

УДК 691.328.43

## ПРОЧНОСТЬ, ЖЕСТКОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ, УСИЛЕННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ

*А.А. Хотько, И.В. Даниленко*

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: [hnhhh@tut.by](mailto:hnhhh@tut.by), [irinadi@tut.by](mailto:irinadi@tut.by)

*Исследовано влияние уровня предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры усиления и ее диаметра на несущую способность, трещиностойкость и деформативность усиливаемых многопустотных железобетонных плит.*

**Ключевые слова:** усиление плит, стеклопластиковая арматура, преднапряжение.

## STRENGTH, HARDNESS AND TENSILE RESISTANCE OF CONCRETE MULTICAVITIES PLATES, REINFORCED FIBERGLASS REINFORCEMENT

*A. Khotsko, I. Danilenko*

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

e-mail: [hnhhh@tut.by](mailto:hnhhh@tut.by), [irinadi@tut.by](mailto:irinadi@tut.by)

*The influence of the pre-voltage level of the reinforcement VSG and its diameter on the bearing capacity, crack resistance and deforming of reinforced multi-cavity concrete slabs was investigated.*

**Keywords:** reinforcement of slabs, glass-plastic fittings, preinstallation.

**Введение.** Одними из самых распространенных сборных железобетонных конструкций, продолжительное время применяющихся в гражданском строительстве, являются многопустотные плиты перекрытия. Широкое их применение длительный период времени приводит к тому, что некоторые эксплуатируемые плиты могут не удовлетворять требованиям по несущей способности или эксплуатационной пригодности, что приводит к необходимости усиления конструкции. Необходимость усиления пустотных плит может возникнуть при реконструкции или изменении назначения здания, при котором увеличивается эксплуатационная нагрузка на перекрытия.

В последнее время разрабатываются методы усиления железобетонных конструкций с применением новых современных материалов. В качестве одного из таких методов рассматривается использование при усилении напрягаемой стеклопластиковой арматуры.

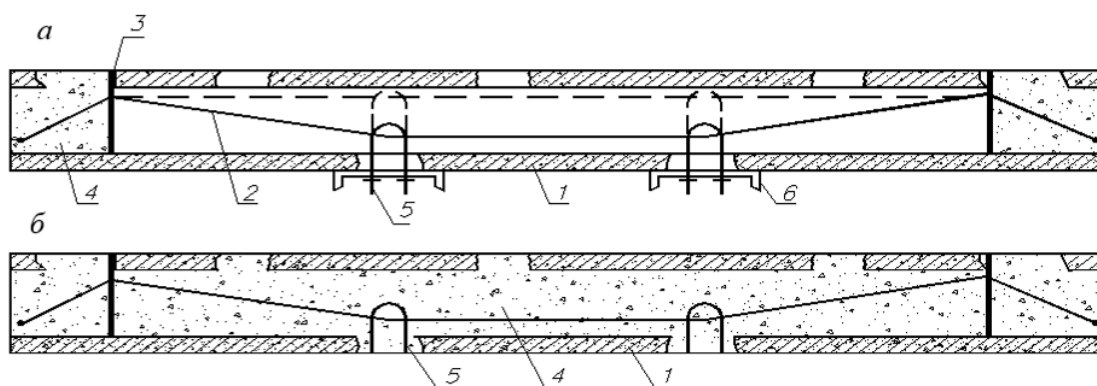
Напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов, усиленных композитной арматурой, имеет свои особенности, а свойства композитной арматуры, используемой в качестве напрягаемой, недостаточно изучены.

**Экспериментальная часть.** Применение новых методов усиления железобетонных конструкций с использованием напрягаемой стеклопластиковой арматуры приводят к необходимости разработки нормативной документации, регламентирующей физико-механические свойства стеклопластиковой арматуры, а также методов испытания такой арматуры и правил проектирования бетонных конструкций с композитным армированием. Для разработки данной документации требуется провести ряд экспериментально-теоретических исследований для определения и уточнения некоторых свойств композитной арматуры усиления. Примене-

ние нормативных документов даст возможность широко использовать стеклопластиковую арматуру и более качественно выполнять усиление пустотных железобетонных плит.

Возможность использования композитной арматуры в качестве предварительно напряженной при усилении железобетонных многопустотных плит обосновывается существующими методами усиления плит напрягаемой стальной арматурой, изложенными в работах Д.Н. Лазовского [1].

Процесс выполнения такого усиления заключается в фиксации концов стержней обетонированием и дальнейшим их притягиванием к нижней грани пустот плиты с помощью струбцин или натяжных болтов, что и создает преднапряжение. Затем пустота с натянутой арматурой бетонируется (рисунок 1).



а – плиты в момент предварительного напряжения арматуры; б – усиленная плита,  
1 – усиливаемая плита, 2 – дополнительная арматура, 3 – временная ограничительная пластина,  
4 – бетона, 5 – натяжной болт, 6 – опалубка

Рисунок 1. – Усиление сборных многопустотных плит предварительно напряженной арматурой

Аналогичный вариант усиления возможен с использованием вместо стальной арматуры композитных стержней. Учитывая, что описанный метод усиления позволяет выполнять предварительное напряжение стеклопластиковой арматуры, это решает одну из сложных задач использования таких свойств стеклопластиковой арматуры, как высокая прочность в сочетании с относительно низким модулем упругости [2].

Однако, для того чтобы оценить целесообразность методики усиления многопустотных железобетонных плит с использованием стеклопластиковой арматуры, напрягаемой в пустотах конструкций, следует изучить напряженно-деформированное состояние изгибаемых элементов с комбинированным армированием в условиях, близких к реальной ситуации.

Для оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных многопустотных плит, усиленных стеклопластиковой арматурой, устанавливаемой в пустоты конструкций, выполнен численный эксперимент с использованием программного комплекса «БЕТА» (УО «ПГУ»), целью которого ставилось определить влияние количества и диаметра стеклопластиковой арматуры, уровня ее предварительного напряжения, прочностных характеристик бетона омоноличивания пустот, на прочность, жесткость и трещиностойкость усиливаемой многопустотной плиты.

До выполнения численного эксперимента, с целью определения величины возможного предварительного напряжения, нами были выполнены экспериментальные исследования по натяжению арматуры путем изменения ее трассировки, по аналогии с созданием предварительного напряжения при усилении многопустотной плиты (фото 1).

Результаты экспериментальных исследований показали, что вертикальное перемещение центральной части стержня на принятую в экспериментах величину привели к ее натяжению, соответствующему напряжениям, равным 600...700МПа. После снятия нагрузки выпол-

няли внешний визуальный осмотр арматурного стержня. Результаты осмотра показали отсутствие каких-либо видимых повреждений матрицы или волокон стеклопластиковой арматуры. Стержень после снятия нагрузки вернулся в исходное прямолинейное состояние.



Фото 1. – Внешний вид арматуры после её предварительного напряжения путем изменения её трассировки

Численный эксперимент выполняли с исходными данными для стеклопластиковой арматуры, полученными по результатам испытаний арматуры на растяжение. При определении параметров расчета в меню выбран раздел «Произвольные диаграммы», который позволяет использовать при расчете различные виды материалов (стеклопластиковую арматуру), задавая в процессе расчета физико-механические характеристики арматуры, величину предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры усиления и другие варьируемые параметры (рисунок 2).

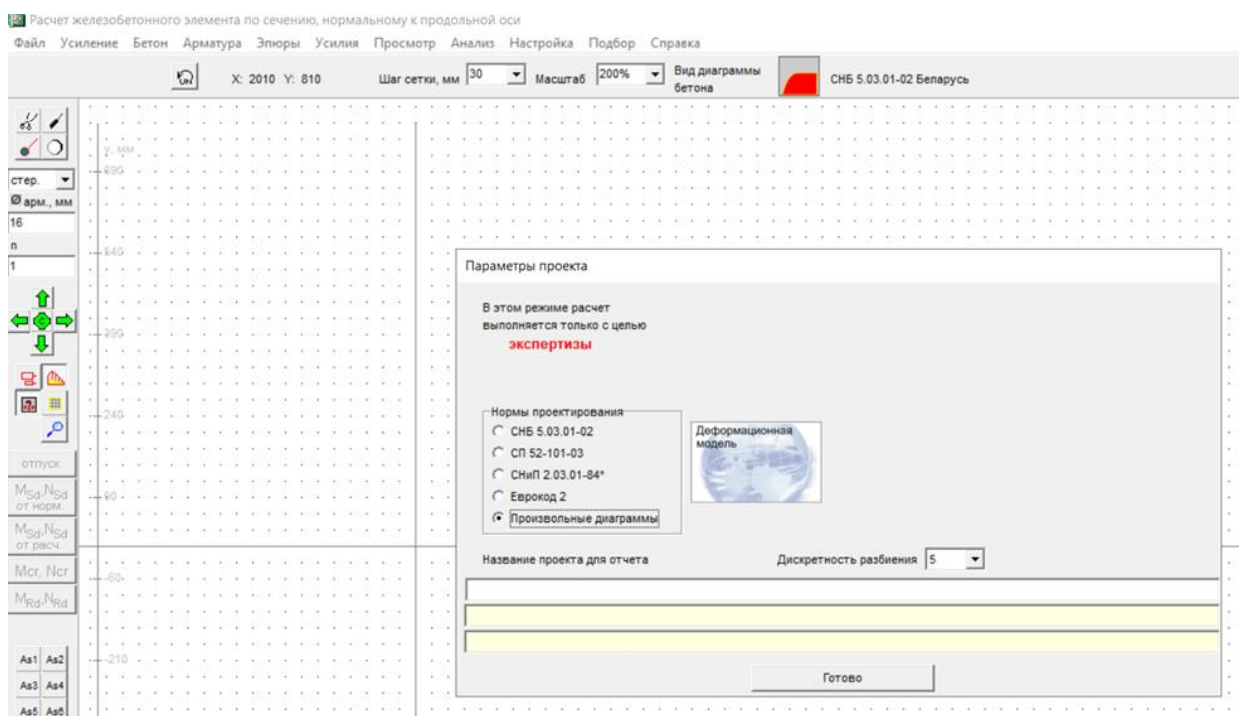


Рисунок 2. – Выбор параметров проекта

В качестве исходного образца в разделе «Шаблоны» выбрано сечение пустотной плиты со следующими данными (рис. 3): ширина плит 1190 мм, высота сечения плиты 220 мм, диаметр пустот 159 мм, количество пустот 6, расстояние между пустотами 26 мм, толщина верхней полки 38 мм, защитный слой бетона для стальной арматуры 30 мм, исходное рабочее армирование плиты представлено 6 стержнями стальной арматуры диаметром 8 мм класса арматуры S500, класс бетона плиты С30/37.

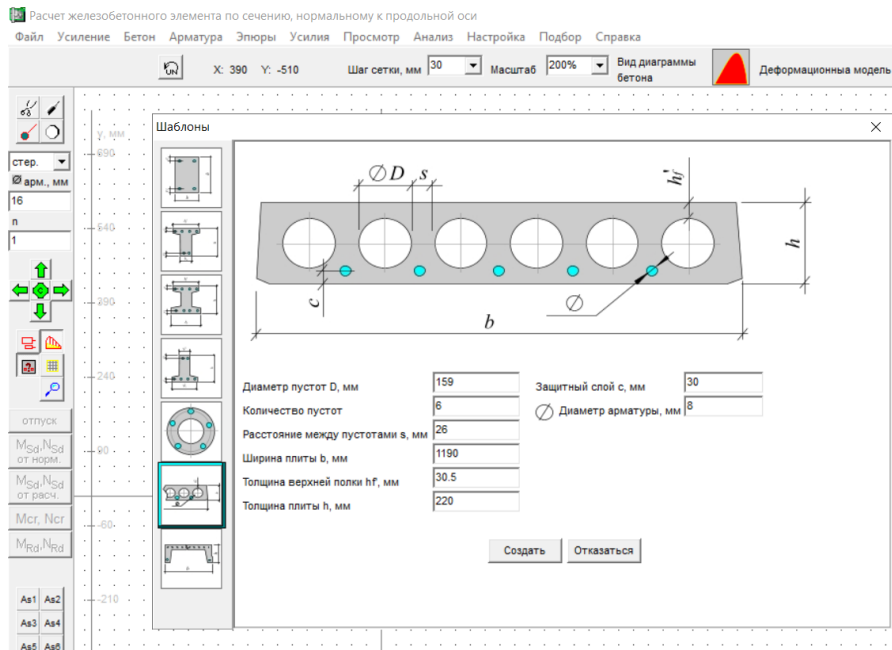


Рисунок 3. – Параметры исходного опытного образца плиты

В процессе численного эксперимента моделировали усиление исходного опытного образца стеклопластиковой предварительно напряженной арматурой диаметром 6 мм, которую устанавливали в двух крайних пустотах плиты. Класс бетона замоноличивания этих двух пустот принимали С30/37 (рисунок 4).

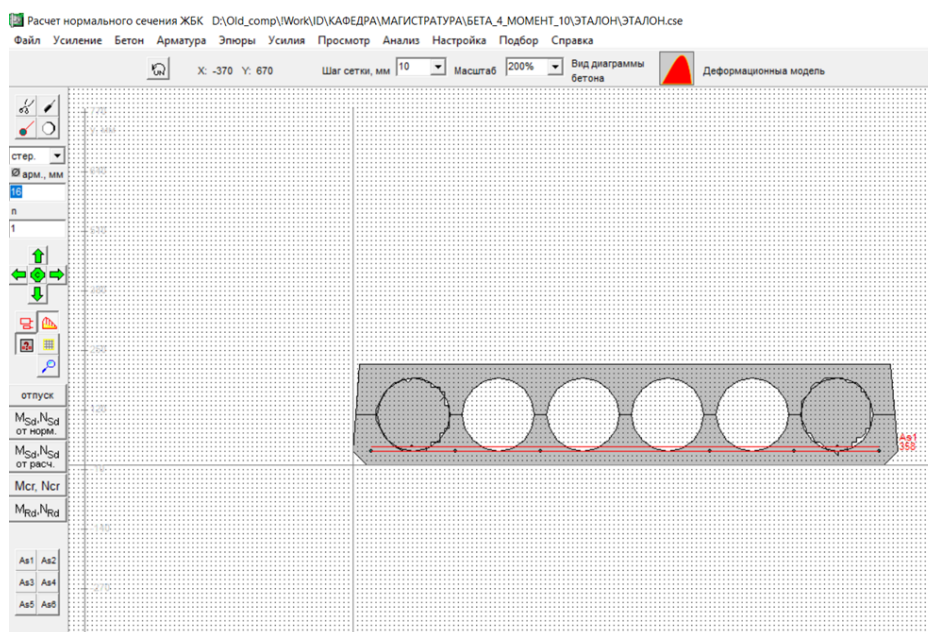


Рисунок 4. – Модель плиты с арматурой усиления

Для стеклопластиковой арматуры усиления были заданы следующие исходные данные: прочность арматуры (1100 МПа), значение модуля упругости (40000 МПа) и величину предварительного напряжения (300 МПа). В процессе дальнейшего численного эксперимента варьировали следующими параметрами:

- количество и диаметр арматуры;
- класс бетона замоноличивания;
- величину предварительного напряжения арматуры усиления (рисунок 5).

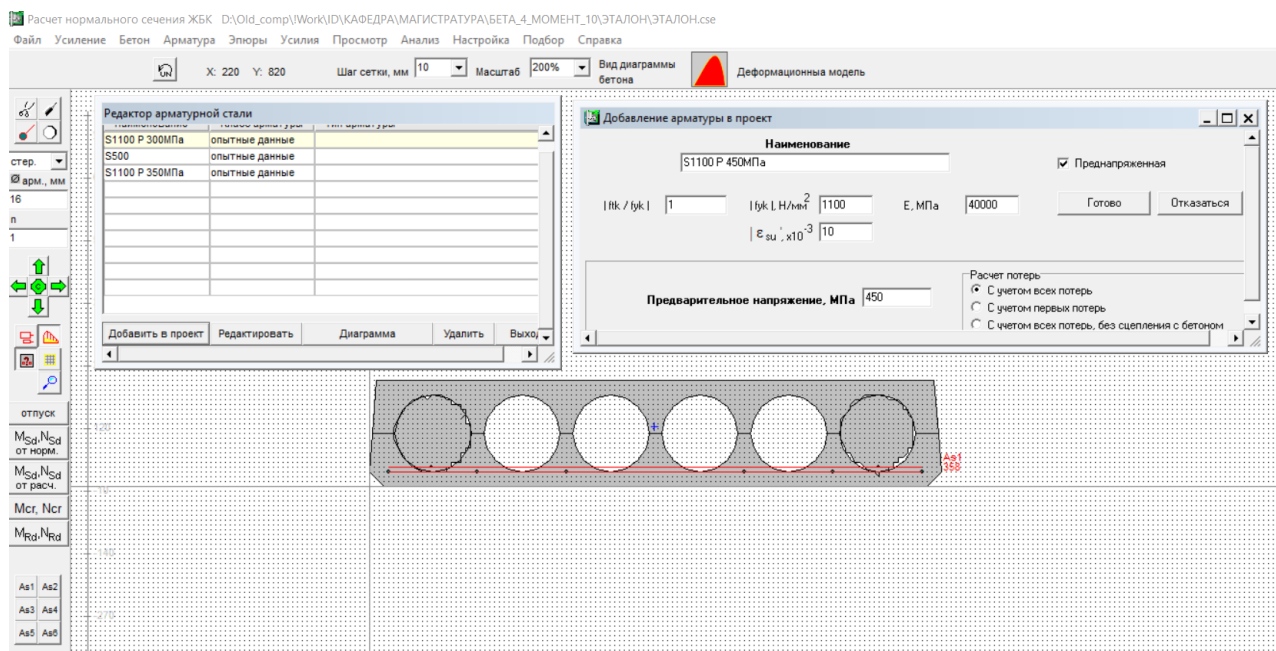


Рисунок 5. – Изменение характеристик материалов при выполнении расчета

В результате выполнения численного эксперимента контролировали и выполняли анализ следующих данных:

- несущая способность конструкции  $M_{Rd}$  ;
- момент образования трещин  $M_{crc}$  ;
- кривизна  $1/r$  .

Для анализа влияния количества и диаметра стеклопластиковой арматуры, уровня ее предварительного напряжения, прочностных характеристик бетона омоноличивания пустот, на прочность, жесткость и трещиностойкость усиливаемой многопустотной плиты в процессе расчета принимали следующие параметры:

1. Диаметр стеклопластиковой арматуры усиления 5, 6, 8, 10, 12 и 14 мм;
2. Величина предварительного напряжения в стеклопластиковой арматуре усиления 250, 300, 350, 400, 450 и 500 МПа;
3. Класс бетона замоноличивания пустот С20/25, С25/30, С30/37, С35/45, С40/50 и С45/55.

Результаты расчетов многопустотной железобетонной плиты перекрытия, представленные в виде графиков, позволяют сделать следующие выводы.

Увеличение класса бетона замоноличивания пустот в процессе усиления приводит к увеличению момента трещинообразования (повышению трещиностойкости элемента) с  $M_{crc} = 19.89кН * м$  до  $M_{crc} = 19.97кН * м$ , то есть на 0,4% (рис. 6).



Рисунок 6. – График зависимости трещиностойкости плиты от класса бетона замоноличивания пустот с арматурой усиления

Увеличение диаметра стеклопластиковой арматуры усиления в двух пустотах с 5мм до 14 мм, при уровне ее предварительного напряжения 300МПа, позволило повысить несущую способность сечения, нормального к продольной оси с  $M_{Rd} = 36.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$  до  $M_{Rd} = 86.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , то есть в 2,4 раза. При этих же условиях момент трещинообразования плиты увеличился с  $M_{crc} = 20.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$  до  $M_{crc} = 32.0 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , то есть трещиностойкость увеличилась в 1,6 раза, а кривизна уменьшилась с  $1/r = 2.4 \cdot 10^{-7}$  до  $1/r = 0.5 \cdot 10^{-7}$  (уменьшение кривизны в 4,8 раза). Результаты расчетов приведены в графической форме на рисунках 7, 8 и 9.

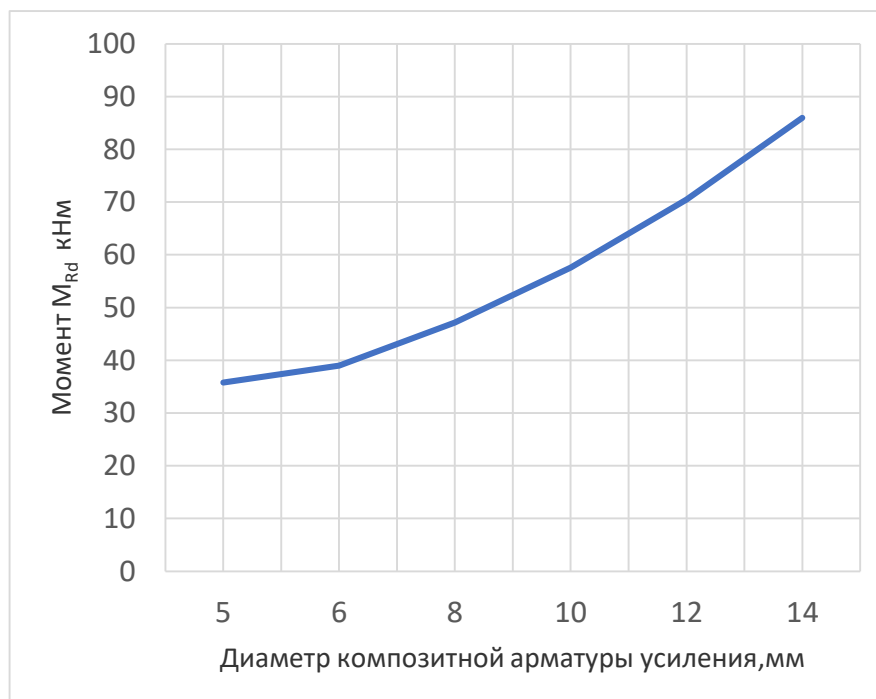


Рисунок 7. – График зависимости несущей способности плиты от диаметра композитной арматуры усиления

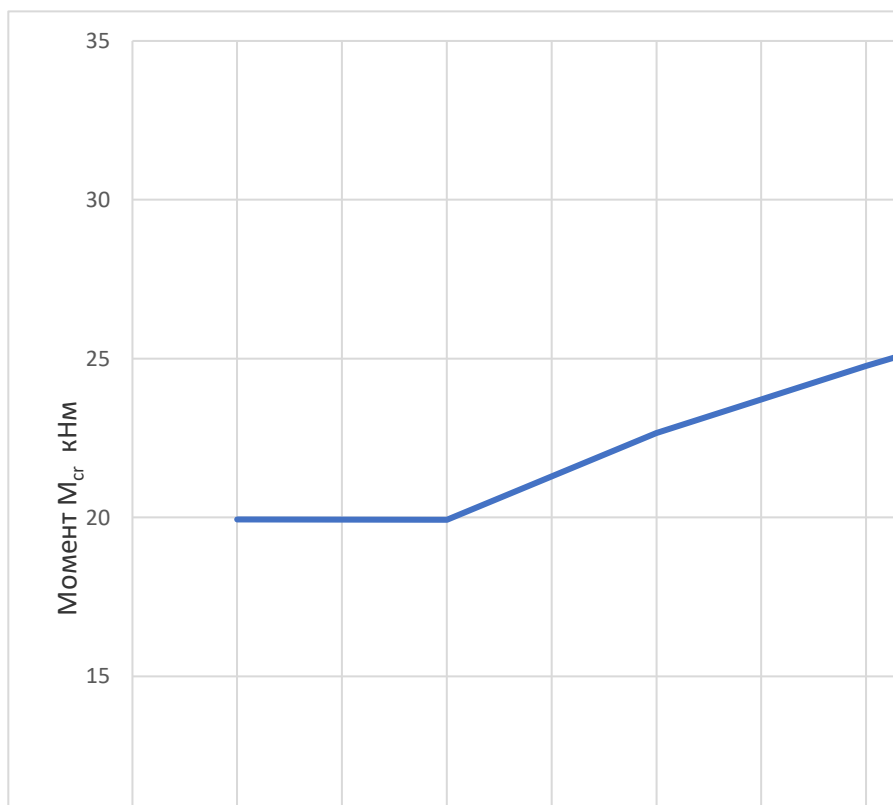


Рисунок 8. – График зависимости трещиностойкости плиты от диаметра композитной арматуры усиления

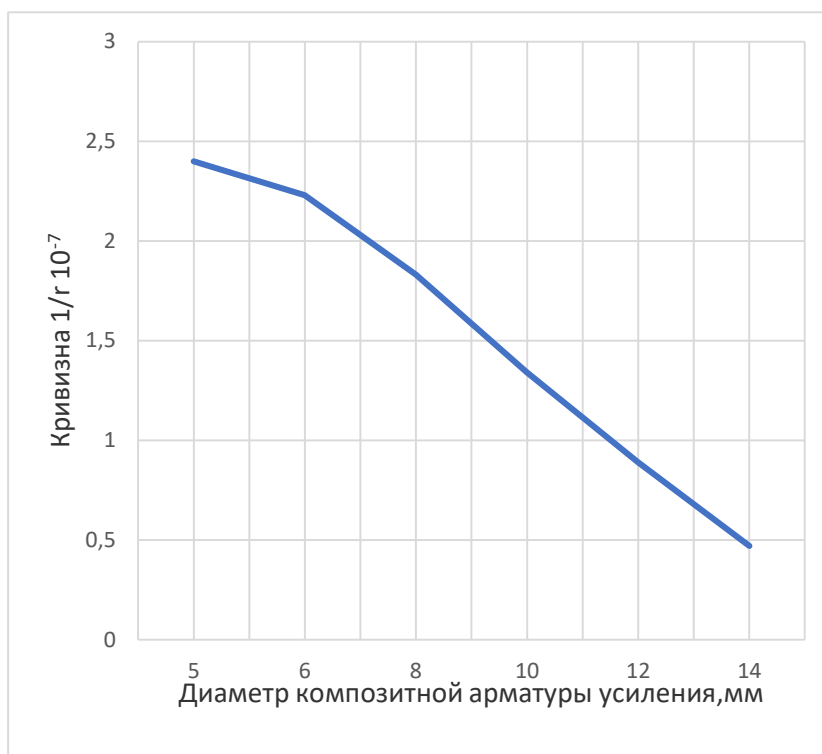


Рисунок 9. – График зависимости кривизны плиты от диаметра композитной арматуры усиления

Влияние уровня предварительного напряжения арматуры выполняли для случая со стеклопластиковой арматурой диаметром 6мм. Величина предварительного напряжения в расчетах изменялась в пределах от 250 до 500 МПа. График зависимости трещиностойкости плиты от величины предварительного напряжения композитной арматуры усиления представлен на рис. 10. Численный эксперимент показал, что увеличение величины предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры усиления с 250МПа до 500МПа приводит к повышению трещиностойкости с  $M_{cr} = 19.7кН * м$  до  $M_{cr} = 22.0кН * м$ , то есть трещиностойкость увеличивается в 1,12 раза.

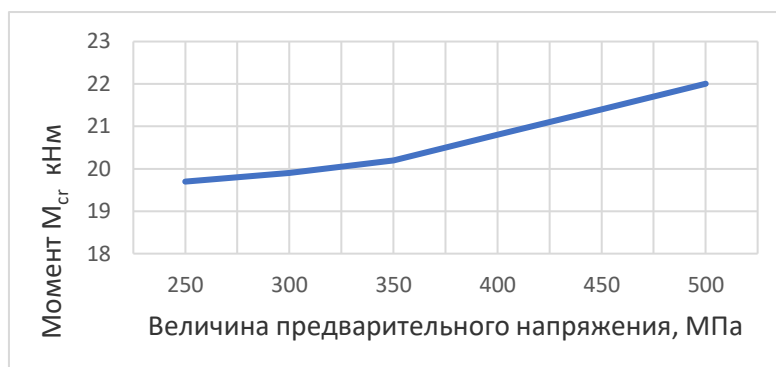


Рисунок 10. – График зависимости трещиностойкости плиты от величины предварительного напряжения композитной арматуры усиления

Расчеты по определению кривизны элемента при различных значениях величины предварительного напряжения композитной арматуры усиления выполнены при значении  $M_{Ek} = 24.5кН * м$ . График зависимости приведен на рисунке 11. Увеличение величины напряжения в арматуре усиления приводит к уменьшению кривизны (прогиба) железобетонной конструкции при заданном значении  $M_{Ek} = 24.5кН * м$  с  $1/r = 9.52 * 10^{-6}$  до  $1/r = 8.62 * 10^{-6}$  (уменьшение кривизны в 1,1 раза).

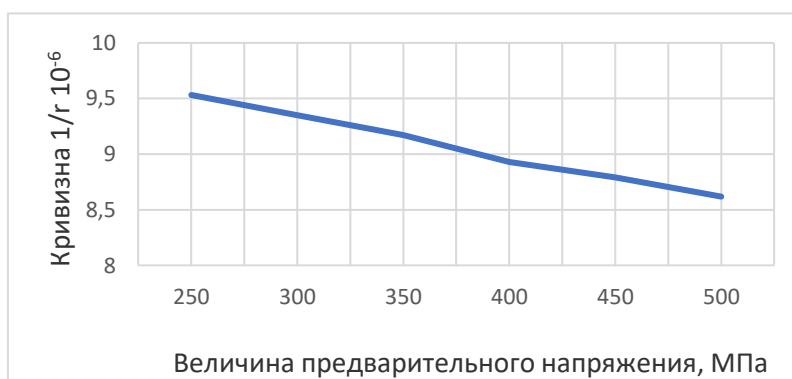


Рисунок 11. – График зависимости кривизны плиты от величины преднапряжения композитной арматуры усиления при  $M_{Ek} = 24,5$  МПа

**Заключение.** Таким образом, результаты численного эксперимента показали, что увеличение диаметра стеклопластиковой арматуры усиления, устанавливаемой всего в двух пустотах с 5мм до 14 мм с позволяет повысить несущую способность в 2,4 раза, повысить тре-



щиностойкость в 1,4 раза и снизить деформативность (уменьшение кривизны в 4,8 раза). Однако, повышение уровня предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры усиления с 250МПа до 500МПа приводит лишь к незначительному увеличению трещиностойкости (в 1,12 раза) и такому же незначительному снижению деформативности (уменьшение кривизны в 1,1 раза). Данный факт можно обосновать сдерживающим влиянием основной стальной арматуры плиты, которая препятствует процессу полноценного обжатия бетона при предварительном напряжении стеклопластиковой арматуры. Увеличение класса бетона замоналичивания пустот в процессе усиления также не оказывает значительного влияния на несущую способность, трещиностойкость и деформативность усиливаемой конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лазовский, Д. Н. Теория расчета и конструирование усиления железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений [Электронный ресурс]: диссертация ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Д. Н. Лазовский; Белорусская государственная политехническая академия, Полоцкий государственный университет. - Минск, 1998.
2. Тур В. В. Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями / В. В.Тур, В. В. Малыха // Вестник ПГУ, Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 58–65.