

Дзюба В. А., Чепизубов И. Г., Дун Гоцай
V. A. Dzyuba, I. G. Chepizubov, Dun Gotsay

ЭФФЕКТИВНОЕ АРМИРОВАНИЕ МНОГОЭТАЖНЫХ РАМ С УЧЁТОМ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

EFFICIENT REINFORCEMENT OF MULTISTORY FRAMES CONSIDERING WIND LOADS

Дзюба Виктор Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, д. 27. E-mail: dzyuba456@mail.ru.

Viktor A. Dzyuba – PhD in Engineering, Associate Professor, Construction and Architecture Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Komsomolsk-on-Amur, Lenin St., 27. E-mail: dzyuba456@mail.ru.

Чепизубов Игорь Геннадьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, советник Российской академии архитектуры и строительных наук (Россия, Москва). E-mail: 8054585@mail.ru.

Igor G. Chepizubov – PhD in Engineering, Leading Researcher at the Institute of Physics and Technology of the Russian Academy of Natural Sciences, Adviser to the Academy of Natural Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences (Russia, Moscow). E-mail: 8054585@mail.ru.

Дун Гоцай – магистрант кафедры «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, д. 27. E-mail: donguocai@qq.com.

Dun Gotsay – Master's Degree Student, Construction and Architecture Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Komsomolsk-on-Amur, Lenin St., 27. E-mail: donguocai@qq.com.

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния ветровых нагрузок на армирование ригелей монолитных рам различной этажности. Установлен характер армирования ригелей для 9-этажной и 25-этажной рамы при совместном действии вертикальных и ветровых нагрузок. Выяснено, что при большой этажности ригели нижних этажей следует армировать дополнительной рабочей арматурой в зоне опорных сечений как со стороны верхних волокон, так и со стороны нижних волокон. В середине пролёта, где моменты от ветровой нагрузки близки к нулю, армирование нижних пролётных волокон остаётся традиционным.

Summary. The results of studies of the effect of wind loads on the reinforcement of crossbars of monolithic frames of various floors are presented. The nature of reinforcement of crossbars for 9-storey and 25-storey frames under the combined action of vertical and wind loads has been established. It was found out that with a large number of floors, the crossbars of the lower floors should be reinforced with additional working fittings in the area of the support sections from both the upper fibers and the lower fibers. In the middle of the span, where the moments from the wind load are close to zero, reinforcement of the lower span fibers remains traditional.

Ключевые слова: монолитная рама, ветровая нагрузка, сочетание усилий, огибающая эпюра, армирование, изгибающий момент.

Key words: monolithic frame, wind load, combination forces, envelope plot, reinforcement, bending moment.

УДК 624.94.012.45

Введение. Каркасные конструктивные схемы являются основой современного городского строительства. Возможность иметь большие неперегораживаемые помещения, гибкую планировку определяет заинтересованность заказчика именно в таких зданиях. Несущая система в этом случае является рамной, т. к. представлена многоэтажными и в большинстве случаев монолитными рамами. Прочность несущей системы может обеспечиваться и по рамно-связевой схеме за счёт вклю-

чения в работу дополнительных вертикальных несущих конструкций – ядер и диафрагм жёсткости [1–3]. Исследование поведения монолитных рам под нагрузкой представляет значительный научный и практический интерес, позволяя получать эффективные проектные решения несущих систем зданий [4; 5].

Постановка задачи исследования. Многоэтажные монолитные рамы испытывают действие постоянных нагрузок и различных комбинаций вертикальных временных нагрузок. Особое значение приобретает воздействие знакопеременной ветровой нагрузки, которая должна учитываться в сочетании с вертикальными нагрузками. Этажность здания играет существенную роль в напряжённо-деформированном состоянии элементов рам, т. к. при большом количестве этажей усилия от горизонтальной нагрузки начинают превалировать над усилиями от вертикальных нагрузок, значительно меняя характер армирования. Поэтому в данной работе исследовано поведение под нагрузкой двух многоэтажных рам: 9-этажной и 25-этажной.

Выполнение исследований. Программа исследований включала в себя расчёт усилий, анализ особенностей армирования ригелей рам различной этажности при совместном действии всех нагрузок (см. рис. 1).

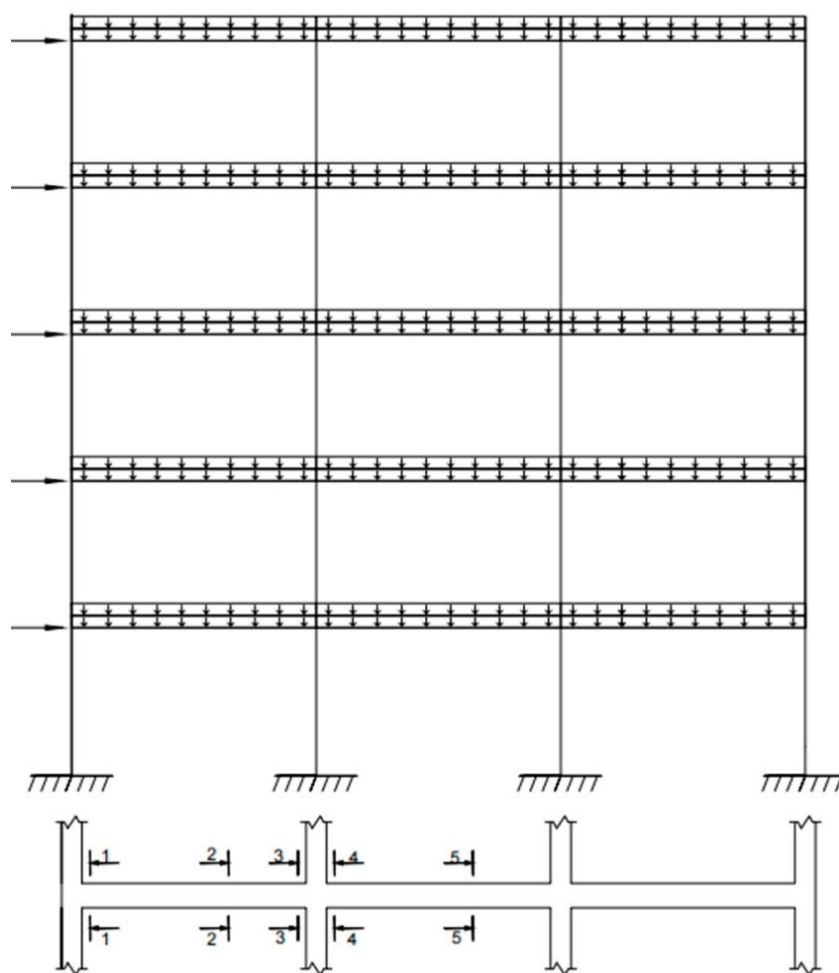


Рис. 1. Нагрузки, действующие на поперечную раму, и расчётные сечения ригеля

Определение изгибающих моментов и поперечных сил в элементах рам производилось приближёнными способами. При вычислении усилий от вертикальных нагрузок использована программа «Rigel» [6], позволяющая находить усилия в сечениях ригеля при различных комбинациях нагружений и строить огибающие эпюры M и Q . Алгоритм данной программы реализует известные положения [3]. Так, опорные моменты вычисляются по формулам $M = \alpha \cdot g \cdot l_b^2$ и

$M = \beta \cdot v \cdot l_b^2$, где g и v – соответственно постоянная и временная нагрузки; α , β и l_b – соответственно коэффициенты, зависящие от соотношения погонных жёсткостей колонн и ригелей, и расчётный пролёт. Изгибающий момент в любом пролётном сечении x равен (например, при известных для второго пролёта опорных моментах M_{23} и M_{32})

$$M_x = M_{23} + \frac{M_{32} - M_{23}}{l_b} \cdot x + \frac{g \cdot x \cdot (l_b - x)}{2}.$$

Огибающая эпюра моментов от действия постоянной нагрузки и различных схем вертикальных временных нагрузок приведена на рис. 2.

Расчёт ветровой нагрузки выполнялся в соответствии с основными положениями свода правил «Нагрузки и воздействия» [7]. Основную ветровую нагрузку, действующую на здание, определяли как сумму средней составляющей и пульсационной составляющей. Для 25-этажного здания эквивалентная высота z_e определялась из условия $h > 2d$, а для 9-этажного здания – из условия $d < h \leq 2d$ [7]. Величина ветрового давления соответствовала городу Хабаровску и принималась по нормам проектирования [7].

При вычислении пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки w_g на эквивалентной высоте z_e учитывали коэффициент пульсации давления ветра $\zeta(z_e)$ в зависимости от эквивалентной высоты z_e и коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра v . Для 25-этажного здания пульсационная составляющая определялась с учётом коэффициента динамичности ξ , т. к. первая частота собственных колебаний была меньше предельного значения частоты собственных колебаний [7]. Для 9-этажного здания первая частота собственных колебаний превышала предельное значение частоты собственных колебаний, поэтому коэффициент динамичности ξ при вычислении пульсационной составляющей для этого здания не учитывался [8]. По найденным значениям средней составляющей и пульсационной составляющей определяли основную ветровую нагрузку.

Усилия в элементах рамы от ветровой нагрузки также определяли приближённым методом, изложенным в работе [3], в следующем порядке: распределённую ветровую нагрузку приводили к узловой по соответствующим грузовым площадям, далее определяли ярусные поперечные силы и поперечные силы в колоннах яруса, распределяя ярусную поперечную силу между колоннами яруса в соответствии с соотношением изгибных жёсткостей. Затем находили моменты в колоннах, полагая нулевую точку моментов расположенной в середине высоты этажа, и изгибающие моменты в ригелях из условия равновесия узлов.

Для анализа армирования выполняли расчёт второго яруса рам. Рассматривались три опорных сечения и два пролётных. Для опорных сечений вычислялись моменты по граням колонн (см. рис. 1). На рис. 2 и 3 приведены расчётные эпюры изгибающих моментов для второго этажа 9- и 25-этажных рам. На рис. 2 и 3, *a* и *б* обозначены эпюры моментов при действии ветровой нагрузки справа налево и слева направо. На рис. 2 и 3, *в* показаны ординаты огибающей эпюры от вертикальных нагрузок. При проектировании каркасов необходимо учитывать сочетания усилий от действия постоянных, вертикальных временных и ветровых нагрузок. На рис. 2 и 3, *г* приведены такие сочетания для рам разной этажности.

Анализ суммарной эпюры сочетаний моментов от горизонтальных и вертикальных нагрузок (см. рис. 2, *г*) для 9-этажной рамы позволяет сделать вывод, что в этом случае сохраняется обычное традиционное армирование ригеля рамы с рабочей арматурой в нижних волокнах пролётных сечений и верхних волокнах опорных сечений (см. рис. 4, *a*). При этом за счёт знакопеременной ветровой нагрузки опорные моменты в верхних волокнах несколько увеличиваются, а моменты в нижних волокнах остаются прежними.

Особенность сочетания усилий в высотном здании заключается в том, что моменты от горизонтальной нагрузки доминируют над моментами от вертикальной нагрузки. Рассмотрим суммарную эпюру сочетаний моментов для 25-этажной рамы при совместном действии знакопеременной ветровой и вертикальной постоянной и временной нагрузок.

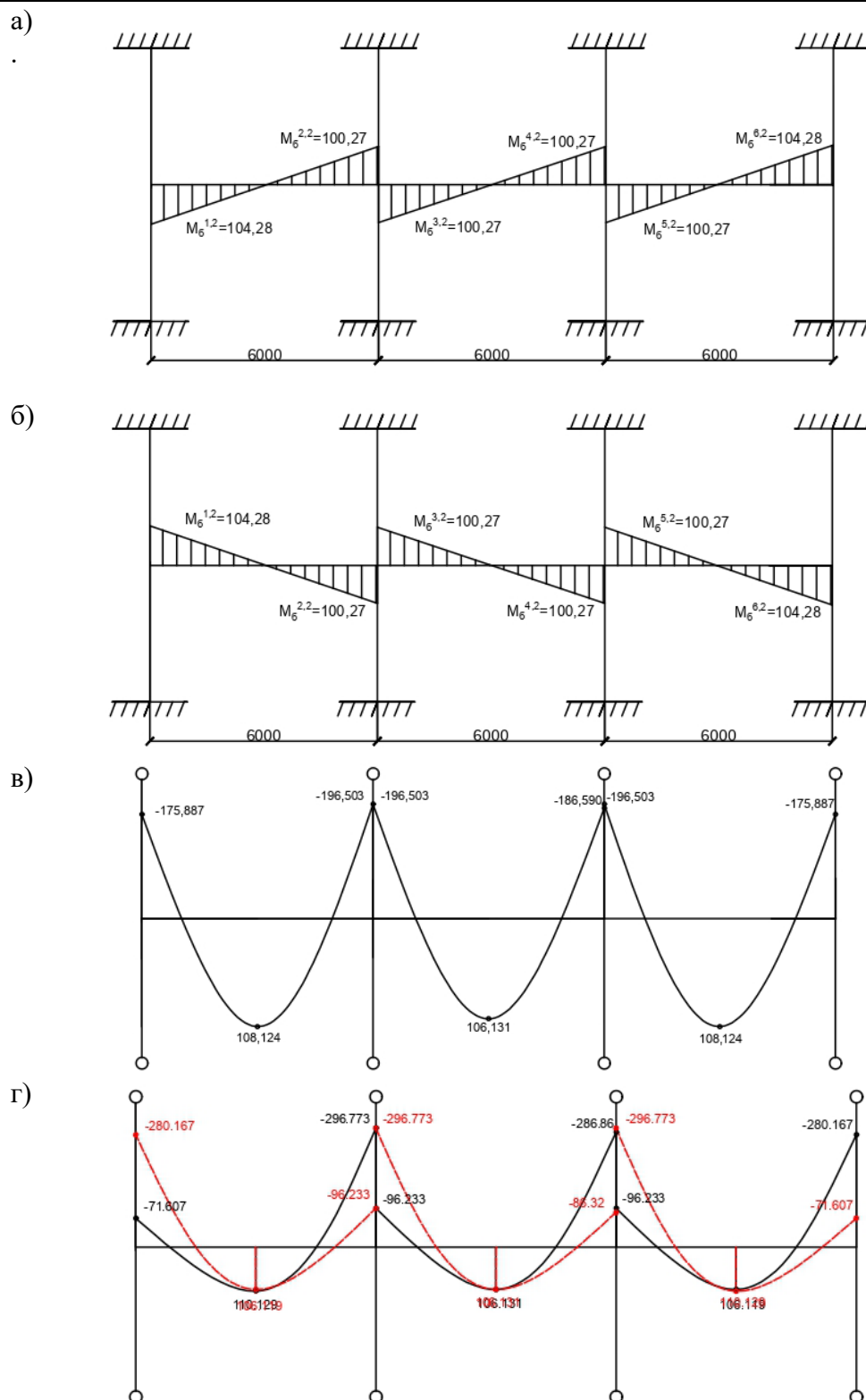


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов от знакопеременной ветровой нагрузки (а, б), огибающая эпюра моментов от вертикальной нагрузки (в) и суммарная эпюра сочетаний моментов от горизонтальных и вертикальных нагрузок (г) для 9-этажной рамы

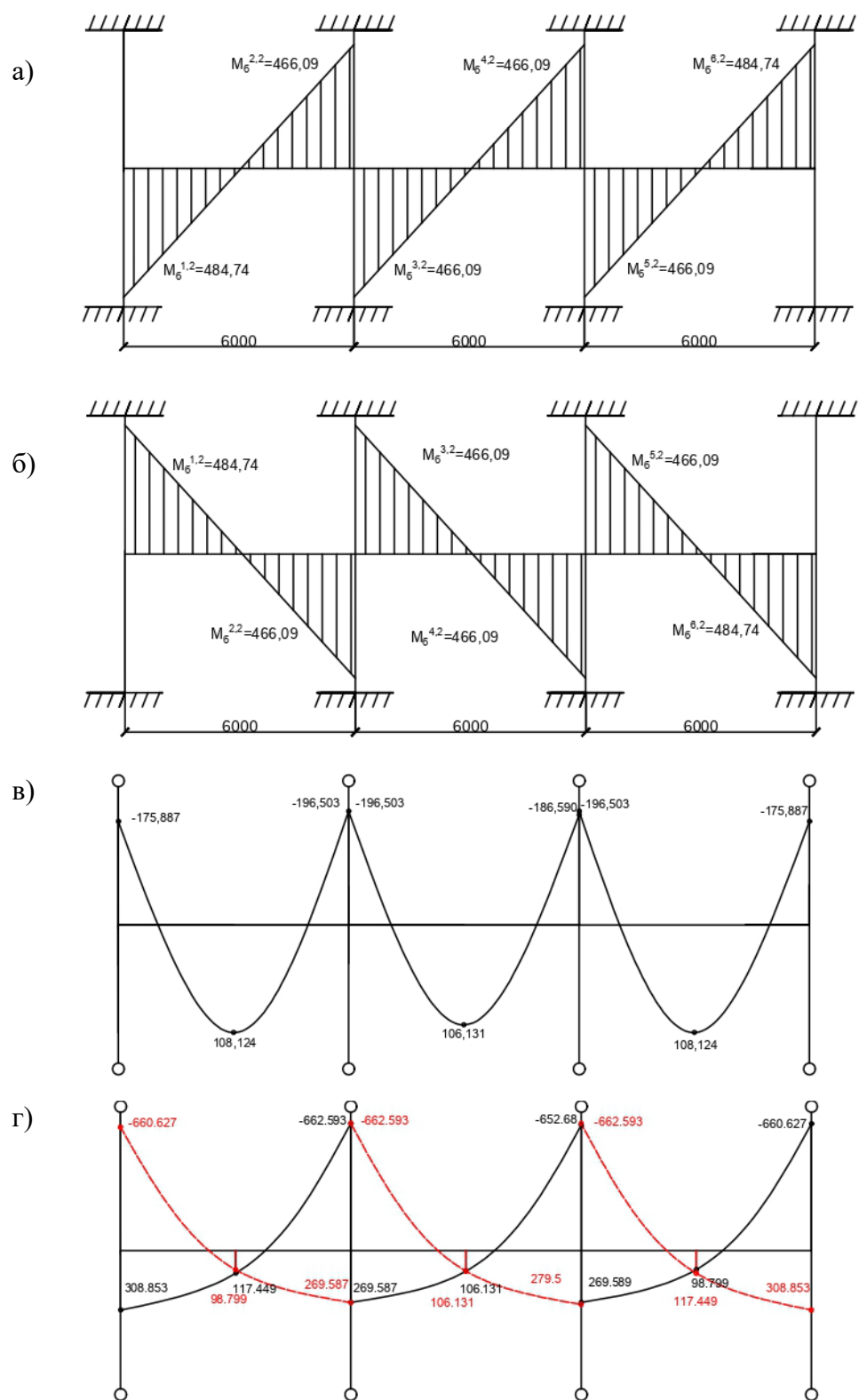


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов от знакопеременной ветровой нагрузки (а, б), огибающая эпюра моментов от вертикальной нагрузки (в) и суммарная эпюра сочетаний моментов от горизонтальных и вертикальных нагрузок (г) для 25-этажной рамы

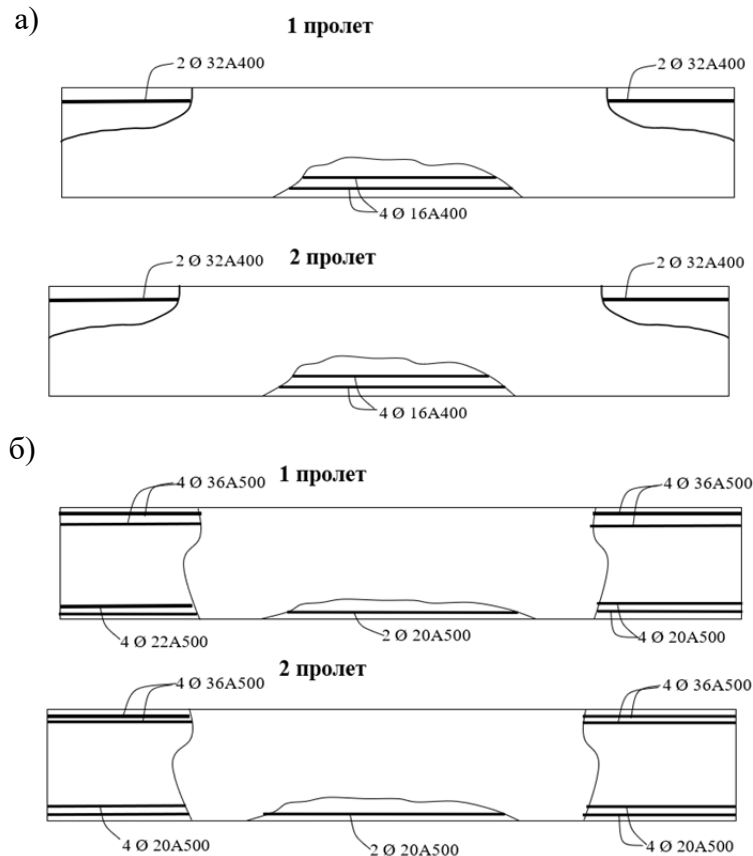


Рис. 4. Армирование двух пролётов ригеля второго яруса для монолитной рамы 9-этажного здания (а) и 25-этажного здания (б)

Моменты в расчётных сечениях ригеля исследуемого второго яруса от действия ветровой нагрузки более чем в два раза превышают моменты от вертикальной нагрузки и существенно влияют на армирование. В итоге для 25-этажной рамы имеем мощное армирование верхних волокон опорных сечений. Кроме этого, появляется потребность установить рабочую арматуру в нижних волокнах опорных сечений, растянутых от действия ветровой нагрузки. Нижние волокна опорных сечений будут испытывать существенное растяжение в сравнении с нижними волокнами пролётной части ригеля. В середине пролёта в нижних волокнах момент от ветровой нагрузки минимален, поэтому здесь сохраняется обычное армирование растянутой зоны (см. рис. 4, б).

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование и расчёт многоэтажных гражданских зданий и их элементов / П. Ф. Дроздов, М. И. Додонов, Л. Л. Панышин, Р. Л. Саруханян. – М.: Стройиздат, 1986. – 351 с.
2. Кодыш, Э. Н. Проектирование многоэтажных зданий с железобетонным каркасом / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. К. Никитин. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. – 352 с.
3. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
4. Карпенко, Н. И. Общие модели механики железобетона / Н. И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
5. Дзюба, В. А. Параметры диаграмм «момент-кривизна» железобетонных элементов с арматурой А500 на стадии близкой к разрушению / В. А. Дзюба, К. А. Арсентьева, Е. В. Журавлева // Учёные записки КНАГТУ. Науки о природе и технике. – 2024. – № I (73). – С. 68-74.
6. Дзюба, В. А. Расчёт сборных железобетонных конструкций многоэтажного каркасного здания / В. А. Дзюба. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2019. – 123 с.
7. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия: свод правил: издание официальное / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, АО «НИЦ Строительство». – М.: Стандартинформ, 2018. – 72 с.
8. Проектирование несущих конструкций многоэтажного каркасного здания / С. В. Горбатов [и др.]. – М.: НИУ МГСУ, 2015. – 104 с.