

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
Университет»

На правах рукописи

Дун Гоцай

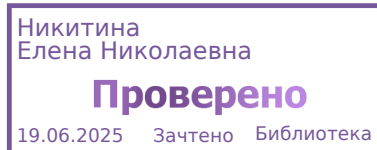
Влияние ветровой нагрузки на армирование
ригеля
монолитной рамы

Кафедра «Строительство и архитектура»
Направление 08.04.01 – «Строительство»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание академической степени магистра

2025г.



Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
Университет»

Дун Гоцай

На правах рукописи

Дун Гоцай

Влияние ветровой нагрузки на армирование
монолитной рамы

Кафедра «Строительство и архитектура»
Направление 08.04.01 – «Строительство»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание академической степени магистра

2025г.

Работа выполнена на кафедре «Строительство и архитектура» Комсомольско-го-на-Амуре государственного технического университета.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент

Дзюба В.А.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Защита состоится «18» июня 2025г. в 9 часов на заседании государственной аттестационной комиссии в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, КнАГТУ, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре «Строительство и архитектура»КнАГУ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Быстрый рост населения Земли, переселение людей из сельской местности в города, как следствие увеличение плотности городской застройки и развитие производственной сферы приводят к совершенствованию конструктивных схем, особо применительно к большепролетным и высотным зданиям.

Основное направление, которое является целью современных исследований в области строительства - это повышение надежности и качества проектных решений и получение экономичных конструктивных решений. Совершенствование строительных конструкций наиболее активно развивается в следующих направлениях:

- применение автоматизированных средств проектирования и расчетов строительных конструкций с использованием современного программного обеспечения на основе реальных физических моделей;

- применение и разработка новых материалов и технологий, обеспечивающих функциональность зданий и сооружений с учетом экономической целесообразности;

- разработка новых конструктивных решений, которые позволят повысить надежность и снизить затраты на материалы и

производство работ.

Железобетонные конструкции широко используются в качестве несущих элементов при строительстве зданий и сооружений уже более 150 лет. Этот материал стал заменой затратным материалам из камня и кирпича, имея ряд положительных свойств. Однако данный материал является неупругим.

С введением актуализированного СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» изменился принцип расчета влияния ветрового воздействия, а именно при неизменной высоте эквивалентная ветровая нагрузка средней составляющей ветра увеличивается в процентном соотношении от увеличения длины здания. Рост этажности существенно влияет на армирование несущих конструкций.

Цель диссертационной работы является: 1) изучение состояния вопроса по проектированию монолитных многоэтажных рам с учетом ветровой нагрузки.; 2) изучение основных конструктивных элементов в монолитном железобетонном строительстве; 3) изучение основных нагрузок на здание; 4) анализ и оценка воздействия ветровой и вертикальной нагрузок на армирование монолитного ригеля здания различной высоты.

Объект исследования: многоэтажные монолитные

железобетонные рамы.

Научная новизна исследования состоит в том, что автором в результате теоретических исследований и машинных экспериментов многоэтажных железобетонных рам при различных режимах загрузки и этажности получены новые данные об армировании ригелей при совместном действии ветровых и вертикальных нагрузках.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что полученные данные возможно применить при экономической оценке, выборе армирования проектируемого сооружения.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертации опубликованы в трех научных статьях. ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет». Дата проведения конференции: с 16 декабря 2024 г. по 18 декабря 2024 г. Секция 2: строительство.

Структура и объём работы. Магистерская диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников (24 источника). Основной текст изложен на 127 страницах, содержит 13 таблиц и 82 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, предмет и объект исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость, апробация результатов.

В **первой главе** «Анализ действующих нагрузок и конструкций высотных зданий»

1.1 Высотные здания

Определение: Начните с четкого определения того, что считается «высотным» зданием. Это может включать указание минимального количества этажей или высоты. Рассмотрите различные определения, используемые в мире и в Китае.

Исторический контекст: Кратко проследите историю строительства высотных зданий, подчеркнув значительные достижения и вехи. Упомяните ранние примеры и эволюцию строительных технологий.

Значимость: Обсудите социально-экономическое значение высотных зданий в городской среде: увеличение плотности населения, эффективность использования земли, экономическое воздействие и т.д.

1.2 Тенденции развития строительства высотных зданий

Глобальные тенденции: Обсудите мировые тенденции в

строительстве высотных зданий, такие как все более широкое использование экологически чистых материалов, инновационных конструктивных решений (например, экзоскелеты, диагональные решетчатые конструкции) и интеллектуальных технологий для зданий.

Тенденции в Китае: Сконцентрируйтесь на тенденциях в Китае. Это должно включать быстрый рост мегаполисов и роль высотного строительства в решении проблемы высокой плотности населения в городах. Упомяните любые специфические архитектурные стили или строительные методы, распространенные в Китае.

Технологические достижения: Обсудите конкретные технологические достижения, стимулирующие эти тенденции (например, передовые материалы, 3D-печать, сборное производство).

Вопросы устойчивого развития: Рассмотрите экологическое воздействие строительства высотных зданий и растущее внимание к устойчивым методам в Китае.

1.3 Классификация нагрузок, действующих на высотные здания

1.3.1 Постоянные нагрузки : Подробно опишите типы постоянных нагрузок, включая вес самой конструкции здания

(конструктивные элементы, отделка), установленного оборудования (ОВК, лифты) и других стационарных компонентов.

1.3.2 Временные нагрузки : Объясните различные временные нагрузки, такие как нагрузки от людей (люди, мебель), снеговые нагрузки и живые нагрузки от оборудования или материалов.

1.3.3 Ветровые нагрузки: Этот раздел имеет решающее значение для высотных зданий. Обсудите, как рассчитываются ветровые нагрузки, и важность аэродинамического дизайна для снижения их воздействия. Упомяните влияние таких факторов, как форма здания, высота и местоположение. Ссылайтесь на соответствующие строительные нормы и правила, используемые в Китае.

1.4 Конструкции многоэтажных каркасных зданий

Каркасные системы: Объясните различные типы каркасных систем, используемых в высотном строительстве (стальные, бетонные, смешанные системы). Обсудите преимущества и недостатки каждой из них.

Стены и распорки: Подробно опишите роль стеновых панелей и распорок в обеспечении поперечной устойчивости к ветровым и сейсмическим нагрузкам.

Фундаментные системы: Обсудите фундаментные системы,

обычно используемые для высотных зданий, учитывая грунтовые условия и требования к нагрузке.

Выбор материалов: Проанализируйте выбор материалов на основе прочности, долговечности, стоимости и экологических соображений.

1.5 Примеры конструктивных решений монолитных многоэтажных каркасных зданий, возводимых в КНР

Примеры: Этот раздел должен представлять конкретные примеры высотных зданий в Китае, с акцентом на их конструктивные решения и методы строительства. Включите такие детали, как:

Название и местоположение здания.

Высота и количество этажей.

Используемая конструктивная система (например, железобетонный каркас, стальной экзоскелет).

Заметные конструктивные особенности.

Проблемы, возникшие во время строительства.

Сравнение конструкций: Сравните и сопоставьте различные проектные подходы, используемые в различных высотных зданиях Китая.

Во **второй главе** «Расчёт многоэтажных монолитных рам различной этажности на вертикальные и горизонтальные

нагрузки».

Многоэтажные здания проектируют преимущественно каркасной конструктивной системы. Основным элементом такого здания является рама. Если узлы в раме запроектированы жесткими, то рама сможет воспринимать и вертикальные и горизонтальные нагрузки. При этом не исключается использование дополнительных элементов жесткости. Расчет несущих систем следует производить с учетом пространственного характера работы здания, наиболее полно отражающего сопротивление внешним нагрузкам. Однако на начальных стадиях проектирования часто возникает задача предварительной оценки размеров выбираемых сечений и армирования. В этом случае важную роль играют приближенные инженерные методы определения усилий в рамных системах.

При проектировании многоэтажных рамных каркасов на действие ветровых нагрузок можно выполнять расчет только плоских рам. Для этого центр симметрии плана здания должен совпадать с центром жесткостей, что исключает поворот несущей системы вокруг центра жесткостей при действии горизонтальной нагрузки. Расчет плоской рамы производится по грузовой площади, равной шагу поперечных рам.

В проводимом исследовании ветровая нагрузка принималась

для Комсомольска-на-Амуре в соответствии с нормами проектирования. Рассматривалось 9-этажное каркасное здание с высотой этажа 3.6 метра. Высота несущей системы с учетом парапета и цоколя составила 33,8 м.

Нормативное значение средней составляющей w_m и пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки w_g определяли по формулам:

$$w_m = w_0 k(z_e) \text{ и } w_g = w_m \zeta(z_e) \nu.$$

Здесь $w_0, k(z_e), c$ – соответственно нормативное значение ветрового давления, принимаемое в зависимости от ветрового района; коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e и аэродинамический коэффициент. При вычислении w_g учитывается $\zeta(z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра и ν – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

Для нашей задачи значение расчетной нагрузки при шаге рам 6м и коэффициенте надежности 1,4 будет равно для $h_1 < h-d = 3,8$ м - $w_1 = 0.776 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 6 = 6.5184$ кН/м, а для $h_2 \geq h-d = 3,8$ м, $w_2 = 0.805 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 6 = 6.762$ кН/м. Эквивалентная равномерно распределенная нагрузка, определяемая из условия равенства моментов в заделке, составила 6,72 кН/м. Здесь 0.776 и 0.805 – суммарные значения средней и пульсационной

составляющих нагрузки на м².

Определим внутренние усилия в элементах рамы, полагая, что нулевая точка эпюры моментов находится посередине высоты этажа. Для этого равномерно распределенную ветровую нагрузку $q_w = 6,72 \text{ кН/м}$ заменяем сосредоточенными силами, приложенными в узлах рамы $P = q_w * h_{\text{эт}}$, где $h_{\text{эт}}$ - высота этажа. Сосредоточенные силы от нагрузки позволяют вычислить суммарные поперечные силы каждого этажа $Q_i = P_1 + P_2 + \dots + P_i$ и распределить их пропорционально изгибной жесткости между отдельными колоннами каждого этажа. При этом следует учитывать, что крайние колонны этажей имеют опирание ригеля с одной стороны и в расчет вводятся с пониженной изгибной жесткостью. Коэффициент снижения жесткости для крайних колонн α зависит от соотношения погонных изгибных жесткостей балок i_b и погонных изгибных жесткостей колонн i_c , то есть $i_b = \frac{EI_b}{l_b} = \frac{E * b_b * h_b^3}{12 * l_b}$, $i_c = \frac{EI_c}{l_c} = \frac{E * b_c * h_c^3}{12 * l_c}$ и $\frac{i_b}{i_c}$.

Поэтому суммарная относительная жесткость стоек этажа составляет $\alpha + 1 + 1 + \alpha$ (для трехпролетной рамы) и поперечные силы в крайних и средних колоннах этажа будут равны соответственно

$Q_{i, \text{кр}} = Q_i * (\alpha / \alpha + 1 + 1 + \alpha)$ и $Q_{i, \text{ср}} = Q_i * (1 / \alpha + 1 + 1 + \alpha)$. Изгибающие моменты в опорных сечениях колонн

вычисляются по формуле $M_{i,i}=Q_{i,i} * h_{эм} / 2$. Для колонн первого этажа с учетом влияния фундаментов момент в заделке равен $M_{l,i}=Q_{l,i} * 2h_{эм} / 3$, а у противоположного узла $M_{l,i}=Q_{l,i} * h_{эм} / 3$.

Вычисленные изгибающие моменты в колоннах приведены на рисунке 1.

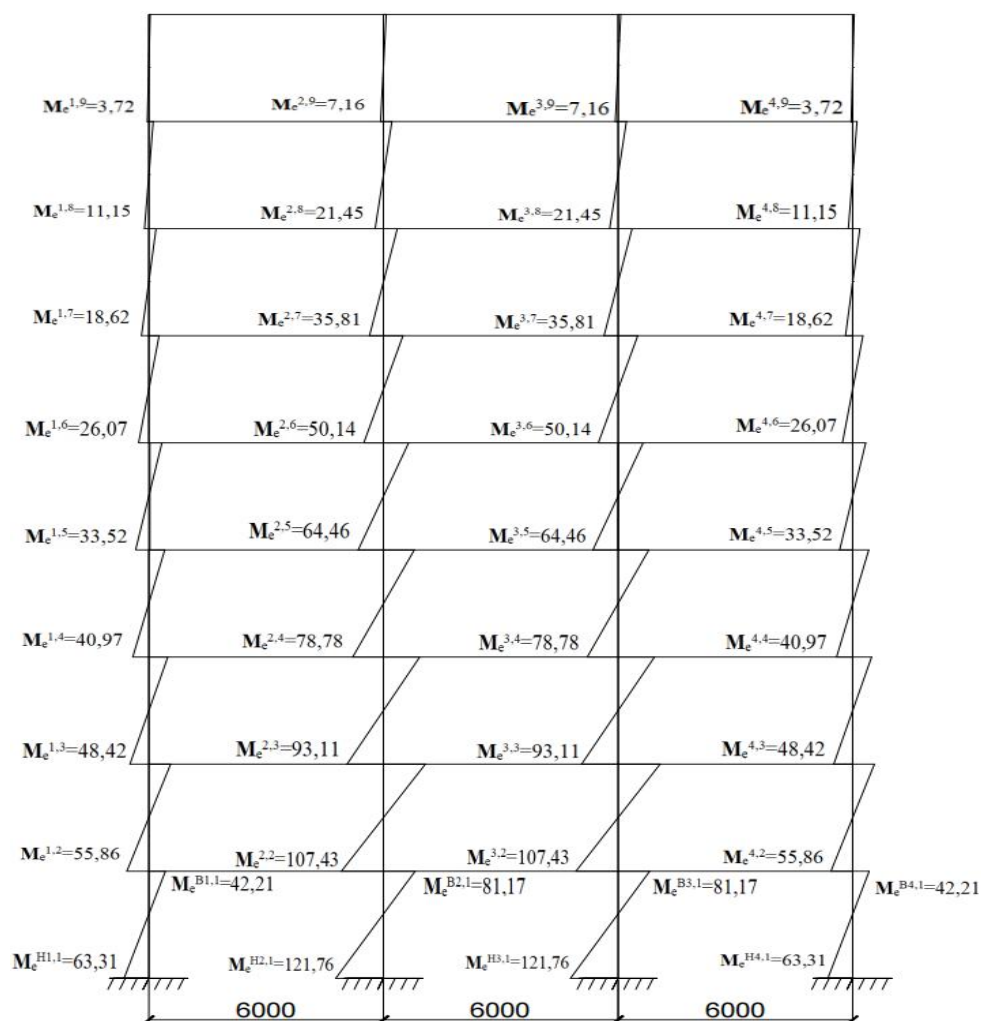


Рисунок 1-Эпюры изгибающих моментов в колоннах многоэтажной рамы от ветровой нагрузки

Изгибающие моменты в опорных сечениях ригелей определяются из условия равенства нулю суммы моментов в узле .

На средних опорах суммарный момент колонн распределяется

между примыкающими к узлу ригелями пропорционально их изгибной жесткости. На крайних опорах момент ригеля будет равен сумме моментов в стойках, примыкающих к узлу сверху и снизу.

Инженерный метод расчета рамных каркасов на ветровые нагрузки является надежным и достаточно простым способом определения усилий в колоннах и ригелях каркаса. Это позволяет оценить напряженно-деформированное состояние и назначить требуемое армирование. Результаты вычислений практически совпадают с расчетами по программе «Ли́ра». При этом продольные деформации в колоннах не учитываются.

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 напряженно-деформированном состоянии элементов рам, так как 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: девятиэтажной и двадцатипятиэтажной.

Выполнение исследований. Программа исследований включала в себя расчет усилий, анализ особенностей армирования ригелей рам различной этажности при совместном действии всех нагрузок (рис.2).

Определение изгибающих моментов и поперечных сил в элементах рам производилось приближенными способами. При вычислении усилий от вертикальных нагрузок использована программа «Rigel», позволяющая находить усилия в сечениях ригеля при различных комбинациях нагружений и строить огибающие эпюры M и Q . Алгоритм данной программы реализует известные положения. Так опорные моменты вычисляются по формулам $M = \alpha \cdot g \cdot l_b^2$ и $M = \beta \cdot \nu \cdot l_b^2$, где g и ν соответственно постоянная и временная нагрузки, а α, β и l_b –соответственно коэффициенты, зависящие от соотношения погонных жесткостей колонн и ригелей и расчетный пролет. Изгибающий момент в любом пролетном сечении x равен (например, при известных для второго пролета 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 рисунке 3.

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

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-ти этажного здания пульсационная составляющая определялась с учетом коэффициента динамичности ξ , так как первая частота собственных колебаний была меньше предельного значения частоты собственных колебаний. Для 9-ти 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. По найденным значениям средней

составляющей и пульсационной составляющей определяли основную ветровую нагрузку.

Усилия в элементах рамы от ветровой нагрузки также определяли приближенным методом, в следующем порядке: распределенную 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 жесткостей. 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 расчет второго яруса рам. Рассматривались три опорных сечения и два пролетных. Для опорных сечений вычислялись моменты по граням колонн (рис.2). На рис.3и 4 приведены расчетные эпюры изгибающих моментов для второго этажа 9-ти и 25-ти этажных рам. Позициями *a* и *б* обозначены эпюры моментов при действии ветровой нагрузки справа налево и слева направо. Позиция *в* показывает ординаты изгибающей эпюры от вертикальных нагрузок. При проектировании каркасов необходимо учитывать сочетания усилий от действия постоянных, вертикальных временных и ветровых нагрузок. На

рис.3.2 и 4.2. приведены такие сочетания для рам разной этажности.

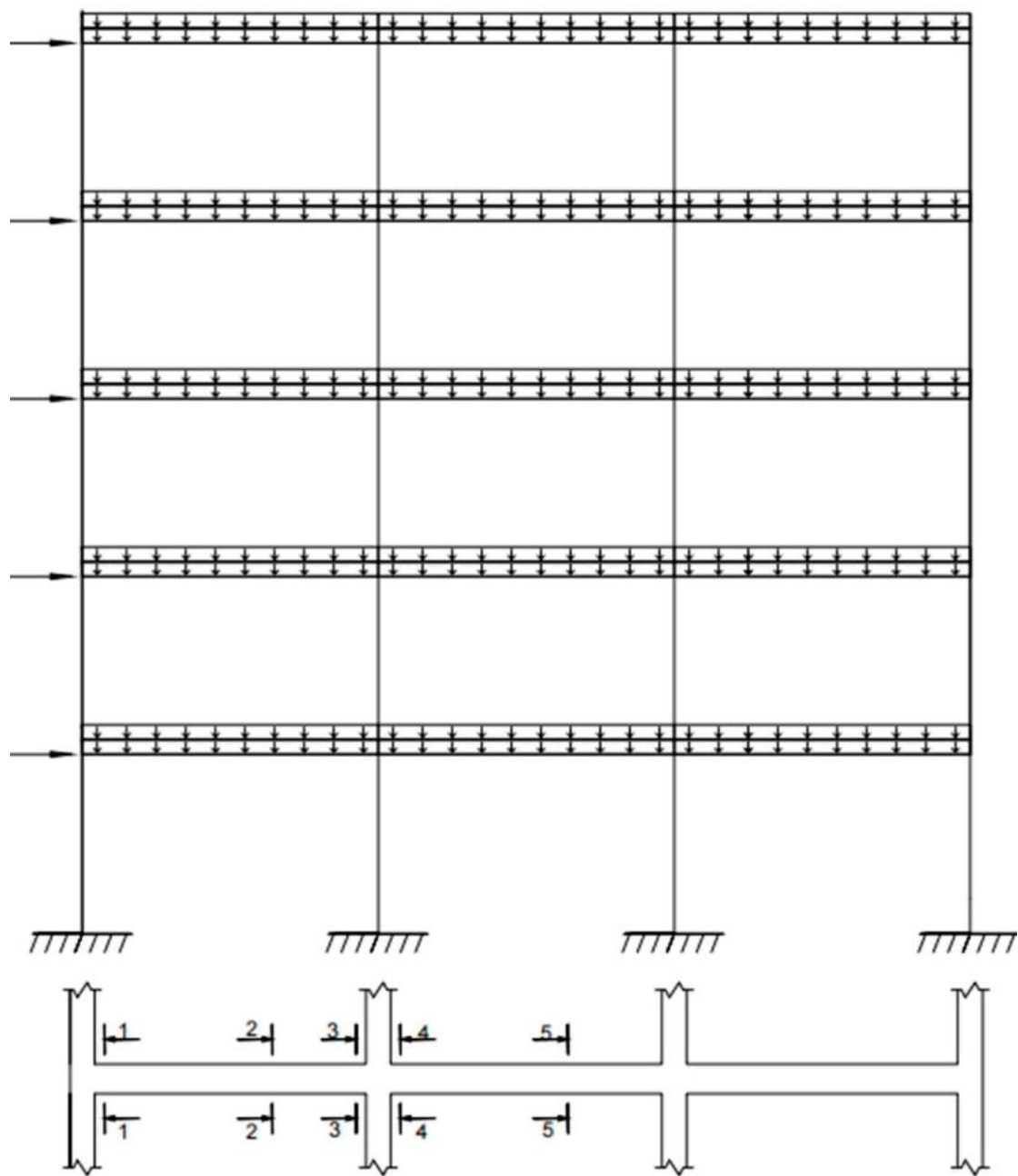


Рис.2. Нагрузки, действующие на поперечную раму и расчетные сечения ригеля

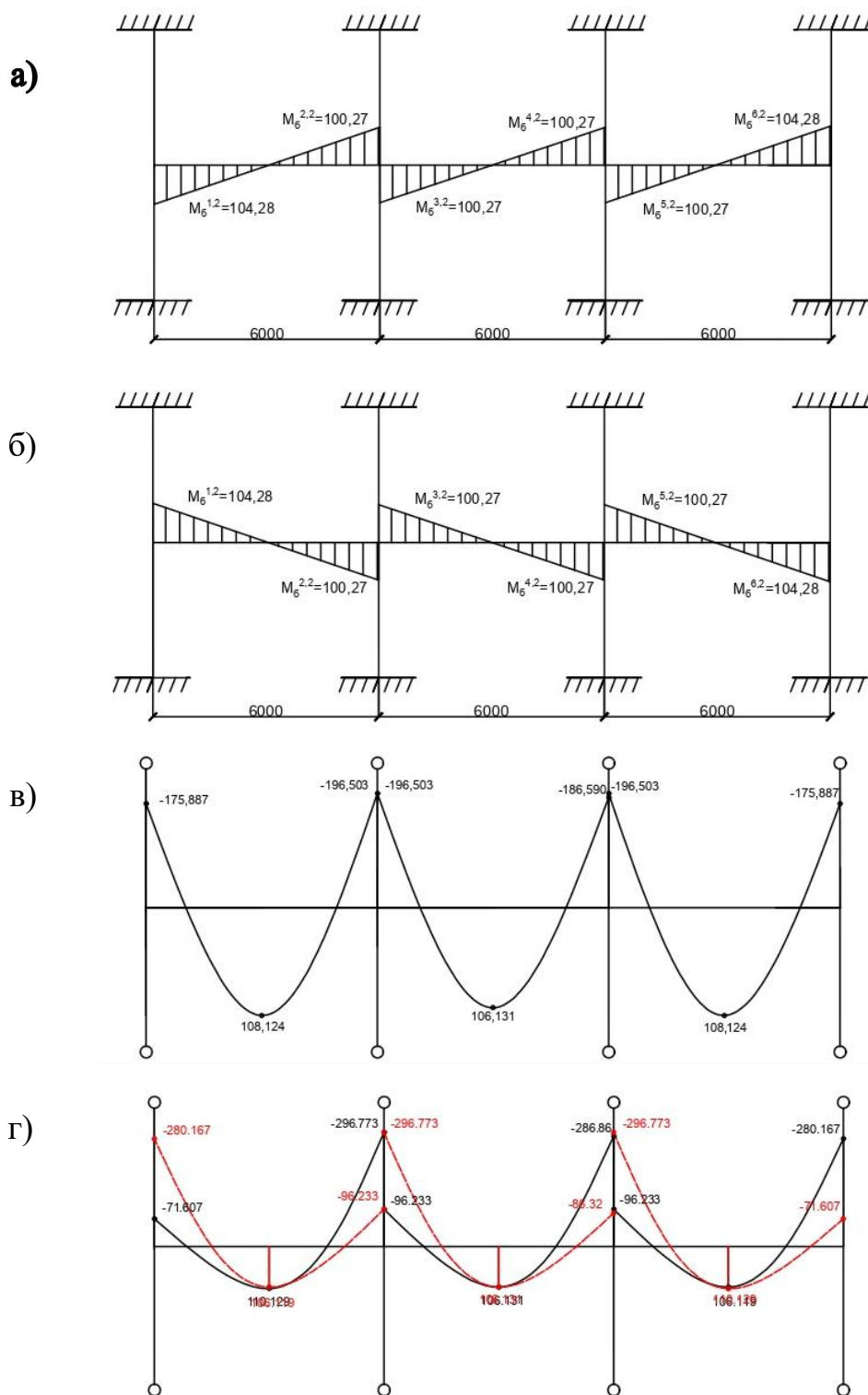


Рис.3 Эпюры изгибающих моментов от знакопеременной ветровой нагрузки (а,б), огибающая эпюра моментов от вертикальной нагрузки(в) и суммарная эпюра сочетаний моментов от горизонтальных и вертикальных нагрузок(г) для 9-ти этажной рамы

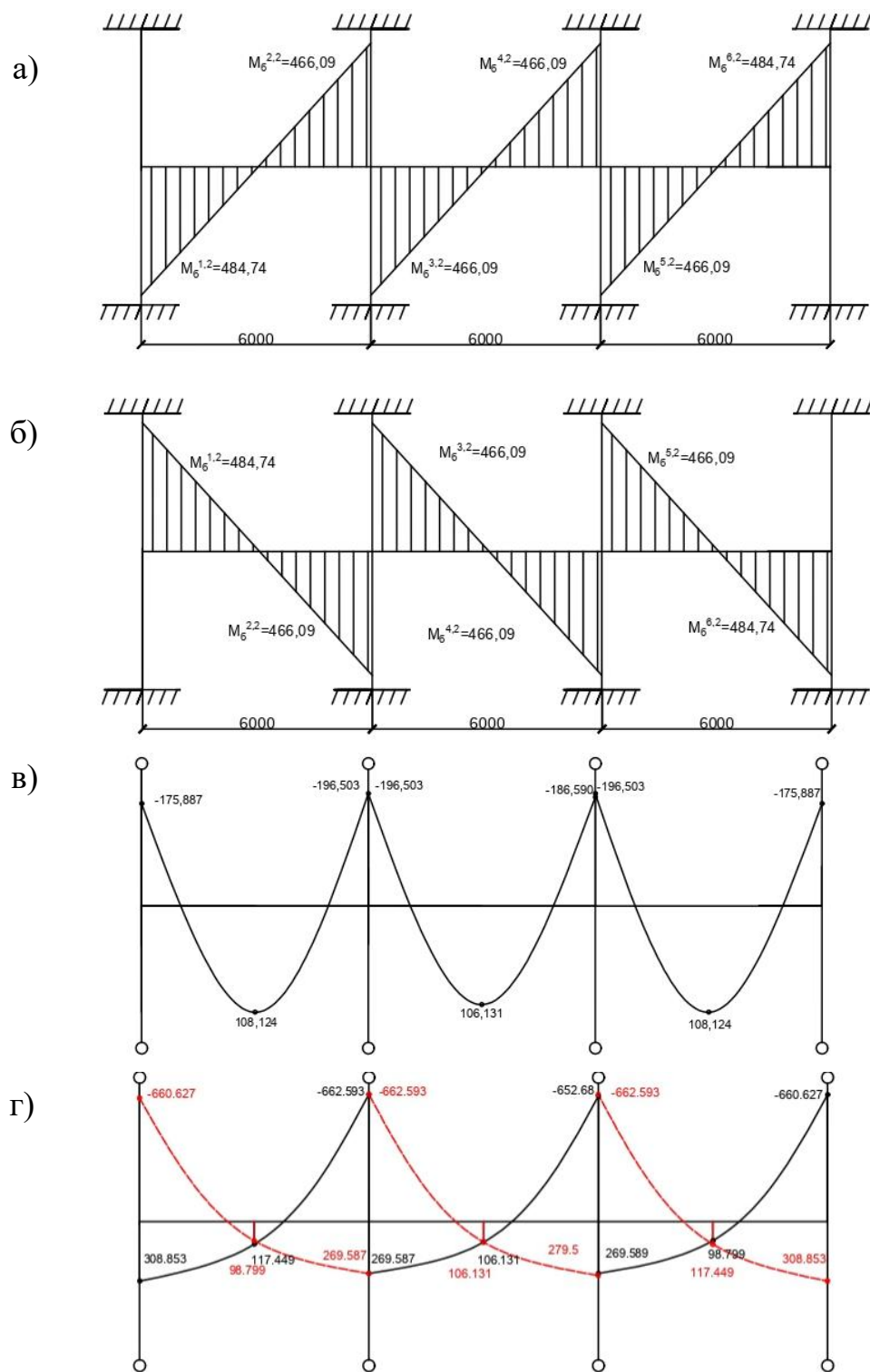


Рис.4 Эпюры изгибающих моментов от знакопеременной ветровой нагрузки (а, б), огибающая эпюра моментов от вертикальной нагрузки (в) и суммарная эпюра сочетаний моментов от горизонтальных и вертикальных нагрузок (г) для 25-ти этажной рамы

Анализ суммарной эпюры сочетаний моментов от горизонтальных и вертикальных нагрузок (рис.3.г) для 9-ти этажной рамы позволяет сделать вывод, что в этом случае сохраняется обычное традиционное армирование ригеля рамы с рабочей арматурой в нижних волокнах пролетных сечений и верхних волокнах опорных сечений (рис.5.а). При этом за счет 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-ти этажной рамы при совместном действии знакопеременной ветровой и вертикальной постоянной и временной нагрузок. Моменты в расчетных сечениях ригеля исследуемого второго яруса от действия ветровой нагрузки

более чем вдвое превышают моменты от вертикальной нагрузки и существенно влияют на армирование. В итоге для 25-ти 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 пролетной части ригеля. В середине пролета в нижних волокнах момент от ветровой нагрузки минимален, поэтому здесь сохраняется обычное армирование растянутой зоны (рис.5.б).

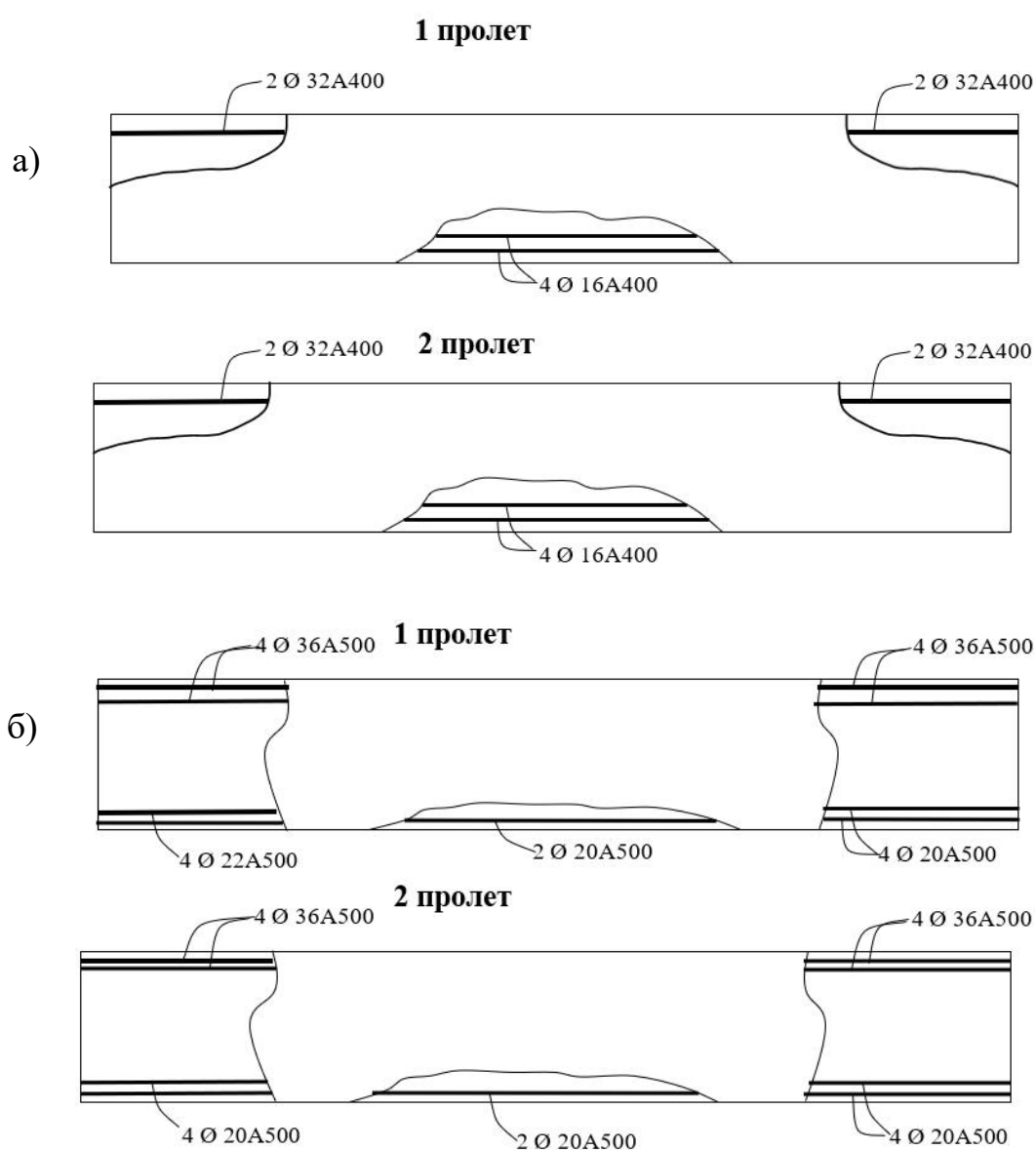


Рис.5 Армирование двух пролетов ригеля второго яруса

а) для монолитной рамы 9-ти этажного здания;

б) для монолитной рамы 25-ти этажного здания;

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах: 1. Дун Гоцай, Дзюба В.А. Инженерный расчет многоэтажной рамы на ветровую нагрузку . Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, г. Комсомольск-на-Амуре, 16-17 ноября 2023 г. с. 399-402

2. Дун Гоцай, Дзюба В.А. Определение расчетных усилий в элементах железобетонных рам. Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, г. Комсомольск-на-Амуре, 16-17 ноября 2023 г. с. 396-398.

3. Дзюба В.А., Чепизубов И.Г., Дун Гоцай. Эффективное армирование многоэтажных рам с учетом ветровых нагрузок. Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2025. № 1 (81). С. 103-108.