УДК 69.04

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ ФИБРОБЕТОНА И АРМИРОВАННОГО БЕТОНА НА ПРИМЕРЕ РИГЕЛЯ

♦♦♦♦♦

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRENGTH OF INCLINED SECTIONS OF FIBROCRETE AND REINFORCED CONCRETE USING THE EXAMPLE OF A BOLT

Долгополов Василий Евгеньевич
старший преподаватель
кафедры архитектуры
гражданских и промышленных зданий имени А.В. Титова,
Кубанский государственный
технологический университет
dolgopolov_v@icloud.com

Гежина София Владимировна
студентка 3 курса направления «Строительство»,
Кубанский государственный
технологический университет
karakulyak@gmail.com

Аннотация. В статье приведен анализ и сравнительные вычисления характеристик прочности армированного бетона и фибробетона, в частности, углеродного бетона, на примере загруженного ригеля (неразрезной балки) многопролетного здания.

Ключевые слова: фибробетон, железобетон, неразрезная балка, ригель.

Dolgopolov Vasily Evgenievich
Senior lecturer at the Department
of Architecture of Civil and Industrial
Buildings named after A.V. Titov,
Kuban State Technological University
dolgopolov_v@icloud.com

Gezhina Sofia Vladimirovna
3rd year Student
in the field of «Construction»,
Kuban State Technological University
karakulyak@gmail.com

Annotation. The article provides an analysis and comparative calculations of the strength characteristics of reinforced concrete and fibrocrete, in particular, carbon concrete, using the example of a loaded crossbar (continuous beam) of a multi-span building.

Keywords: fibrocrete, reinforced concrete, continuous beam, crossbar.

Современное строительство постоянно ищет пути для повышения прочности и долговечности конструкций, и одним из таких направлений является применение новых строительных материалов. Углеродистый фибробетон – это инновационный материал, который привлекает внимание благодаря своим уникальным свойствам, однако его использование на практике пока что ограничено. В отличие от него, железобетон уже много десятилетий является стандартом в строительстве благодаря своей надежности и широкому распространению [1]. Железобетон зарекомендовал себя как идеальный строительный материал для создания прочных и устойчивых конструкций. Его использование распространилось по всему миру, и он доказал свою эффективность в самых различных условиях. Тем не менее, разработка новых технологий и материалов, таких как углеродистый фибробетон, открывает новые горизонты для архитекторов и инженеров.

Чтобы выяснить, на сколько целесообразно по механическим свойствам, а конкретнее – прочности по сечениям, наклонным к продольной оси, использовать новый материал – фибробетон с применение углеродных волокон – по сравнению с железобетоном, рассмотрим ригель многопролетного многоэтажного здания в виде неразрезной балки.

Зададимся начальными значениями и конструктивной схемой здания (рис. 1).

Общие значения для вычисления (рис. 2):

– Ширина ригеля: b = 0,2 м;
– Высота ригеля: $h_0 = 0{,}54$;
– Ширина колонны: $h_{col} = 0{,}4$ м;
– Полная расчетная нагрузка на ригель: q = 100 кН/м;

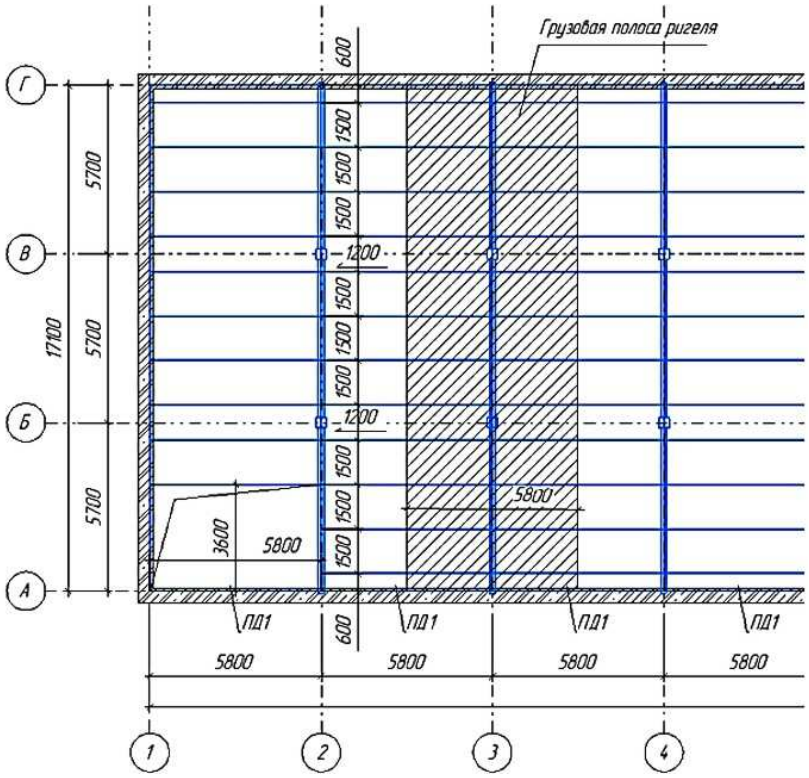

Рисунок 1 – Конструктивная схема здания

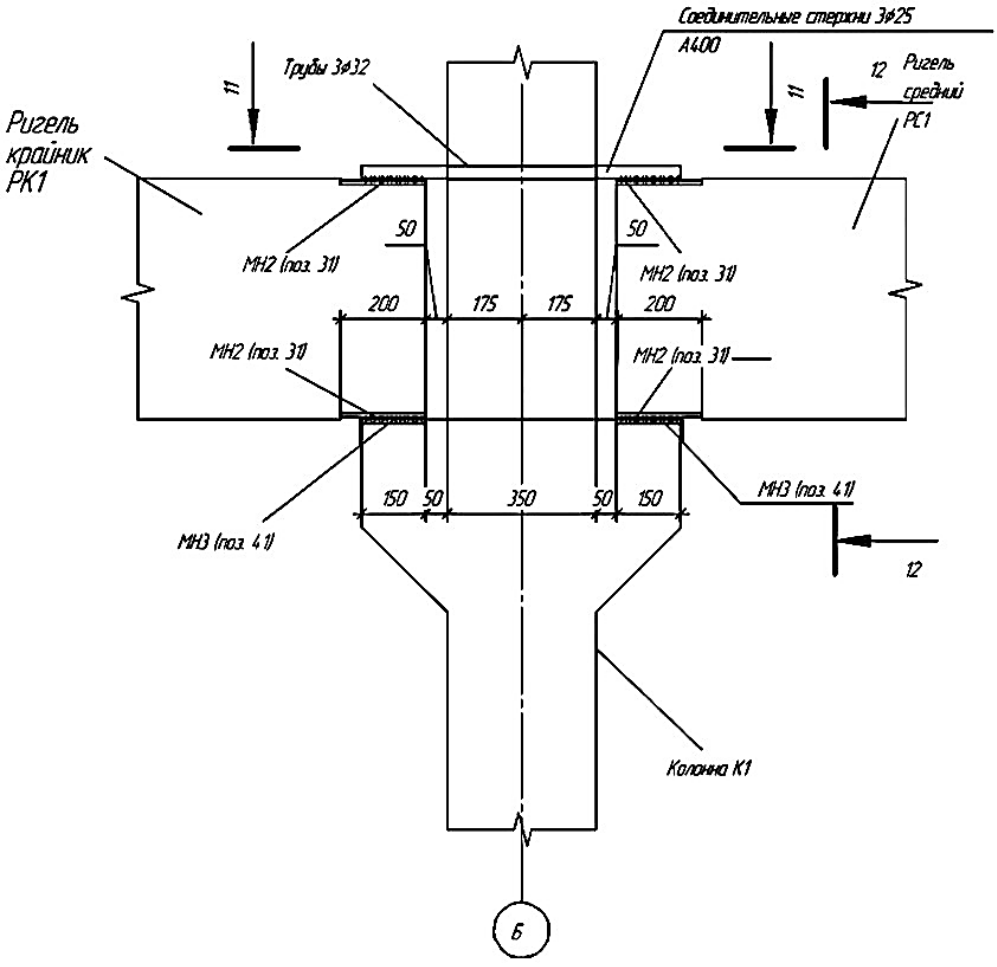

Рисунок 2 – Стык ригеля с колонной

Действие поперечной силы на опоре (колонне Б-3): Q = 350 кН.

Для железобетонного ригеля:

– Бетон класса В25: расчетное сопротивление бетона осевому растяжению бетона Rbt = 1,05 МПа; расчетное сопротивление бетона осевому сжатию бетона Rb = 14,5 МПа;

– Ненапрягаемая арматура класса А240 (поперечная) ∩8, шаг 100 мм: расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению для предельных состояний первой группы Rsw = 170 МПа.

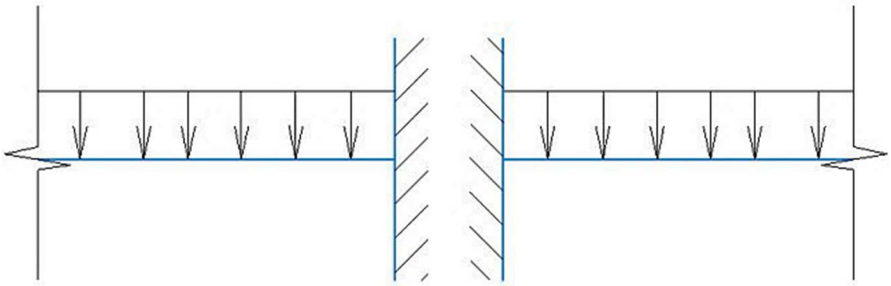

Рисунок 3 – Стык ригеля с колонной эквивалентная схема

Рассмотрим значения для армированного бетона и узнаем прочность наклонных сечений в неразрезной балке (ригеле).

Величина максимальных поперечных сил у грани колонны при размере поперечного сечения колонны $h_{col} = 0{,}4$ м составляет:

$$Q^{\text{гр}} = Q - 0{,}5 \cdot h_{col} \cdot q = 350 - 0{,}5 \cdot 0{,}4 \cdot 100 = 330 \text{ кН}.$$

Для бетона:

$$Q = Q^{\text{гр}} - q \cdot h_0 = 330 - 100 \cdot 0{,}54 = 276 \text{ кН} < 0{,}3 \cdot 14{,}5 \cdot 10^3 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54 = 465{,}68 \text{ кН},$$

то есть прочность наклонной полосы на сжатие обеспечена.

Расчет элементов по наклонному сечению на действие поперечной силы:

Определим усилие в поперечной арматуре q_{sw} на единицу длины элемента:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_{w,\text{оп}}} = \frac{170 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 0{,}5025 \cdot 10^{-4}}{0{,}1} \cdot 10^{-3} = 256{,}28 \text{ кН/м}.$$

Определим длину проекции наиболее опасного наклонного сечения C:

$$\sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{100 \cdot 10^3}} < \frac{2 \cdot 0{,}54}{1 - 0{,}5 \cdot \frac{256{,}28 \cdot 10^3}{1{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2}},$$

$$0{,}96 \text{ м} < 2{,}75 \text{ м}.$$

Условие выполняется, следовательно:

$$C = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{0{,}75 \cdot 256{,}28 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}} = 0{,}56 \text{ м}.$$

Вычислим поперечную силу, воспринимаемую бетоном Q_b

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{C} = \frac{1{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{0{,}56} = 161{,}70 \text{ кН}.$$

$$Q_{b,\,min} \le Q_b \le Q_{b,\,max},$$

$$Q_{b,\,min} = 0{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54 = 56{,}2;$$

$$Q_{b,\,max}\, 2{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54 = 281{,}01;$$

$$56{,}20 \text{ кН} \le 161{,}70 \text{ кН} \le 281{,}01 \text{ кН}.$$

Условие выполняется, для дальнейших расчетов принимаем Q_b.

Вычисление поперечной силы, воспринимаемой хомутами Q_{sw}:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} \cdot q_{sw} \cdot C \quad = 0{,}75 \cdot 256{,}63 \cdot 0{,}56 = 107{,}28 \text{ кН}.$$

Проверяем условие, принимая поперечную силу от внешней нагрузки в нормальном сечении на расстоянии C от опоры:

$$Q = Q_{\text{В}}^{\text{гр л}} - q \cdot C = 321{,}70 - 100 \cdot 0{,}56 = 267{,}28 \text{ кН},$$

$$Q_b + Q_{sw} = 167{,}78 + 81{,}68 = 268{,}98 \text{ кН} > 267{,}28 \text{ кН}.$$

Прочность наклонных сечений на опоре обеспечена.

Рассмотрим значения для углеродного бетона и узнаем прочность наклонных сечений в неразрезной балке (ригеле).

Преимущества использования углеродной фибры для бетона: повышается прочность бетона на сжатие от 40 до 60 %; повышается прочность бетона на растяжение при изгибе от 100 до 200 % (в зависимости от прочности матрицы) [2];

Тогда:

$$\text{R}_{\text{bt}} = 1{,}05 \cdot 1{,}40 = 1{,}47 \text{ МПа},$$

$$\text{R}_{\text{b}} = 14{,}5 \cdot 2 = 29 \text{ Мпа},$$

$$C = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 1{,}47 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{100 \cdot 10^3}} = 0{,}36\text{м},$$

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{C} = \frac{1{,}5 \cdot 1{,}47 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{0{,}36} = 357{,}21 \text{ кН},$$

$$Q_b = 357{,}21 > 267{,}28 \text{ кН}.$$

По результатам вычислений можно увидеть, что использование углеродного бетона для ригеля многопролетного многоэтажного здания является целесообразным в данном проекте ввиду того, что он выдерживает наклонные поперечные усилия на опоре.

Литература

1. Павозков Д.В. Бетон: универсальный материал, применяемый в современном строительстве. – Т. : Весник науки, 2025. – 592 с.
2. Голова Т.А. Фибробетон на основе углеродного волокна для строительства / Т.А. Голова, Н.В. Андреева, А.Д. Жуков. – Г. : Colloquium-journal, 2019. – 2 с.

References

1. Pavozkov D.V. Concrete: universal material used in modern construction. – T. : Science Herald, 2025. – 592 p.
2. Golova T.A. Fibroblast based on carbon fiber for construction / T.A. Golova, N.V. Andreeva, A.D. Zhukov. – G. : Colloquium-journal, 2019. – 2 p.