

2. Щурова Е.В. Развитие и совершенствование конструктивных и технико-технологических решений по обеспечению герметичности стальных вертикальных резервуаров : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 5.6.6. / Щурова Елена Владимировна. Уфа. 2022. 24 с.

3. Правила и инструкции по технической эксплуатации металлических резервуаров и очистных сооружений : утв. Госкомнефтепродуктом СССР от 26.12.86. М.: «Недра», 1977. 464 с., ил.

4. ТКП 169/ОР (02300) Правила технической эксплуатации резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Введ. 2019-03-01. Минск : МЧС, 2019. 128 с.

5. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. Введ. 2017-03-01. М.: Стандартинформ, 2016. 98 с.

6. СН 26-58 Технические условия изготовления и монтажа стальных цилиндрических вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Введ. 1958-10-01. М.: Госстройиздат, 1958. 50 с.

УДК 691.328.43

ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ, УСИЛЕННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ

А.А. Хотько, И.В. Даниленко, С.Н. Делендик

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Исследование несущей способности и трещиностойкости многопустотных железобетонных плит, усиленных стеклопластиковой арматурой.

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

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

A. Khotsko, I. Danilenko, S Dzialendzik

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Study of the bearing capacity and resistance of multi-cavity concrete slabs, reinforced with conventional and stressed glass-plastic reinforcement.

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

Введение.

В сфере строительства каждый год внедряются новые материалы и инновации. Так, например, композитная арматура в нашей стране начала применяться относительно недавно. Сфера ее использования достаточно разнообразна, и один из вариантов применения – использование при уси-

лении железобетонных конструкций. В частности, возможно применение стеклопластиковой арматуры при усилении многопустотных железобетонных плит, которые длительное время широко используются в гражданском строительстве и при длительной эксплуатации перестают удовлетворять требованиям по несущей способности или эксплуатационной пригодности.

Экспериментальная часть. С использованием программного комплекса «БЕТА» (УО «ПГУ») нами был выполнен численный эксперимент по исследованию несущей способности и трещиностойкости железобетонной многопустотной плиты, усиленной стеклопластиковой арматурой, приклеенной в растянутой зоне конструкции. Численный эксперимент выполняли для трех разных стадий работы многопустотной плиты:

- 1) до выполнения усиления конструкции;
- 2) после ее усиления стеклопластиковой арматурой в виде двух стержней $\varnothing 6$ мм, расположенных в нижней зоне двух пусто плиты;
- 3) после ее усиления стеклопластиковой арматурой в виде двух стержней $\varnothing 12$ мм, расположенных в нижней зоне двух пустот плиты;.

В качестве базового образца была выбрана конструкция со следующими параметрами:

- ширина плиты 1190 мм,
- высота сечения плиты 220 мм,
- диаметр пустот 159 мм,
- количество пустот 6,
- расстояние между пустотами 26 мм,
- защитный слой бетона для стальной арматуры 30 мм,
- базовое рабочее армирование плиты принято 6 стержнями стальной арматуры диаметром 8 мм класса арматуры S500,
- класс бетона плиты C30/37 (рис. 1).

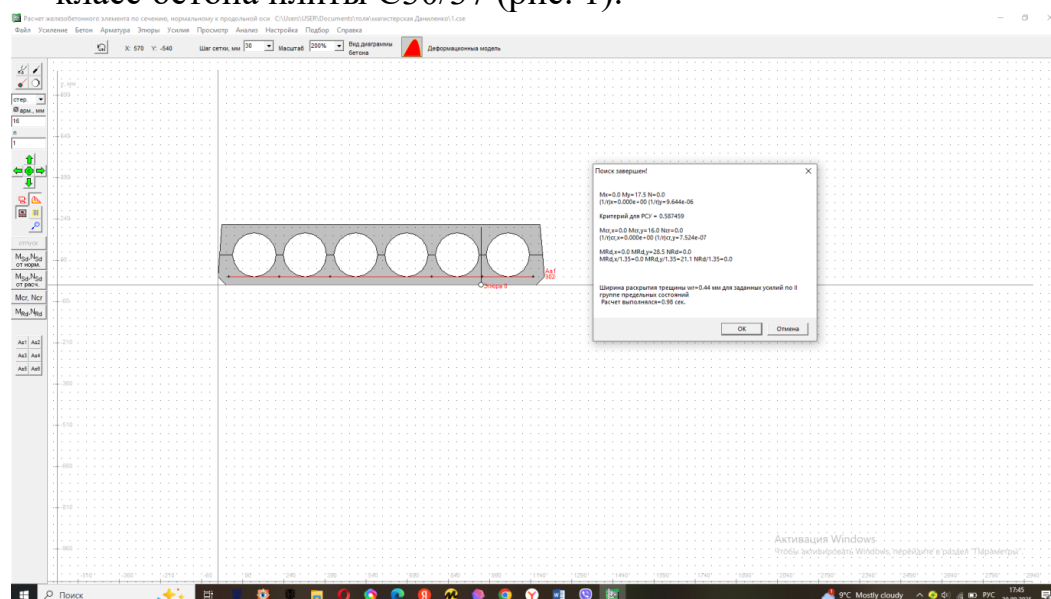


Рис. 1. Выбор параметров расчета плиты без усиления и результаты расчета

ПРОТОКОЛ

Расчет по сечению, нормальному к продольной оси элемента

Проектная прочность

MRd_x, кНМ	MRd_y, кНМ	NRd, кН
	28.51	0.00

I группа предельных состояний

Момент трещинообразования

Mcr_x, кНМ	Mcr_y, кНМ	Ncr, кН
	15.98	0.00

II группа предельных состояний

Заданные усилия от нормативной нагрузки

MSd_x, кНМ	MSd_y, кНМ	NSd, кН
	17.50	0.00

Ширина раскрытия нормальной трещины

wk, мм
0.44

II группа предельных состояний

Рис. 2. Протокол результатов испытания плиты без усиления

Далее был выполнен расчет этой плиты после ее усиления ненапрягаемой стеклопластиковой арматурой в двух вариантах - 2Ø6 и 2Ø12, с замоноличиванием пустот, в которых размещается арматура усиления, бетоном класса С30/37. Для стеклопластиковой арматуры усиления были заданы следующие исходные данные, полученные по результатам испытания арматуры на растяжение: прочность арматуры (1100 МПа), значение модуля упругости (40000 МПа) и

Параметры расчета и протокол результатов испытания для первого варианта усиления представлен на рисунках 3 и 4, для второго варианта – на рисунках 5 и 6.

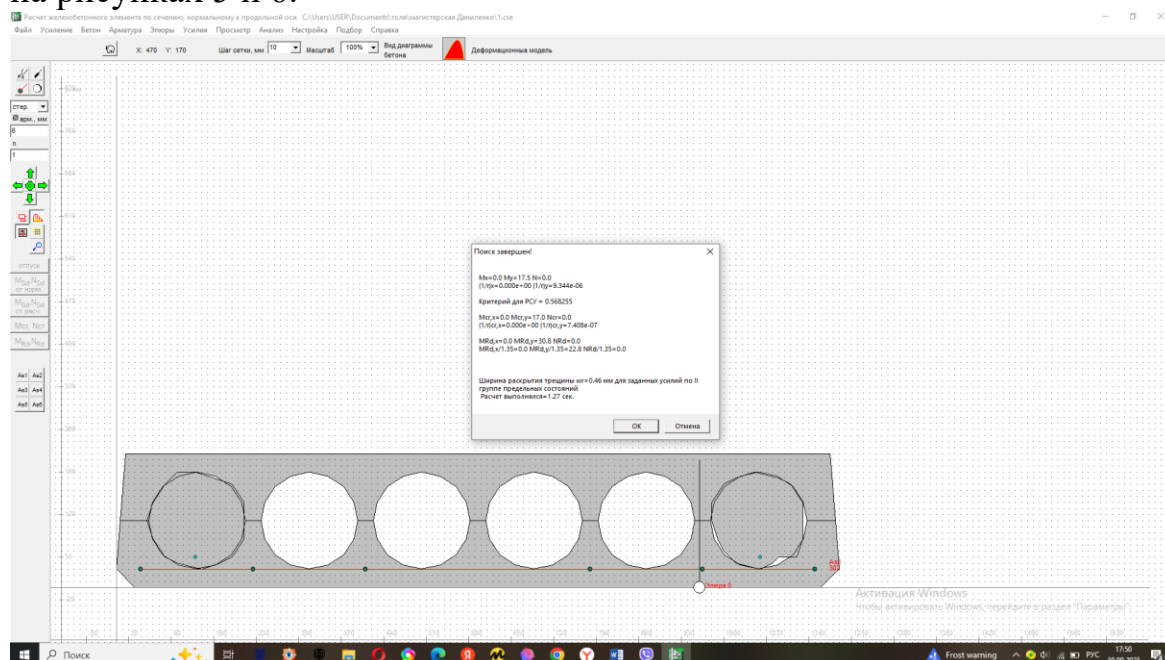


Рис. 3. Выбор параметров и результаты расчета плиты, усиленной 2Ø6

ПРОТОКОЛ

Расчет по сечению, нормальному к продольной оси элемента

Проектная прочность

MRd_x ,кНм	MRd_y ,кНм	NRd, кН
	30.79	0.00

I группа предельных состояний

Момент трещинообразования

Mcr_x ,кНм	Mcr_y ,кНм	Ncr, кН
	16.98	0.00

II группа предельных состояний

Заданные усилия от нормативной нагрузки

MSd_x ,кНм	MSd_y ,кНм	NSd, кН
	17.50	0.00

Ширина раскрытия нормальной трещины

wk, мм
0.46

II группа предельных состояний

Рис. 4. Протокол результатов испытания плиты, усиленной 2Ø6

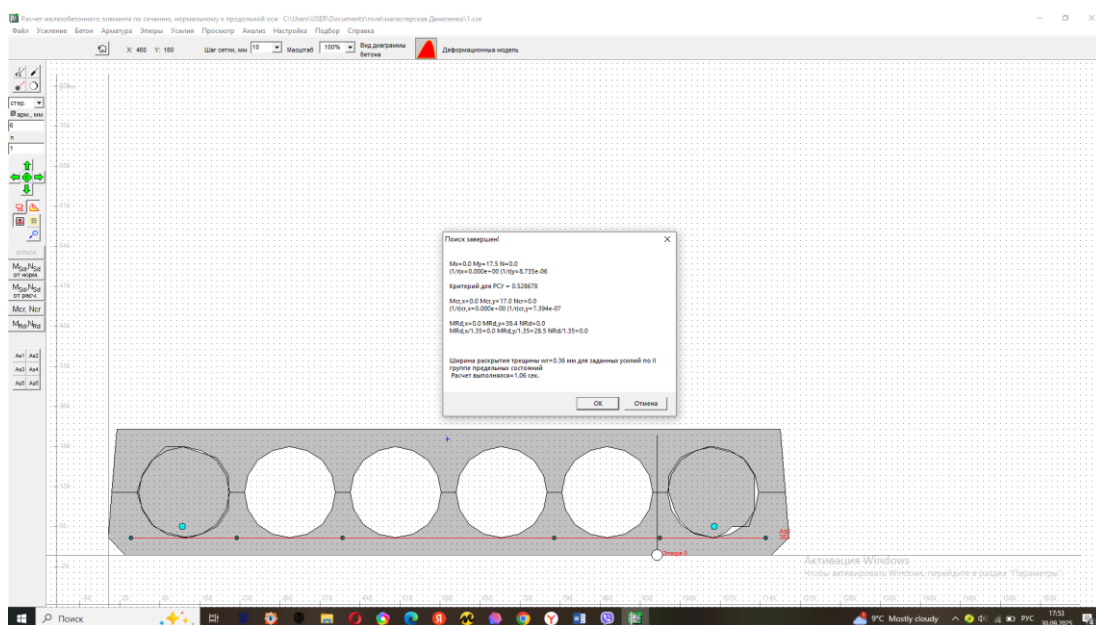


Рис. 5. Выбор параметров и результаты расчета плиты, усиленной 2Ø12

ПРОТОКОЛ

Расчет по сечению, нормальному к продольной оси элемента

Проектная прочность

MRd_x ,кНм	MRd_y ,кНм	NRd, кН
	38.43	0.00

I группа предельных состояний

Момент трещинообразования

Mcr_x ,кНм	Mcr_y ,кНм	Ncr, кН
	16.99	0.00

II группа предельных состояний

Заданные усилия от нормативной нагрузки

MSd_x ,кНм	MSd_y ,кНм	NSd, кН
	17.50	0.00

Ширина раскрытия нормальной трещины

wk, мм
0.36

II группа предельных состояний

Рис. 6. Протокол результатов испытания плиты, усиленной 2Ø12

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод, что усиление многопустотной железобетонной плиты ненапрягаемой композитной арматурой приводит к увеличению несущей способности на 8% при применении в качестве арматуры усиления $2\text{Ø}6\text{мм}$, и на 35% при применении $2\text{Ø}12\text{мм}$. Однако в обоих вариантах усиления трещиностойкость повышается лишь на $\approx 6\%$, что объясняется низким значением модуля упругости композитной арматуры, который существенно ниже, чем у стальной арматуры (в среднем 40 ГПа).

Расчеты показали, что применение ненапрягаемой стеклопластиковой арматуры эффективно для повышения несущей способности конструкции, но без значительного повышения трещиностойкости. То есть применение в качестве арматуры усиления композитных стержней без предварительного напряжения неэффективно.

Возможность использования стеклопластиковой 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 показан на рис. 7 и заключается в следующем: концы стержней фиксируются обетонированием и далее притягиваются к нижней грани пустот плиты с помощью струбцин или натяжных болтов, что и создает преднапряжение. Затем пустота с натянутой арматурой бетонируется.

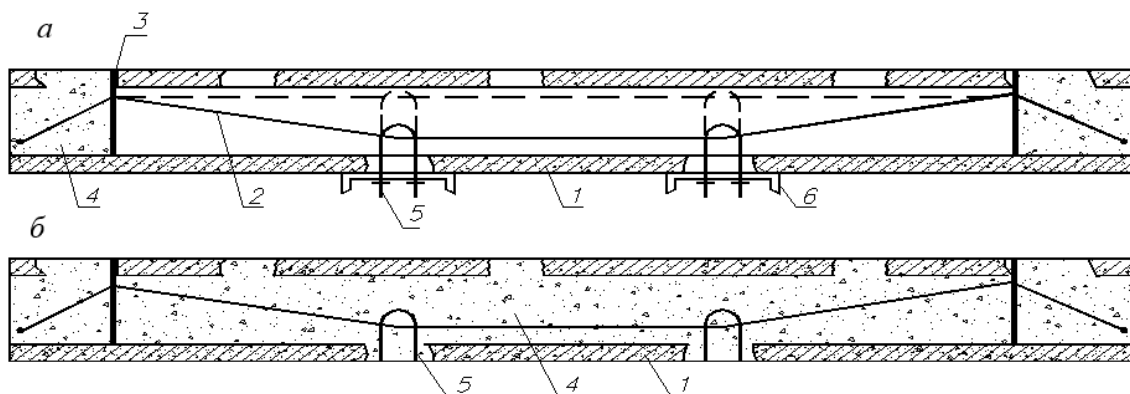


Рис. 7. Усиление сборных многопустотных плит предварительно напряженной арматурой:

- 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

Аналогичный вариант усиления возможен с использованием вместо стальной арматуры композитных стержней. Описанный выше метод усиления дает возможность выполнять предварительное напряжение стеклопластиковой арматуры, что позволяет решать задачу по использованию та-

ких свойств стеклопластиковой арматуры, как высокая прочность при относительно низком модуле упругости [2].

Для того чтобы оценить целесообразность варианта усиления многопустотных железобетонных плит с использованием стеклопластиковой арматуры, напрягаемой в пустотах конструкций, необходимо рассмотреть 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, установленной в пустоты конструкций, выполнен численный эксперимент с использованием программного комплекса «БЕТА» (УО «ПГУ»), целью которого ставилось определить влияние количества и диаметра стеклопластиковой арматуры, а также величины предварительного напряжения на несущую способность и трещиностойкость усиливаемой многопустотной плиты.

В процессе численного эксперимента моделировали усиление базового 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 (рис. 8).

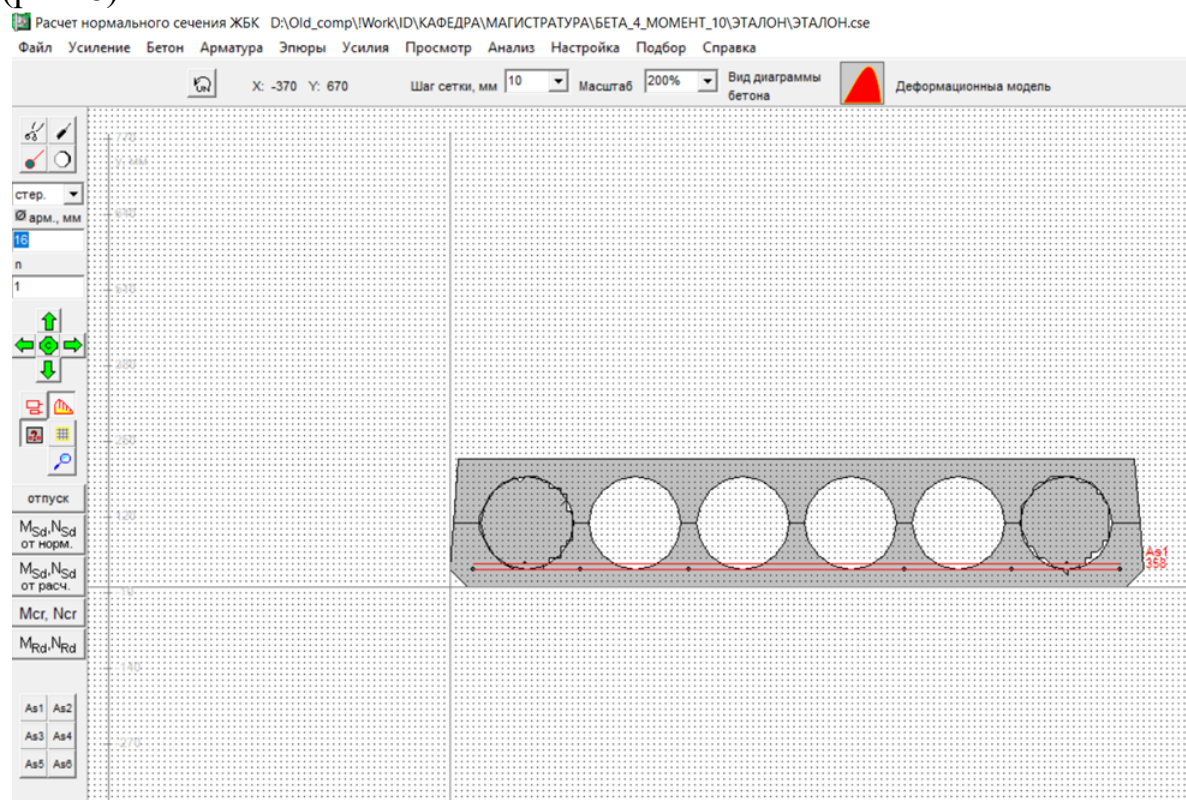


Рис. 8. Модель плиты с арматурой усиления

В процессе численного эксперимента варьировали следующими параметрами:

- количество и диаметр стеклопластиковой арматуры;
- величину предварительного напряжения арматуры усиления (рис. 9).

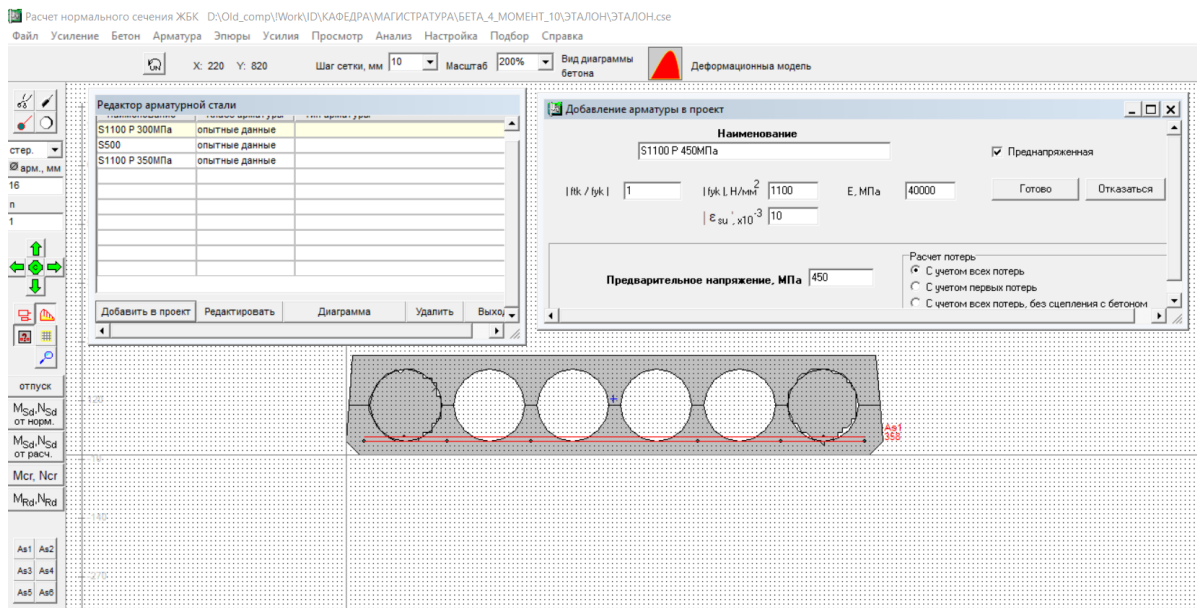


Рис. 9. Изменение характеристик материалов при выполнении расчета

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

- несущая способность конструкции M_{Rd} ;
- момент образования трещин M_{crc} ;

Для анализа влияния количества и диаметра стеклопластиковой арматуры, уровня ее предварительного напряжения 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;

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

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 $M_{Rd} = 36.0кН*м$ до $M_{Rd} = 86.0кН*м$, то есть в 2,4 раза. При этих же условиях момент трещинообразования плиты увеличился с $M_{crc} = 20.0кН*м$ до $M_{crc} = 32.0кН*м$, то есть трещиностойкость увеличилась в 1,6 раза. Результаты расчетов приведены в графической форме на рисунках 10 и 11.



Рис. 10. График зависимости несущей способности плиты от диаметра композитной арматуры усиления

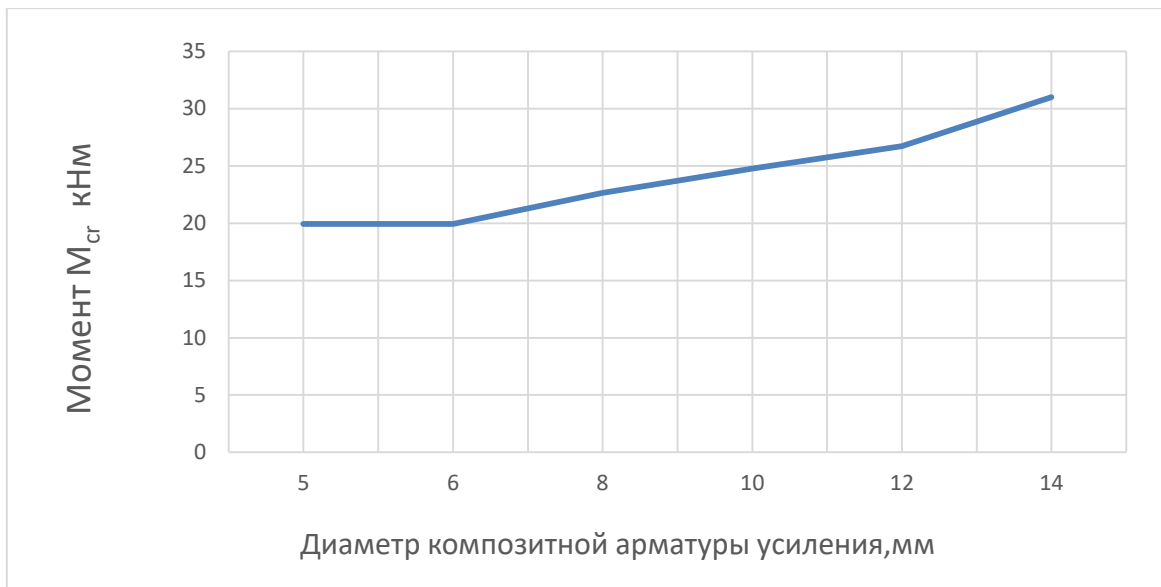


Рис. 11. График зависимости трещиностойкости плиты от диаметра композитной арматуры усиления

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. 12. 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.

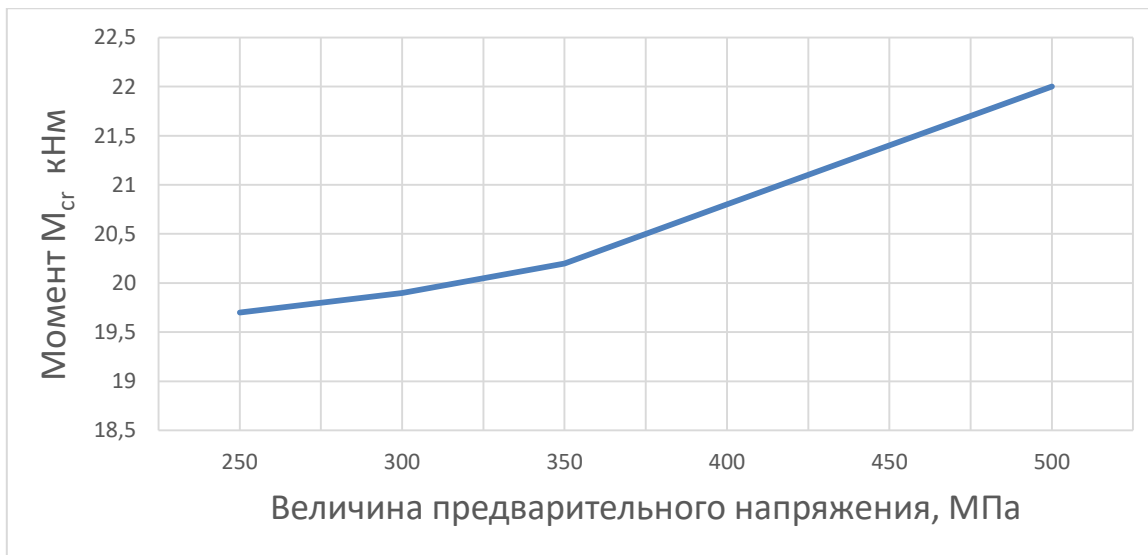


Рис. 12. График зависимости трещиностойкости плиты от величины предварительного напряжения композитной арматуры усиления

Закключение. Результаты численного эксперимента показали, что применение в качестве усиления стеклопластиковой арматуры бес преднапряжения существенно увеличивает ее несущую способность и практически не повышает трещиностойкость.

При применении в качестве арматуры усиления напрягаемой стеклопластиковой арматуры при увеличении ее диаметра с 5 мм до 14 мм с позволяет повысить несущую способность в 2,4 раза и повысить трещиностойкость в 1,4 раза. Повышение уровня предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры усиления с 250 МПа до 500 МПа приводит лишь к незначительному увеличению трещиностойкости (в 1,12 раза). Это можно объяснить сдерживающим влиянием основной стальной арматуры плиты, которая препятствует процессу полноценного обжатия бетона при предварительном напряжении стеклопластиковой арматуры.

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.