армирующие волокна начинают распрямляться, и такое распрямление волокон приводит к релаксации в них напряжений, которая в свою очередь приводит к потерям предварительного напряжения. Суммарная потеря предварительного напряжения, вызванная распрямлением армирующего волокна композитного стержня принимается равной $(1...2)\%$ от начального напряжения обжатия бетона.

Уровень релаксации напряжений в армирующих волокнах композитного стержня зависит от материала самого армирующего волокна. В соответствии с [10] уровень релаксации напряжений (выраженный в % от начального напряжения обжатия бетона), находится в логарифмической зависимости от времени.

При оценке потерь предварительного напряжения, вызванных трением арматуры о стенки каналов или о поверхность бетона конструкции, используется коэффициент трения-скольжения аналогично тому, как и при проектировании конструкций со стальными предварительно напряжёнными стержнями. Было установлено, что для стержней из полимерного композита, армированных карбоновым волокном, находящихся в полихлорвиниловом канале, коэффициент трения-скольжения о стенки криволинейного канала находится в диапазоне от 0.25

(при скачкообразном перемещении при трении) до 0.6 (при нескачкообразном перемещении при трении). Так как коэффициент трения-скольжения зависит главным образом от материала канала, то значения данного коэффициента, определённые для стальной предварительно напряжённой арматуры, могут быть использованы и для предварительно напряжённой композитной арматуры, армированной различными типами волокон.

Для обоснованного использования композитной арматуры при усилении растянутой зоны многопустотных железобетонных плит установкой дополнительной арматуры, требуются дополнительные исследования, включающие численный анализ несущей способности, трещиностойкости и деформативности усиленной многопустотной железобетонной плиты в зависимости от уровня нагружения в момент усиления, от процента армирования композитными стержнями, а также исследований свойств композитной арматуры после механических изгибов.

Список использованных источников

1. Усиление растянутой зоны многопустотных железобетонных плит установкой дополнительной композитной арматуры / Е.А. Хотько, А.А. Хотько // Современные методы расчётов и обследований железобетонных и каменных конструкций / Материалы 78-й студенческой научно-технической конференции / г.Минск, 2022 – С.46-50
2. Проектирование реконструкции зданий и сооружений : учеб.-метод. комплекс. В 3 ч. Ч. 2. Оценка состояния и усиление строительных конструкций / Д. Н. Лазовский. – Новополюк : ПГУ, 2010. – 340 с
3. СП 63.13330-2012 «Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования». – Москва, 2013.
4. Фролов, Н. П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции / Н. П. Фролов. – Москва: Стройиздат, 1980. – 107 с.
5. Тур, В. В. Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями / В. В.Тур, В. В. Малыха // Вестн. Полоц. гос. ун. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 58–65.

6. Почебыт, А. А. Железобетонные балки с комбинированным армированием / А. А. Почебыт // Наука - 2017 : сборник научных статей. В 2 ч. Ч. 1/ Учреждение образования «Гродненский гос. ун-т им. Я.Купалы». – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2017. – С.328 –330.
7. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкции при применении напрягающего бетона / В.В. Тур. – Брест: Изд-во БрГТУ, 1998. – 244 с.
8. The Canadian Highway Bridge Design Code: CAN/CSA-S06-06. – Introduced November 2006 – Ottawa, Ontario: Canadian Standards Association, 2006.
9. Design and Construction of Building components with Fibre Reinforced Polymers: CAN/CSA-S806-02. – Introduced May 2004 – Ottawa, Ontario: Canadian Standards Association, 2004.
10. Design Recommendations for Concrete Structures Prestressed with FRP Tendons: Final Report / University of Wyoming, Pennsylvania State University, University of Missouri-Rolla; C.W. Dolan, H.R. Hamilton, C.E. Bakis, A. Nanni – 2001. – FHWA – DTFH61-96-C-00019.