

DOI: 10.15593/2409-5125/2024.01.07

УДК 624.073

**Э.Н. Егерова, К.Д. Еловских**

Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет

## **МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ**

Рассматривается сбор нагрузок на ребристую плиту перекрытия и последующего усиления плиты в программном комплексе «Ли́ра САПР». Проведена экспертиза плиты перекрытия в рассматриваемом здании. Для устранения дефектов и продолжения эксплуатации здания было принято решение усилить плиту перекрытия. Были выбраны два способа усиления ребристой плиты перекрытия: 1) добавление дополнительных армированных стержней; 2) использование и установка дополнительных укрепляющих элементов, таких как стальные пластины, которые служат для улучшения структурной прочности здания. Выбор материалов для конструктивного усиления был сделан в пользу композитной арматуры и стальной пластины. На выбор повлияли эксплуатационные и климатические условия.

Представлено моделирование деформации плит под воздействием нагрузок, с учетом усиления выбранными материалами и способами усиления, в модуле «Ли́ра САПР». В процессе выполнения расчетов и моделирования, а также аналитического сравнения были выявлены преимущества и недостатки каждого метода усиления и выбранных материалов. Моделирование в «Ли́ра САПР» помогло наглядно показать возможные деформации плит, что сильно облегчило задачу сравнения методов усиления, анализ физических свойств и последующий выбор оптимального метода усиления.

Исходя из результатов моделирования деформации и анализа воздействия нагрузок, был выбран наиболее подходящий метод усиления ребристой плиты перекрытия, который оказался наиболее подходящим в заданных условиях эксплуатации здания и погодных условий местности, в которых находится рассматриваемый объект. Также в ходе анализа учитывались некоторые аспекты самих материалов, выбранных для данной ситуации.

**Ключевые слова:** ребристая плита перекрытия, композитные материалы, стальная пластина, деформация, усиление, коррозия, расчётный комплекс «Ли́ра САПР».

Сбор нагрузок на ребристую плиту перекрытия и последующего усиления плиты рассчитываются в программном комплексе «Ли́ра САПР».

Ребристая плита перекрытия – это конструкция, используемая в современном строительстве для создания монолитного перекрытия между этажами здания. Она состоит из железобетонной плиты с продольными и поперечными ребрами, которые придают ей большую прочность и устойчивость к нагрузкам. С помощью программного комплекса «Ли́ра САПР» [1] будет показано распределение нагрузки на плиту перекрытия.

При проведении натурального обследования двухэтажного гаража, имеющего прямоугольную форму без подвала, общей площадью 1200 м<sup>2</sup> и наружными размерами: 50 × 12 м [2] были выявлены следующие дефекты плит перекрытия:

- отпадение защитного слоя бетона;
- трещины полок;
- выпадение рустов;
- коррозия рабочей арматуры 27 %.

Для устранения дефектов и продолжения эксплуатации здания было принято решение усилить плиту перекрытия. Из-за вышеперечисленных факторов будут сравниваться два вида материалов и способов усиления ребристой плиты перекрытия.

Для усиления ребристой плиты перекрытия были выбраны два способа [3]:

1. Добавление дополнительных армированных стержней: установка дополнительных композитных стержней для усиления строительной конструкции и улучшения её жесткости.

2. Использование и установка дополнительных укрепляющих элементов, таких как анкеры, стержни и стальные пластины, которые служат для улучшения структурной прочности здания.

Для усиления ребристой плиты перекрытия при помощи стальных пластин часто используется метод укрепления с помощью внешнего армирования. Этот метод заключается в прикреплении стальных пластин к поверхности конструкции с целью увеличения её несущей способности и изгибной жесткости. Процедура усиления обычно выполняется следующим образом [4]:

1. Подготовка поверхности: поверхность бетона очищается от загрязнений, отслоившегося бетона и коррозии арматуры. Могут быть использованы различные методы подготовки, включая пескоструйную обработку, фрезерование или гидropескоструйную очистку.

2. Подгонка пластин: стальные пластины изготавливаются и подгоняются по размеру так, чтобы обеспечить необходимое покрытие и передачу нагрузки.

3. Применение анкерования: для обеспечения надежного соединения пластины с бетоном используют механическое анкерование или химические анкеры. Анкеры устанавливаются в просверленные отверстия в бетоне и затем заполняются клеящим составом.

4. Крепление пластины: после того как анкеры установлены и затвердевают, стальные пластины могут быть прикреплены к бетонной поверхности. Их фиксируют с помощью болтов в анкерах или иным подходящим методом.

5. Защита от коррозии: стальные пластины обрабатываются антикоррозийными средствами или покрываются защитным слоем, чтобы предотвратить дальнейшую коррозию.

6. Финишные работы: после установки пластин и анкеров поверх бетона и пластин может быть нанесен слой штукатурки или другой защитный материал для сокрытия конструктивных элементов и улучшения внешнего вида.

Усиление бетонных плит перекрытия с применением композитной арматуры – это современный метод укрепления, который использовался в последнее время все чаще как альтернатива усилению с помощью стальных пластин. Композитная арматура изготавливается из стеклопластиков, базальтопластиков или углепластиков, которые обладают рядом преимуществ [5]:

1. Легкий вес: композитная арматура имеет значительно меньший вес по сравнению со стальной, что облегчает транспортировку и установку.

2. Коррозионная стойкость: композитная арматура устойчива к коррозии в отличие от стальной, что делает ее идеальным выбором для строительства в условиях высокой влажности или химического воздействия.

3. Долговечность: композитная арматура долговечна и не подвержена ржавчине и коррозии, что увеличивает срок службы конструкций.

**Материалы и методы.** Плита 2ПГ6-3aVт (рис. 1) с габаритами: номинальная длина и ширина – 6000 × 1500 мм. Полная высота ребра, учитывая толщину полки, принимается равной  $h = l/20 = 6000/20 = 300$  мм. Ширина ребер плиты перекрытия внизу равна типовой 70 мм для обеспечения требуемой толщины защитного слоя бетона (рис. 1). Ширина ребер поверху равна 100 мм из условия наклона к вертикали грани ребра 1:10. Для снижения от сцепления при распалубке устраиваем закругления с радиусом не менее 50 мм в местах сопряжения ребер с верхней полкой. Возьмем расстояние от нижней грани ребра до центра напрягаемой арматуры, равное 30 мм. При ширине конструктивного зазора между торцами плит в 20 мм фактическая длина плиты равна  $6000 - 20 = 5980$  мм. Принимаем шаг поперечных ребер, равный ширине плиты [6].

Плита - П1

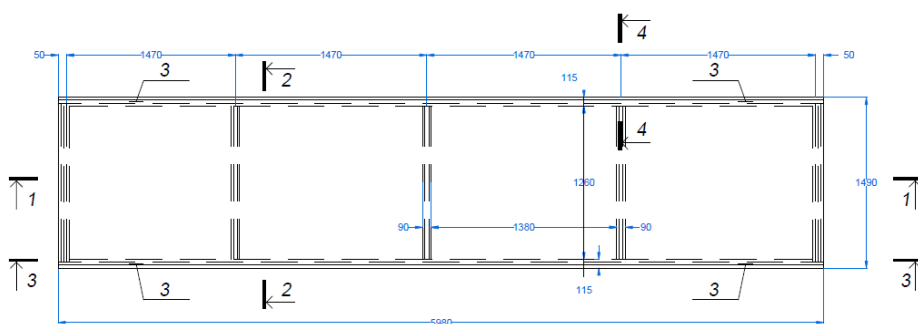


Рис. 1. Чертеж ребристой плиты перекрытия, вид сверху

Для расчетов необходимо собрать нагрузки на плиту перекрытия (табл. 1, 2).

Таблица 1

Нагрузки на плиты перекрытия на 1 м<sup>2</sup>

Вид нагрузки	Наименование	Нормативная нагрузка, Н/м <sup>2</sup>	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, Н/м <sup>2</sup>
Длительная	Нагрузка от пола $g_1$	1000	1,3	1300
	Нагрузка от собственного веса полки плиты ( $t_f = 50$ мм) $g_2$	1250	1,1	1375
	Временная длительная $v_1$	15 000	1,2	18 000
Кратковременная	Временная кратковременная $v_2$	1000	1,2	1200
Всего $q_1$				21 875

Таблица 2

Нагрузки для продольных ребер плиты, ригеля, колонны на 1 м<sup>2</sup>

Вид нагрузки	Наименование	Нормативная нагрузка, Н/м <sup>2</sup>	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, Н/м <sup>2</sup>
Длительная	Нагрузка от пола $g_1$	1000	1,3	1300
	Нагрузка от собственного веса плиты $g_3$	3000	1,1	3300
	Временная длительная $v_1$	15 000	1,2	18 000
Итого длительная		19 000		22 600
Кратковременная	Временная кратковременная $v_2$	1000	1,2	1200
Всего $q_2$		20 000		23 800

Расчет нагрузок выполняется в соответствии с СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

Для двух методов усиления плиты перекрытия строительного здания нагрузки будут одинаковы (рис. 2, 3).

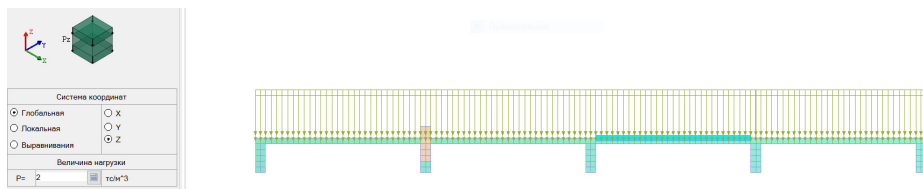


Рис. 2. Нагрузки для плиты перекрытия, усиленной дополнительным армированием

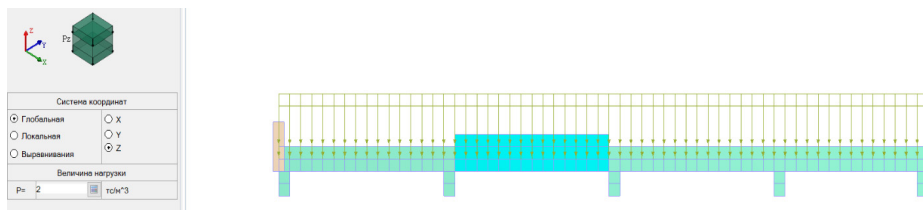


Рис. 3. Нагрузки для плиты перекрытия, усиленной стальной пластиной [7]

Нагрузки для поперечного ребра [8] ребристой плиты перекрытия рассчитываются с целью обеспечения надежности и долговечности конструкции.

Расчет нагрузок важен по нескольким причинам:

1. Прочность. Расчет позволяет определить способность ребра выдерживать приложенные к нему нагрузки без разрушения. Это включает в себя как постоянные нагрузки (вес самой конструкции плиты, стены и др.), так и временные (люди, мебель, снег, ветер).

2. Устойчивость. Оценка устойчивости позволяет гарантировать, что ребро не потеряет устойчивость и не произойдет его выворачивание или боковой изгиб под действием нагрузок.

3. Деформации. Важно обеспечить, чтобы деформации ребер и плиты в целом оставались в допустимых пределах, чтобы не нарушить нормальное использование здания и не повредить отделку или инженерные системы.

4. Трещиностойкость. Расчеты также направлены на обеспечение контроля за возникновением и распространением трещин в бетоне, что особенно важно для обеспечения долговечности конструкции и защиты арматуры от коррозии.

5. Экономичность. Определение оптимальных размеров ребер позволяет сделать конструкцию не только прочной и долговечной, но и экономичной за счет сокращения расходов на материалы и упрощения процесса строительства.

Для нашей плиты перекрытия получим следующие нагрузки для поперечного ребра, кН/м:

$$q'_2 = g(0,675 + 0,675) = 21,875 \cdot 1,35 = 29,531. \quad (1)$$

На рис. 4 найдем характеристики для плиты, усиленной композитной арматурой.

Имя	Описание			
<input checked="" type="checkbox"/> Арм. БД (A240)	СП 63.13330.2012/2018			
Объемный вес: 7.90280065057894	тс/м <sup>3</sup>	Коэффициент демпфир. α= 0	1/с β= 0	с
Тип материала	Нестальная арматура			▼
Класс арматуры	Стеклокомпозитная (АСК)			▼
Наименование свойств	Обозначение свойств	Значение свойств		Единицы измерения
Модуль упругости	$E$	5.0898E+08		тс/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	$\nu$	0.28		
Коэффициент температурного расширения	$\alpha$	1.2E-05		
Расчетное сопротивление продольной арматуры на растяжение	$R_L$	54385		тс/м <sup>2</sup>
Расчетное сопротивление поперечной арматуры на растяжение	$R_{tw}$	30581		тс/м <sup>2</sup>
Расчетное сопротивление арматуры на сжатие	$R_{sc}$	0		тс/м <sup>2</sup>
Нормативная прочность арматуры на растяжение	$R_m$	81577		тс/м <sup>2</sup>
Максимальный размер (в мм)	$max$	32		
Минимальный размер (в мм)	$min$	4		
Коэффициент теплопроводности	$K$	58		Вт/(м*С)
Удельная теплоемкость	$C$	460		кДж/(т*С)
Доступные диаметры (в мм)	$d$	4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 25 28 32		
Коэффициент снижения сопротивления растяжению при длительном действии...	$\gamma_{II}$	0.3		
Среднее значение модуля сдвига	$G$	2.1244E+06		тс/м <sup>2</sup>

Рис. 4. Параметры композитной арматуры

1... Статическое нагружение  
min=-0.8751 (332); max=0.2412 (30)

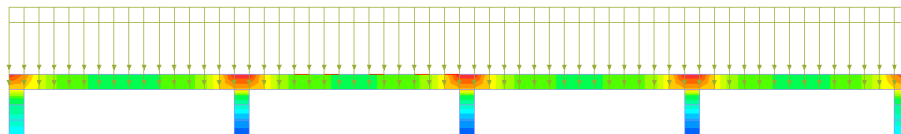


Рис. 5. Моменты полки ребристой плиты перекрытия

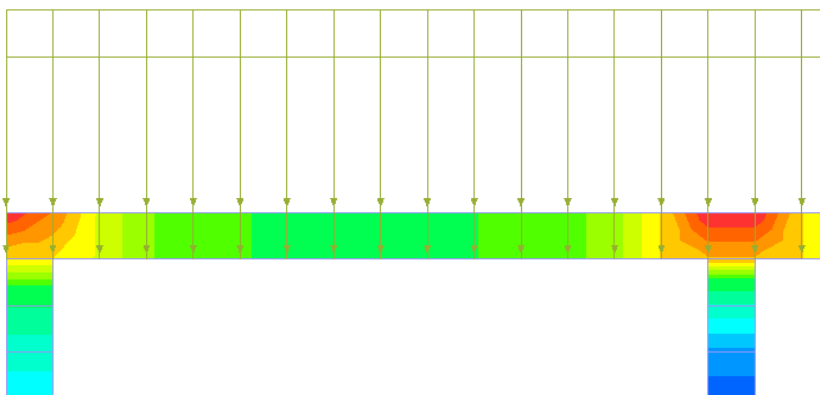


Рис. 6. Нагрузки на полку плиты перекрытия [9]

$$M_1 = \frac{q_1 \cdot l^2}{48} = \frac{21,875 \cdot 1,205^2}{48} = 0,71 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2)$$

Изгибающие моменты для ребристой плиты перекрытия (рис. 5, 6) считаются для обеспечения нужд прочностного анализа и дизайна этой конструкции. В строительной инженерии и архитектуре расчет изгибающих моментов (формула (3)) играет ключевую роль в дизайне безопасных и эффективных зданий и сооружений. Вот несколько основных причин, для чего нужно считать изгибающие моменты для ребристой плиты перекрытия:

1. Определение прочности и деформации. Расчеты помогают определить, сможет ли конструкция выдерживать ожидаемые нагрузки без чрезмерной деформации или риска разрушения. Изгибающий момент (формулы (5), (6)) показывает, какие участки плиты будут испытывать наибольшее напряжение и изгиб, что критически важно для проектирования.

2. Дизайн арматуры. Знание магнитуд изгибающих моментов (формулы (7), (8)) необходимо для правильного подбора арматуры, ее диаметра, количества и распределения в ребристой плите. Это обеспечивает достаточную прочность и устойчивость конструкции к нагрузкам в течение всего срока службы.

На рис. 7 изображен изгибающий момент в середине поперечного ребра, где находится его максимальное значение.

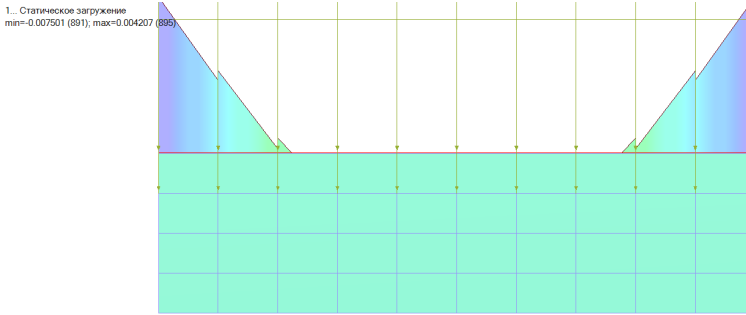


Рис. 7. Изгибающий момент в середине поперечного ребра

$$M_2 = \frac{q_2 \cdot l_{02}^2}{8} + \frac{q_2' \cdot l_{02}^2}{12} = \frac{2,5 \cdot 1,255^2}{8} + \frac{27,45 \cdot 1,255^2}{12} = 3,99 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (3)$$

$$Q_2 = \frac{q_2 \cdot l_{02}}{2} + \frac{q_2' \cdot l_{02}}{4} = \frac{2,5 \cdot 1,255}{2} + \frac{27,45 \cdot 1,255}{4} = 10,18 \text{ кН}. \quad (4)$$

Моменты на продольное ребро ребристой плиты перекрытия изображены на рис. 8.

1. Статическое нагружение  
min=-2.581 (21), max=1.819 (533)

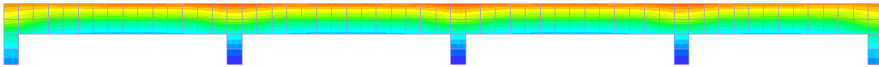


Рис. 8. Моменты на продольное ребро ребристой плиты перекрытия

$$M_3 = \frac{q_3 \cdot l_{03}^2}{8} = \frac{36,38 \cdot 5,45^2}{8} = 135,07 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (5)$$

$$M_{3l} = \frac{q_{3l} \cdot l_{03}^2}{8} = \frac{34,94 \cdot 5,45^2}{8} = 129,73 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (6)$$

$$M_{3n} = \frac{q_{3n} \cdot l_{03}^2}{8} = \frac{23,97 \cdot 5,45^2}{8} = 89,0 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (7)$$

$$M_{3nl} = \frac{q_{3nl} \cdot l_{03}^2}{8} = \frac{22,77 \cdot 5,45^2}{8} = 84,54 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (8)$$

Характеристики для усиления стальной пластиной изображены на рис. 9.



Материал из базы данных : Стальной прокат из базы данных : Ст. пр. бд (C245)				
Имя	Описание			
<input checked="" type="checkbox"/> Ст. пр. бд (C245)	СП 16.13330.2011			
Объемный вес 7.85004002386136	тс/м <sup>3</sup>	Коэффициент демпфир. $\alpha = 0$	1/с $\beta = 0$ с	
Имя таблицы	ГОСТ 27772-88			
Класс стали	C245			
Наименование свойств	Обозначение свойств	Значение свойств		Единицы измерения
Тип стального проката	Тип проката	фасонный / фасонный / листовый / листовый		
Временное сопротивление	$R_{m}$	37729		тс/м <sup>2</sup>
Предел текучести	$R_{p0.2}$	24983 / 23963 / 24983 / 23963		тс/м <sup>2</sup>
Модуль упругости	$E$	2.1008E+07		тс/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	$\nu$	0.3		
Среднее значение модуля сдвига	$G$	8.0558E+06		тс/м <sup>2</sup>
Коэффициент температурного расширения	$\alpha$	1.2E-05		
Относительное удлинение	$\delta_5$	25 / 24 / 25 / 24		%
Коэффициент материала	$\gamma_m$	1.025		
Минимальный размер (в мм)	$t_{min}$	2 / 20.1 / 2 / 20.1		
Максимальный размер (в мм)	$t_{max}$	20 / 30 / 20 / 30		
Коэффициент теплопроводности	$K$	58		Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Удельная теплоемкость	$C$	460		кДж/(т <sup>2</sup> ·°C)

Рис. 9. Параметры стальной пластины

Расчеты по первым предельным состояниям (ППС) необходимы в строительстве для обеспечения прочности и устойчивости конструкций зданий и сооружений. Первые предельные состояния относятся к критериям, которые должны быть соблюдены, чтобы предотвратить разрушение конструктивных элементов под действием рабочих нагрузок. Эти расчеты направлены на гарантирование безопасности использования здания в течение всего срока его службы.

Вот основные цели и причины, по которым выполняются расчеты по первым предельным состояниям:

1. Обеспечение прочности конструкций. Расчеты помогают убедиться, что все элементы конструкции способны выдерживать максимальные ожидаемые нагрузки без разрушений. Это включает в себя вес самой конструкции, нагрузки от эксплуатации (люди, мебель, оборудование), природные нагрузки (снег, ветер, землетрясения) и другие возможные воздействия.

2. Предотвращение чрезмерных деформаций. Деформации, вызванные нагрузками, должны оставаться в пределах допустимых норм. Чрезмерные деформации могут привести не только к дискомфорту пользователей здания, но и к повреждению отделочных материалов, инженерных систем или даже к разрушению конструкций.

3. Исключение потери устойчивости. Конструкции должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключить их потерю устойчи-

вости под воздействием нагрузок, что может привести к внезапному обрушению. Примерами таких ситуаций могут служить выворачивание колонн или боковой изгиб балок.

4. Контроль трещинообразования. В бетонных и кирпичных конструкциях важно контролировать возникновение и распространение трещин, чтобы обеспечить долговечность и сохранение несущей способности.

5. Обеспечение экономичности проектов. Проведение тщательных расчетов позволяет оптимизировать размеры и количество используемых строительных материалов, тем самым снижая затраты на строительство при сохранении необходимых уровней безопасности и функциональности.

Расчеты по первым и вторым предельным состояниям для плиты перекрытия со стальным прокатом:

– для расчетов по первым предельным состояниям:

$$q = 12,43 \cdot 1,5 \cdot 0,95 = 17,72 \text{ кН/м.}$$

– расчетов по вторым предельным состояниям:

$$q_{tot} = 10,36 \cdot 1,5 \cdot 0,95 = 14,77 \text{ кН/м; длительная } ql = 7,86 \cdot 1,5 \cdot 0,95 = 11,20 \text{ кН/м.}$$

На рис. 10 изображено усилие на поперечное ребро со стальной пластиной.

Теперь рассчитаем усилия по первым и вторым предельным состояниям для плиты перекрытия с композитной арматурой. Они необходимы для сравнения, помощи в анализе и последующего выбора метода усиления перекрытия.

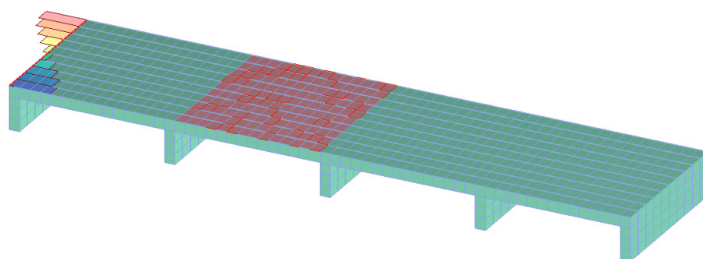
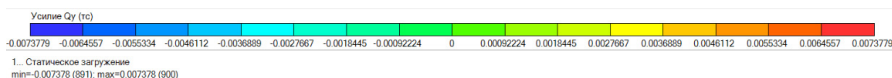


Рис. 10. Усилие на поперечное ребро со стальной пластиной

Расчетные усилия [10]:

– для расчетов по первым предельным состояниям:

$$M = ql^2/8 = 16,45 \cdot 5,8752/8 = 70,97 \text{ кН}\cdot\text{м} \quad (9)$$

$$Q = ql/8 = 16,45 \cdot 5,875/2 = 48,32 \text{ кН} \quad (10)$$

– для расчетов по вторым предельным состояниям:

Расчет изгибающего момента вдоль осей координат  $x$  и  $y$   $M_x$  и  $M_y$  в плите следующие:

$$M_x = (q \cdot l^2)/8 = (17,22 \cdot 5,98^2)/8 = 75,97 \text{ кН}; \quad (11)$$

$$M_y = (q \cdot l^2)/8 = (17,22 \cdot 1,50^2)/8 = 4,84 \text{ кН}, \quad (12)$$

где  $q$  – нагрузка на плиту,  $\text{кН}/\text{м}^2$ ,  $l$  – длина стороны плиты, м.

Определение прочности бетона при усилении плиты перекрытия является важным аспектом в процессе усиления и ремонта конструкций. Это необходимо:

1. Для оценки текущего состояния конструкции. Прежде чем начать любые работы по усилению, важно точно знать текущую прочность бетона плиты перекрытия. Это помогает определить, насколько конструкция ослаблена и какой тип усиления будет наиболее подходящим.

2. Выбора метода усиления. Существуют различные методы усиления плит перекрытия, включая установку дополнительных арматурных конструкций, использование внешнего напряжения, нанесение слоев композитных материалов (например, углеволокно) и так далее. Знание прочности бетона помогает инженерам определить, какой метод будет наиболее эффективным и экономичным.

3. Проектирования усиления. Для эффективного усиления плиты перекрытия необходимы точные расчеты, которые учитывают не только нагрузку, которую плита должна будет выдерживать после усиления, но и её начальную прочность. Эти расчеты критически важны для обеспечения надежности и долговечности конструкции после усиления.

4. Обеспечения безопасности. Понимание прочности бетона необходимо для обеспечения того, чтобы усиленная плита перекрытия соответствовала всем строительным нормам и стандартам безопасности. Это обеспечивает не только долговечность конструкции, но и безопасность людей, находящихся в здании.

5. Экономической эффективности. Точное знание прочности бетона позволяет разрабатывать решения по усилению, которые не приводят к излишним тратам. Это помогает избежать как недостаточного усиления, так и избыточных затрат на перестраховку.

Прочность бетона обычно выражается как характеристика сопротивления бетона разрушению под действием нагрузки. Обычно это значение обозначается как  $f_c$  или  $f_c'$ .

Прочность бетона зависит от многих факторов, включая пропорции компонентов бетонной смеси, водоцементное соотношение, тип цемента и возраст бетона. Для нормальных условий прочность бетона обычно указывается через 28 дней [11].

Формула для расчета прочности бетона обычно выглядит следующим образом:

$$f_c = 0,85 \cdot f_c',$$

где  $f_c$  – прочность бетона в условиях конструкции;  $f_c'$  – прочность бетона через 28 дней. Коэффициент 0,85 используется для учета надежности и безопасности конструкции, характеристик используемого материала и других факторов. Прочность бетона класса В20, из которого выполнена плита, через 28 дней: 261,8 кг/см<sup>2</sup>, 25,69 МПа. Тогда  $f_c = 0,85 \cdot 261,8 = 222,53$  кг/см<sup>2</sup> = 21,83 МПа.

На рис. 11 изображено армирование полки ребристой плиты перекрытия.

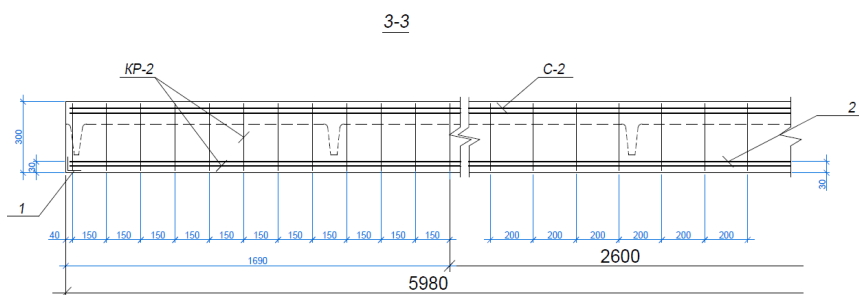


Рис. 11. Армирование полки ребристой плиты перекрытия

Армирование при усилении ребристой плиты перекрытия играет критически важную роль в обеспечении прочности, долговечности и безопасности конструкции. Ребристые плиты перекрытия применяются для создания больших пролетов и обеспечения высокой несущей

способности при сравнительно небольшом весе конструкции. Армирование является необходимым при усилении этих плит и влияет на многие факторы, такие как:

Увеличение несущей способности. В первую очередь, армирование направлено на увеличение прочности плиты, позволяющей выдерживать большие нагрузки. В случае ребристых плит перекрытия, где нагрузки распределены по рёбрам, армирование помогает распределить эти нагрузки более равномерно и увеличить общую несущую способность перекрытия.

Компенсация износа материала. С течением времени конструктивные элементы могут подвергаться износу, коррозии, трещинообразованию из-за внешних и внутренних воздействий. Добавление армирования в ребристую плиту может компенсировать эти недостатки и увеличить срок службы конструкции.

Повышение сейсмической стойкости. В сейсмоактивных регионах особенно важно уделять внимание усилению конструкций для повышения их устойчивости к землетрясениям. Армирование позволяет плите перекрытия лучше адсорбировать и распределять силы, возникающие во время сейсмических активностей.

Обеспечение долговечности при изменении назначения здания. Если происходит изменение предназначения здания, что может влечь за собой изменение типа и величины нагрузок на перекрытия, усиление армированием поможет адаптировать существующие конструкции под новые требования без необходимости полного перестроения.

Улучшение распределения нагрузок. Армирование повышает способность конструкции распределять локальные нагрузки по большей площади, тем самым снижая вероятность локального разрушения.

Ликвидация трещин. В процессе эксплуатации в бетонных и ребристых плитах могут появляться трещины. Армирование помогает ограничить развитие трещин и предотвратить дальнейшее распространение имеющихся.

Необходимо рассчитать площадь продольной арматуры ( $A_s$ ) (рис. 11). Для этого используется формула:

$$A_s = n \cdot \pi/4 \cdot d^2$$

$A_s = 3,14159/4 \cdot 56 \cdot 1,6^2 = 112,6$ , где приняты следующие обозначения:  $A_s$  – площадь продольной арматуры;  $n$  – количество стержней;  $\pi = 3,14159$ ;  $d$  – диаметр стержня. Коэффициент влияния арматуры

обычно обозначается как  $k$  и определяется как отношение эффективной площади сечения арматуры к общей площади поперечного сечения бетонного элемента. Формула для расчета коэффициента влияния арматуры обычно выглядит следующим образом:

$$k = A_s / A_c$$

$k = 112,6/1085 = 0,104$ , здесь приняты следующие обозначения:  $k$  – коэффициент влияния арматуры;  $A_s$  – эффективная площадь сечения арматуры;  $A_c$  – общая площадь поперечного сечения бетонного элемента:  $A_c = 147 \cdot 5 + 25 \cdot 14 = 1085 = 0,1085$ .

Теперь, зная  $A_s$  и  $A_c$ , находим предельную гибкость плиты (ФМп) (рис. 12, 13):

$$\Phi_{Mn} = W \cdot f \cdot k = 0,02979 \cdot 0,104 \cdot 222,53 = 0,689 \text{ см.}$$

1... Статическое нагружение

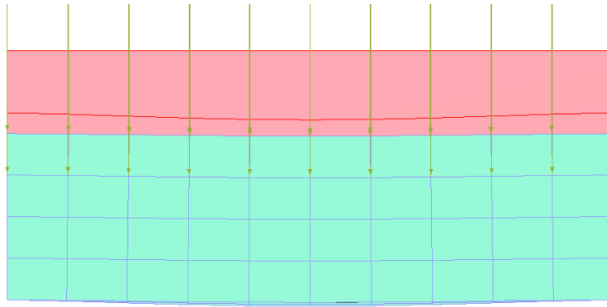


Рис. 12. Изгиб ребристой плиты перекрытия, усиленной композитными стержнями

1... Статическое нагружение

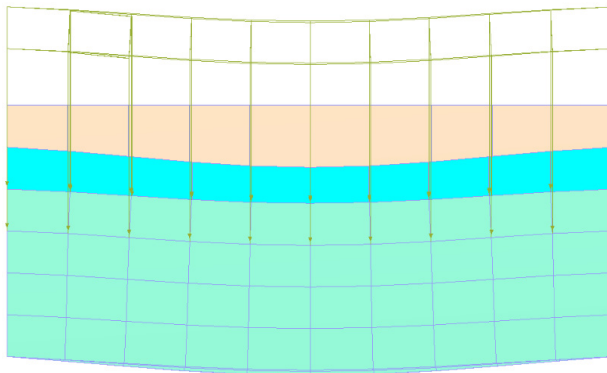


Рис. 13. Изгиб ребристой плиты перекрытия, усиленной стальной пластиной

**Выводы.** Методы усиления плит перекрытия с применением дополнительной арматуры и стальных пластин являются основными способами восстановления или увеличения несущей способности бетонных конструкций. Оба метода имеют свои преимущества и ограничения, и выбор метода обычно зависит от конкретных условий проекта, технических требований и экономических соображений.

Усиление дополнительной арматурой [12]:

1. Прочность: дополнительная арматура, как правило, работает вместе с существующей арматурой, увеличивая прочность плиты посредством совместной работы старой и новой арматуры (рис. 14).

2. Долговечность: использование традиционной стальной арматуры для усиления может подвергать её риску коррозии, если не принимаются соответствующие меры по защите от коррозии.

3. Бетонные работы: для укладки дополнительной арматуры часто необходимо проводить дополнительные бетонные работы, что может быть более трудоемко.

4. Время и стоимость: может потребоваться больше времени на установку и может быть дороже из-за необходимости в дополнительных строительных работах и материалах [13].

Усиление стальной пластиной (или листом) [14]:

1. Быстрота монтажа: установка стальных пластин, как правило, быстрее и проще, поскольку пластины крепятся к поверхности существующей конструкции с помощью анкеров или клеевых составов.

2. Низкое вмешательство: усиление стальными пластинами обычно требует меньше изменений в существующей конструкции по сравнению с установкой дополнительной арматуры.

3. Прочность и жесткость: стальные пластины значительно увеличивают жесткость элемента и его способность противостоять изгибающим моментам, однако их эффективность зависит от качества соединения с бетоном (рис. 15).

4. Коррозионная стойкость: стальные пластины подвержены коррозии, особенно в коррозионной среде, и могут потребовать дополнительной защиты [15].

Усиление ребристой плиты перекрытия в двухэтажном гараже лучше выполнить с помощью дополнительного армирования композитной арматурой. Выбор сделан на основе численных расчетов (формулы (11), (12)) и моделирования деформации плиты (рис. 16) при двух спо-

собах усиления рассматриваемой плиты перекрытия, а также учитывая некоторые аспекты самих материалов, таких как вес материала. При усилении стальной плитой вес конструкции увеличивается, что приводит к увеличению нагрузок.

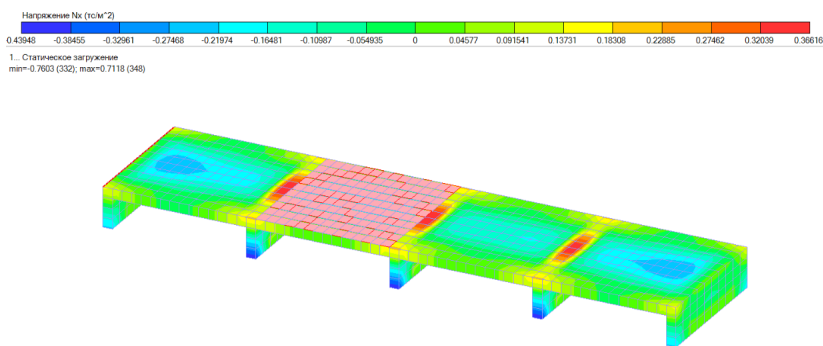


Рис. 14. Нагрузки на плиту перекрытия, при усилении композитной арматурой

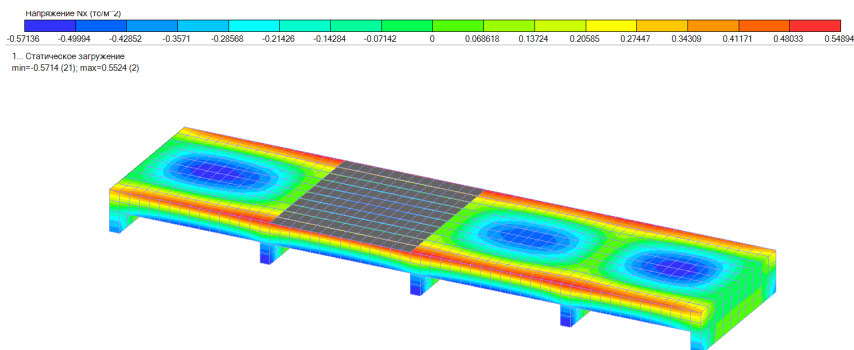


Рис. 15. Нагрузки на плиту перекрытия, при усилении стальной пластиной

Композитная арматура (см. рис. 4) (изготовленная из стекловолокна) обладает высокой прочностью на разрыв по сравнению со сталью.

Из-за увеличения веса плита со стальной пластиной (см. рис. 9) сильнее деформируется (рис. 16, 17).

Срок службы: композитной арматуре не страшны коррозия и химическое воздействие, что делает ее идеальным выбором для использования в агрессивных средах. Стальные пластины со временем могут подвергаться коррозии, что сократит их срок службы. В рассматриваемом случае, из-за того, что гараж периодически затапливается, то композитная арматура наилучший вариант.



1... Статическое нагружение

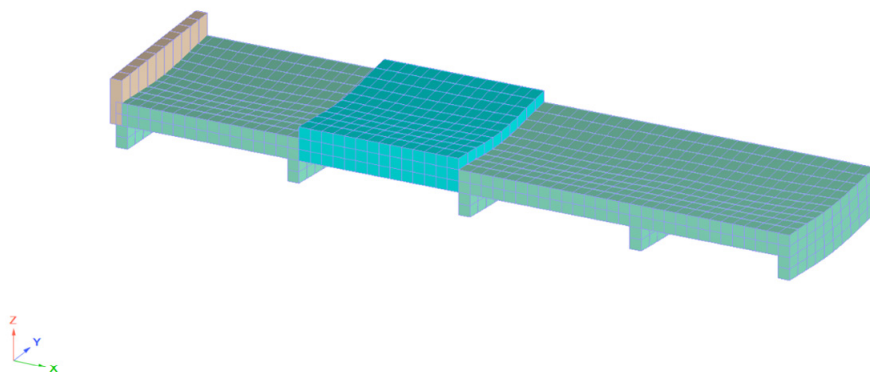


Рис. 16. Деформация плиты со стальной пластиной

1... Статическое нагружение

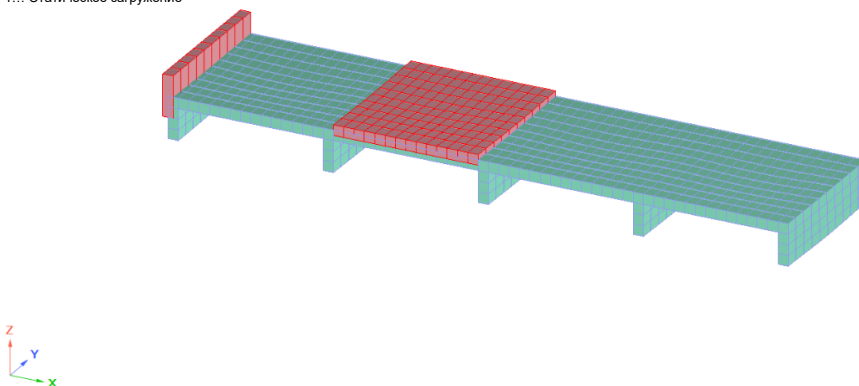


Рис. 17. Деформация плиты с композитным армированием

А также:

– Временные рамки проекта: методы, требующие большего вмешательства в существующую конструкцию, могут повлечь за собой более длительное время восстановительных работ и выведение объекта из эксплуатации на время ремонтных работ.

– Адаптивность: усиление дополнительной арматурой может быть более гибко адаптировано к неправильным или неравномерным формам плит, тогда как стальные пластины требуют более равномерных и плоских поверхностей для эффективного применения.

– Воздействие на конструкцию: у усиления арматурой есть риск повреждения существующего бетона при вырезке канавок или сверле-

нии, в то время как стальные пластины могут быть прикреплены с минимальным вмешательством.

– Высота конструкции: усиление стальными пластинами практически не увеличивает высоту плиты перекрытия, тогда как использование дополнительной арматуры может увеличить толщину слоя бетона.

– Стоимость: использование композитных арматурных материалов может быть дороже изначально, но оно может предложить лучшую долгосрочную стоимость с учетом меньших затрат на ремонт и обслуживание, в отличие от усиления стальными пластинами, которое может быть более рискованным с точки зрения коррозии.

Учитывая все вышеперечисленные факторы, показывается, что усиление ребристой плиты перекрытия в двухэтажном гараже способом дополнительного армирования композитными материалами является наиболее подходящим, по сравнению с усилением ребристой плиты перекрытия в строительной конструкции стальной пластиной [16].

#### Библиографический список

1. Куликова, О.Ю. Моделирование ребристых плит перекрытий в системе Лира САПР / О.Ю. Куликова, А.С. Васильев // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2018.
2. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures // ACI Committee 440 / American Concrete Institute. – 2002.
3. FRP–Strengthened RC Structures / J.G. Teng, J.F. Chen, S.T. Smith, L. Lam. – John Wiley & Sons, 2002.
4. Rathinavelu, R. Extraction, Characterization and Suitability Examination of *Tinospora Cordifolia* (TC) Fibers for Their Applicability as Reinforcement in Composite Materials / R. Rathinavelu, E. Arumugam, S. Solaiachari // Materials Today: Proceedings. – 28 September 2023.
5. Quantitative assessment of bonding between steel plate and reinforced concrete structure using dispersive characteristics of lamb waves / Ying-Tzu Ke, Chia-Chi Cheng, Yung-Chiang Lin, Chi-Luen Huang, Keng-Tsang Hsu // NDT & E International – 1 March 2019. – Vol. 102. – P. 311–321.
6. Design and fabrication of optimised ribbed concrete floor slabs using large scale 3D printed formwork / J. Burger, T. Huber, E. Lloret-Fritsch, J. Mata-Falcón, F. Gramazio, M. Kohler // Automation in Construction. – 25 December 2022. – Vol. 144, no 104599.
7. Numerical investigation of the mechanical behavior of segmental tunnel linings reinforced by a steel plate – Concrete composite structure / X. Liu, Yi. Liu, Z. Jiang, J. Wang, H.A. Mang // Engineering Structures. – 1 February 2023. – Vol. 276, no. 115350.
8. Flexural behavior of composite ribbed slabs employing cold-formed steel lipped channels / D.C. Candido, A.V. Gomes, L.F. Favarato, J.A. Ferrareto, J.C. Vianna, A.F. Calenzani // Engineering Structures. – 1 January 2024. – Vol. 298, no. 117070.
9. Муленкова, В.И. Расчет и конструирование усиления железобетонных и каменных и конструкций: учеб. пособие / В.И. Муленкова, Д.В. Артюшин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 118 с.
10. Егерева, Э.Н. Эффективность применения различного вида стальных ферм / Э.Н. Егерева, К.А. Морозова // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2022. – Т. 1, № 1049. – С. 58–61.
11. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2011. – 524 с.

12. Сергеев, В.С. Композиционные материалы в строительстве / В.С. Сергеев. – Госстройиздат, 2013.
13. Hollaway, L. Progress in the Technique of Upgrading Metallic Structures with Advanced Polymer Composites / L. Hollaway, J. Cadei // Progress in Structural Engineering and Materials. – 2002.
14. Seo, J. Non-contact lap splice connections for steel-plate composite walls – to – reinforced concrete structures / J. Seo, A.H. Varma, K. Zhang // Engineering Structures. – 2021. – Vol. 246, no. 112954.
15. Investigations on the corrosion of 316L steel composite materials with MgO/TiO<sub>2</sub> ceramic immersed in molten cryolite / C. Weigelt, S. Yaroshevskiy, F. Kerber, N. Brachhold, T. Zienert, A. Adamczyk, D. Vogt, A. Charitos, C.G. Aneziris // Open Ceramics. – 2023. – Vol.16.
16. Egereva, E. Formation and implementation of urban policy using the example of Saransk, Russia / E. Egereva, A. Barmenkov // International Scientific Conference Topical Problems of Green Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2019) /E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 164, no. 11024. – P. 1–12.

### References

1. Kulikova O.Yu., Vasiliev A.S. Modeling of ribbed floor slabs in the Lira CAD system // Bulletin of the Amur State University named after Sholom Aleichem. – 2018.
2. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures // ACI Committee 440/ American Concrete Institute. – 2002.
3. Teng J.G., Chen J.F., Smith S.T., Lam, L. FRP-Strengthened RC Structures. John Wiley & Sons. – 2002.
4. Rathinavelu R., Arumugam E., Solaiachari S. Extraction, Characterization and Suitability Examination of Tinospora Cordifolia (TC) Fibers for Their Applicability as Reinforcement in Composite Materials // Materials Today: Proceedings. – 2023.
5. Ke Y.T., Cheng C.C., Lin Yu.C., Huang C.L., Hsu K.T. Quantitative assessment of bonding between steel plate and reinforced concrete structure using dispersive characteristics of lamb waves // NDT & E International. – 2019. – Vol.102. – P.311–321.
6. Burger J., Huber T., Lloret-Fritsch E., Mata-Falcón J., Gramazio F., Kohler M. Design and fabrication of optimised ribbed concrete floor slabs using large scale 3D printed formwork // Automation in Construction. – 2022. – Vol.144, no. 104599.
7. Liu X., Liu Yi., Jiang Z., Wang J., Mang H.A. Numerical investigation of the mechanical behavior of segmental tunnel linings reinforced by a steel plate // Concrete composite structure. Engineering Structures. – 2023. – Vol. 276, no. 115350.
8. Candido D.C., Gomes A.V., Favarato L.F., Ferrareto J.A., Vianna J.C., Adenílcia F.G. Flexural behavior of composite ribbed slabs employing cold-formed steel lipped channels // Engineering Structures. – 2024. – Vol. 298, no. 117070.
9. Mulenkova V.I. Calculation and design of reinforcement of reinforced concrete and stone structures: textbook the manual / V.I. Mulenkova, D.V. Artyushin. – Penza: PGUAS. – 2014. – 118 p.
10. Egereva E.N., Morozova K.A. The effectiveness of using various types of steel trusses. BST: Bulletin of construction machinery. – 2022. – Vol.1, no.1049. – P. 58–61.
11. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. –M.: DIA, 2011–524 p.
12. Sergeev V.S. Composite materials in construction. Gosstroyizdat. – 2013.
13. Hollaway L., Cadei J. Progress in the Technique of Upgrading Metallic Structures with Advanced Polymer Composites/ Progress in Structural Engineering and Materials. – 2002.
14. Seo J., Varma A.H., Zhang K. Non-contact lap splice connections for steel-plate composite walls - to - reinforced concrete structures // Engineering Structures. 1 November 2021. – Vol. 246, no.112954.
15. C. Weigelt, S. Yaroshevskiy, F. Kerber, N. Brachhold, T. Zienert, A. Adamczyk, D. Vogt, A. Charitos, C.G. Aneziris. Investigations on the corrosion of 316L steel composite materials with MgO/TiO<sub>2</sub> ceramic immersed in molten cryolite // Open Ceramics. – 25 December 2023. – Vol. 16.

16. Egereva E., Barmenkov A. Formation and implementation of urban policy using the example of Saransk, Russia // International Scientific Conference Topical Problems of Green Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2019) / E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol.164, no. 11024 – P.1–12.

**E. Egereva, K. Elovskikh**

## **METHODS OF REINFORCEMENT OF A RIBBED FLOOR SLAB**

The article considers the collection of loads on a ribbed floor slab and subsequent reinforcement of the slab in the Lira CAD software package. An examination of the floor slab in the building in question was carried out. In order to eliminate defects and continue the operation of the building, it was decided to strengthen the floor slab. Two ways of reinforcing the ribbed floor slab were chosen: 1) the addition of additional reinforced rods; 2) the use and installation of additional reinforcing elements, such as steel plates, which serve to improve the structural strength of the building. The choice of materials for structural reinforcement was made in favor of composite reinforcement and steel plate. The choice was influenced by operational and climatic conditions. Modeling of plate deformation under the influence of loads, taking into account reinforcement by selected materials and reinforcement methods, in the Lira CAD module is presented. In the process of performing calculations and modeling, as well as analytical comparison, the advantages and disadvantages of each reinforcement method and the selected materials were identified. Modeling in Lira CAD helped to visually show the possible deformations of the plates, which greatly facilitated the task of comparing reinforcement methods, analyzing physical properties and then choosing the optimal reinforcement method. Based on the results of deformation modeling and load impact analysis, the most appropriate method of reinforcing the ribbed floor slab was chosen, which turned out to be the most suitable under the specified operating conditions of the building and the weather conditions of the area in which the object in question is located. Also, during the analysis, some aspects of the materials themselves selected for this situation were taken into account.

**Keywords:** ribbed floor slab, composite materials, steel plate, deformation, reinforcement, corrosion, Lira CAD calculation complex.

**Егерова Эльвира Николаевна** (Москва, Российская Федерация) – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры строительной и теоретической механики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва, 129337, Ярославское шоссе, 26, e-mail: egerevaen@mail.ru).

**Еловских Кирилл Дмитриевич** (Москва, Российская Федерация) – студент Института промышленного и гражданского строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва, 129337, Ярославское шоссе, 26, e-mail: kirill.elovskikh@gmail.com).

**Elvira Egereva** (Moscow, Russian Federation) – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction and Theoretical Mechanics, National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, 129337, Moscow, e-mail: egerevaen@mail.ru).

**Kirill Elovskikh** (Moscow, Russian Federation) – Student of the Institute of Industrial and Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, 129337, Moscow, e-mail: kirill.elovskikh@gmail.com).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов** равноценен.

Поступила: 23.01.2024

Одобрена: 15.02.2024

Принята к публикации: 11.03.2024

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Егерёва, Е.Н. Методы усиления ребристой плиты перекрытия / Е.Н. Егерёва, К.Д. Еловских // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2024. – № 1. – С. 98–118. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.01.07

Please cite this article in English as: Egereva E., Elovskikh K. Methods of reinforcement of a ribbed floor slab. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2024, no. 1, pp. 98-118. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.01.07