

6
А-65

+

А5

ГОССТРОЙ СССР

Центральный научно-исследовательский и
проектно-экспериментальный институт промышленных зданий
и сооружений (ЦНИИпромзданий)

На правах рукописи

Инженер **ГЛЕБОВА Ф. Х.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩИХ КАРКАСОВ
МНОГОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ
С ЭТАЖАМИ В МЕЖФЕРМЕННОМ
ПРОСТРАНСТВЕ**

Специальность № 480 — Строительные конструкции

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва — 1970

+

ГОССТРОЙ СССР

Центральный научно-исследовательский и
проектно-экспериментальный институт промышленных зданий
и сооружений (ЦНИИпромзданий)

инженер ГЛЕБОВА Ф. Х.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩИХ КАРКАСОВ
МНОГОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ
С ЭТАЖАМИ В МЕЖФЕРМЕННОМ
ПРОСТРАНСТВЕ

Специальность № 480 — Строительные конструкции

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва — 1970



Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском и проектно-экспериментальном институте промышленных зданий и сооружений (ЦНИИпромзданий).

Научный руководитель — к. т. н. А. Д. Глуховский

Официальные оппоненты:

д. т. н., профессор А. А. Петропавловский

к. т. н. Л. В. Руф

Ведущее предприятие — ГСПИ-5. г. Ленинград.

Автореферат разослан « » 197 г.

Защита состоится « » 197 г. на Совете секции промышленных и сельских зданий Объединенного совета при ЦНИИЭП жилища.

С диссертацией можно ознакомиться по адресу: Москва, И-238, Дмитровское шоссе, 60-б, Ученый совет.

В настоящее время на долю многоэтажных промышленных зданий приходится 22—25% общей производственной площади. В многоэтажных зданиях располагаются предприятия целого ряда отраслей промышленности.

Высокие темпы технического прогресса вызвали рост производств, для которых характерны сложность, высокая точность и постоянная модернизация технологических операций. Особенно характерно это для производств электронной и радиопромышленности.

Здания, в которых размещаются такие производства, должны иметь помещения большой площади с минимальным количеством опор, позволяющие легко менять оборудование и модернизировать технологический процесс, а также обеспечивать соблюдение строго санитарно-гигиенического режима.

Как показали исследования, увеличение пролетов до 12—18 м в зданиях электронной и радиопромышленности позволяет разместить на той же площади больше поточных линий и значительно увеличить съем продукции с площади цехов: при пролете 12 м — на 10—12, а при пролете 18 м — на 25—30%. Используемые для точных производств многоэтажные промышленные здания на базе типовых унифицированных конструкций с сетками колонн 6×6 и 6×9 м недостаточно удовлетворяют этим требованиям.

В результате исследований, проведенных в ЦНИИпромзданий под руководством к. т. н. А. Д. Глуховского, рекомендуется новый тип многоэтажного промышленного здания с крупной сеткой колонн и техническими этажами. Проектирование этих зданий началось в 1964 г. При их проектировании возникли трудности, связанные с расчетом и конструированием каркасов зданий нового типа, в которых в качестве ригелей применяются безраскосные фермы.

Расчету рам с ригелями-балками и отдельно стоящих ферм посвящено много работ. Расчет рам с ригелями-фермами в литературе не освещен. Однако, он имеет свои особенности. Некоторые вопросы расчета и конструирования отдельно стоящих безраскосных ферм для одноэтажных промышленных зданий были решены в диссертациях Е. Г. Кутухтина и С. С. Ловшина.

Расчету рам с ригелями-балками и отдельно стоящих ферм посвящено много работ. Расчет рам с ригелями-фермами в литературе не освещен. Однако, он имеет свои особенности.

Некоторые вопросы расчета и конструирования отдельно стоящих безраскосных ферм для одноэтажных промышленных зданий были решены в диссертациях Е. Г. Кутухтина и С. С. Ловшина.

Исследования в области расчета и конструирования многоэтажных рам с ригелями-фермами ранее не проводились.

Цель диссертации — научное обоснование конструктивных решений каркасов многоэтажных промышленных зданий с этажами в межферменном пространстве и разработка практического метода расчета каркасов с ригелями-фермами.

Для решения этой задачи были проведены теоретические разработки, а также экспериментальные исследования моделей каркасов и ригелей-ферм в натуральную величину.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов.

Работа выполнена автором в ЦНИИпромзданий в процессе разработки комплексной научно-исследовательской темы по новым типам промышленных зданий с этажами в межферменном пространстве.

В первой главе дается анализ конструктивных решений каркасов многоэтажных промышленных зданий с техническими этажами.

Технические этажи необходимы в зданиях, где технология производства требует поддержания заданного санитарно-гигиенического режима и предназначаются для размещения многочисленных коммуникаций, инженерных устройств и помещений, изолированных от основного производства.

При проектировании таких многоэтажных зданий технический этаж может быть образован двумя отдельными балочными перекрытиями или одним балочным перекрытием и подвесным потолком.

Образовать технический этаж двумя отдельными балочными перекрытиями при сетке колонн в производственном помещении 12×6 м с применением типовых конструкций невозможно, так как для многоэтажных зданий эти конструкции разработаны для сеток колонн 6×6 и 9×6 м (серия ИИ-20).

При сетке колонн 12×6 м и полезной нагрузке на перекрытия 1000 кг/м^2 балочная конструкция перекрытия имеет большую конструктивную высоту. Расчеты показали, что высота самой балки равна $0,8—1,0$ м, что составляет $\frac{1}{5}$ высоты производственного этажа и $\frac{1}{3}$ высоты технического этажа.

При таком решении перекрытия здание будет неэкономичным, так как при соблюдении необходимого расстояния от пола до низа несущих конструкций общая высота здания значительно увеличивается, а пространство между балками практически не используется.

При небольшой нагрузке на перекрытие технического этажа (до 75 кг/м^2) технический этаж образуется одним балочным перекрытием и подвесным потолком. При этом вес подвесного потолка и временная нормативная нагрузка на потолок передаются на балку перекрытия производственного этажа, что еще более увеличивает ее высоту (приблизительно до $1,2$ м). Конструкции подвесных потолков выполняются из легких материалов и требуют зна-

чительного расхода стали и алюминия, их изготовление и монтаж дороги и трудоемки.

Назрела необходимость в разработке новых конструктивных решений многоэтажных производственных зданий.

Рекомендованное ЦНИИпромзданий многоэтажное промышленное здание нового типа имеет пролеты 12 и 18 м, которые перекрываются не балками, а безраскосными фермами; в пределах конструктивной высоты этих ферм располагаются технические этажи. Здания такого типа называются зданиями с этажами в межферменном пространстве.

Нагрузки в основном этаже приняты 1000 , в межферменном этаже — 400 кг/м^2 . Поперечная рама каркаса этих зданий состоит из колонн и безраскосных ферм, образующих многоярусную и многопролетную раму с ригелями-фермами.

Применение каркасов с ригелями-фермами позволяет: строить многоэтажные здания с крупной сеткой колонн, удобными помещениями для размещения всех коммуникаций; значительно улучшить интерьеры производственных цехов; отказаться от устройства дорогих подвесных потолков; улучшить эксплуатационные условия; в ряде случаев отказаться от строительства специальных зданий с обслуживаемыми помещениями.

При проектировании зданий с межферменными этажами возникли затруднения, связанные со статическим расчетом каркасов.

Вторая глава посвящена вопросам статического расчета каркасов с ригелями-фермами.

Рама с ригелями-фермами многократно статически неопределима. Рассчитывать их сложно и очень трудоемко, поэтому раньше их расчет заменяли расчетом рам с балочным ригелем приведенной жесткости. С развитием вычислительной техники была создана стандартная программа специально для расчета рам (Сидр-3М), которая реализует метод Бернадского-Кросса, не учитывающий деформаций от продольных сил. Появилась возможность рассчитывать рамы с ригелями-фермами, которые имеют не более 30 смещений.

Однако при применении такого метода для рам с ригелями-фермами возникают некоторые противоречия, так как отдельно стоящие фермы рассчитывают с учетом деформаций от нормальных сил.

Поэтому первым этапом исследования было теоретическое обоснование метода расчета.

Проведенное теоретическое исследование работы каркасов с ригелями-фермами на примере одно- и двухпролетных трехэтажных рам (рис. 1, схема А и Б) позволило установить, что в таких каркасах при статическом расчете без учета влияния деформаций от продольных сил величины нормальных сил в основных сечениях верхнего пояса получаются в $1,5—2,7$ раза больше, чем при расчете с учетом деформаций от нормальных сил. При этом величины моментов в колоннах почти в два раза занижаются.

При ригелях-фермах, имеющих подкосы (рис. 1, схема В) величины моментов в сечениях поясов на стыке с колонной занижаются в среднем в три раза, а моменты в сечениях поясов дальше от колонны завываются. Величины нормальных сил в верхнем поясе увеличиваются в 1,2—1,7 раза, а в нижнем поясе указанное допущение не только приводит к неправильной оценке величины усилия, но и искажает в крайних панелях характер работы конструкции, показывая внецентренное растяжение вместо фактического внецентренного сжатия.

При ригелях-фермах, имеющих криволинейный верхний пояс (рис. 1, схема Г), в расчете, не учитывающем влияние деформаций от нормальных сил, значение величины моментов в поясах занижается примерно в два раза.

В колоннах рам с ригелями-фермами, имеющими подкосы в крайних панелях и криволинейный верхний пояс, указанное допущение при их расчете занижает величину моментов в несколько раз.

Таким образом, расчет без учета деформаций от продольных сил дает искаженные результаты, поэтому статический расчет рам с ригелями-фермами должен производиться с учетом деформаций от нормальных сил. Однако точный расчет таких систем сложен. Даже однопролетная трехярусная рама с пятипанельными ригелями-фермами статически неопределима 54 раза, ее расчет на малых и средних электронных вычислительных машинах неосуществим. Для расчета самых простых рам с ригелями-фермами нужны так называемые «большие» машины и, кроме того, должна быть выполнена трудоемкая работа по кодированию. В связи с этим возникла задача разработки упрощенного метода расчета.

Для выявления наиболее приемлемого метода упрощения с достаточной для практических целей точностью были рассмотрены варианты упрощенных расчетных схем рам, показанных на рис. 1. Для сравнения все рамы были рассчитаны без упрощения и с упрощениями. Упрощения заключались в замене ригеля-фермы ригелем-стержнем с приведенной жесткостью фермы, расчленении многоэтажной рамы по высоте на ряд одноярусных с жестко заделанными стойками и шарнирами по середине высоты примыкающих стоек.

Проведенные исследования показали, что наиболее близкой к основной расчетной схеме является схема, при которой многоярусная рама с ригелями-фермами заменяется одноярусными рамами, с шарнирами в середине высот примыкающих стоек, а для первого этажа — с шарнирами в середине высот вышележащего этажа и жестко заделанными стойками первого этажа.

Проведенное исследование влияния расположения различных сочетаний постоянной и временной нагрузки на раму подтвердило возможность предложенного расчленения, так как наиболее невыгодное расположение временной нагрузки достаточно учитывать только в пределах рассчитываемого яруса.

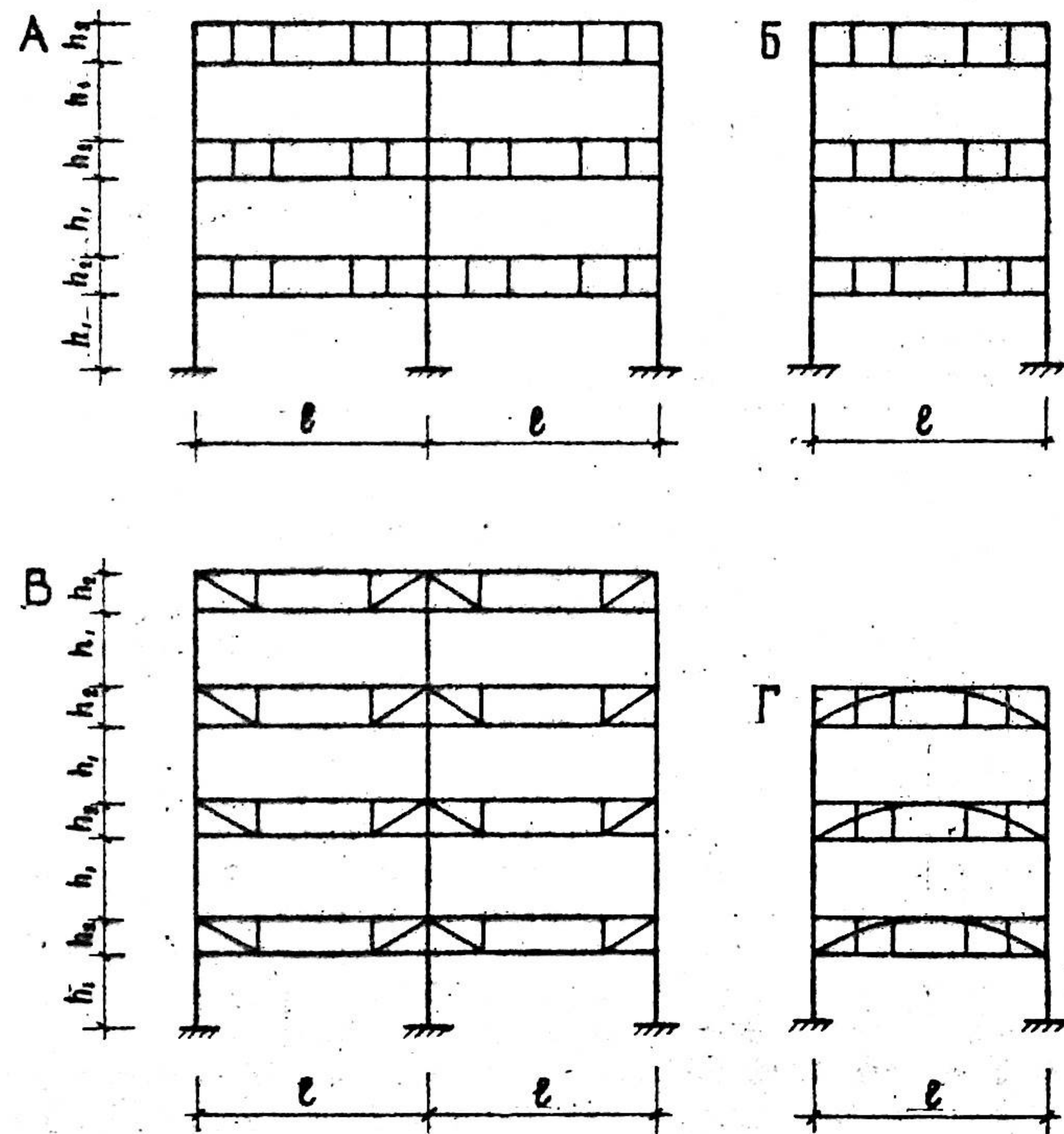


РИС. 1 КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ РАМ С РИГЕЛЯМИ-ФЕРМАМИ

Был рассмотрен также вопрос о перераспределении суммарной нагрузки на ферму между ее поясами. Доказано, что при одинаковых сечениях поясов можно перераспределять до 30% нагрузки на ферму, не меняя ее суммарной величины. Это обстоятельство упрощает задачу типизации конструкций и позволяет изменять назначение помещений в действующем предприятии.

Установлено, что при одинаковой высоте ярусов рамы и одной и той же нагрузке для уменьшения количества марок ферм сечения следует подбирать по усилиям, возникающим в элементах первого яруса, так как в нем возникают наиболее неблагоприятные сочетания этих усилий.

В результате теоретических исследований рам с ригелями-фермами доказана необходимость учета деформаций от продольных сил и предложен упрощенный метод расчета, позволяющий рассчитывать каркасы многоэтажных промышленных зданий с этажами в межферменном пространстве на ЭВМ по стандартным программам «СМ-4» и «Марс».

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям, проводившимся на крупной модели рамы с ригелями-безраскосными фермами и на ригеле-ферме в натуральную величину с нагрузкой, соответствующей работе ригеля-фермы в системе рамы.

Исследованная модель представляла собой двухпролетную трехярусную железобетонную раму с ригелями-безраскосными фермами в первом и втором ярусах и балочным ригелем в третьем ярусе. Масштаб модели 1:4. Стык ригелей-ферм с колоннами — жесткий.

Испытание проводилось автором в лаборатории моделирования ЛенЗНИИЭПа по составленной им программе и методике.

Модель каркаса была изготовлена из отдельных сборных элементов, а затем смонтирована на месте испытания.

Для замера деформаций арматуры и бетона в характерных сечениях рамы было установлено 800 датчиков сопротивления. Углы поворота узлов и прогибы конструкции измерялись фотограмметрическим методом по «маякам», расположенным во всех узлах и пролетах рамы.

Рама была испытана на действие односторонней и симметричной нагрузок. В результате испытаний было установлено, что при загрузке крайнего нижнего ригеля нагрузкой, которая соответствовала упругой стадии работы, в ригеле второго яруса деформации, ввиду их малой величины, приборами зафиксированы не были. Тем самым подтвердились теоретические выводы о возможности предложенного упрощения расчетной схемы.

Испытание рамы под симметричной нагрузкой было проведено до разрушения и позволило выявить ее действительную прочность, жесткость и трещиностойкость.

Максимальный прогиб в середине пролета под действием нор-

мативной нагрузки во всех ригелях-фермах был равен 2—3 мм, что составляет $\frac{1}{1500} - \frac{1}{1000}$ пролета. Под действием расчетной нагрузки прогиб нижнего пояса в месте стыка со стойками был близок к прогибам, полученным в результате расчета без учета трещин (табл. 1).

Таблица 1

Прогибы в узлах рамы под расчетной нагрузкой при испытании и статическом расчете

Прогибы, мм	Нижняя ферма		Верхняя ферма	
	стык нижнего пояса с крайней стойкой	стык нижнего пояса со средней стойкой	стык нижнего пояса с крайней стойкой	стык нижнего пояса со средней стойкой
При испытании	5,0	5,7	5,7	5,0
При статическом расчете	5,0	5,8	5,7	6,0

Первые волосяные трещины появились при расчетной нагрузке в узле примыкания нижних поясов ферм к колоннам. Ширина их раскрытия не превышала 0,05 мм, глубина 2—3 мм.

Разрушение произошло в средней колонне. Бетон выкрошился, центральная опорная стойка осела на несколько сантиметров, вследствие чего пролетная стойка фермы второго яруса оказалась срезанной.

Эпюры усилий, полученные в результате испытаний, хорошо совпадают с результатами расчета и свидетельствуют о правильном выборе расчетной схемы и метода расчета.

В процессе исследований была выявлена картина перераспределения усилий в ригелях-безраскосных фермах. Падение жесткости начинается в зоне стыка нижнего пояса фермы с колонной и продолжается последовательно в узлах, размещенных по крайним замкнутым контурам ригеля-фермы. При подборе сечений элементов в рамах с ригелями-фермами возможно применение метода расчета с учетом перераспределения усилий, при этом уменьшение расчетных моментов в зонах сопряжения нижнего пояса с колонной сопровождается одновременным последовательным увеличением его в узлах, размещенных по крайним замкнутым контурам ригеля-фермы, и не должно превышать 10%.

Два образца ригелей-ферм, испытанные в натуральную величину, были прототипами ригелей четырехэтажной двухпролетной рамы, которая применена в каркасах многоэтажных промышленных зданий, построенных в Воронеже, Риге, Киеве и Саранске. Испы-

тания проводились лабораторией железобетонных конструкций мостов МИИТ с участием автора.

Фермы испытывались на одностороннее и симметричное нагружение. При этом работа фермы в системе рамы имитировалась нагружением ее дополнительно домкратами в соответствующих местах.

В обоих ригелях-фермах разрушение бетона в сжатой зоне подкоса произошло с одновременной потерей устойчивости сжатой арматуры. При этом на прилегающем участке верхнего пояса фермы произошел откол бетона.

Максимальные прогибы в середине пролета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Максимальные прогибы в середине пролета, в мм

Нагрузка	Верхний пояс		Нижний пояс	
	ферма 1	ферма 2	ферма 1	ферма 2
Нормативная	4,15	5,67	5,96	6,17
Расчетная	5,42	6,77	7,63	7,77
Близкая к разрушению	17,91	24,45	37,13	30,71

Трещины в ригелях-фермах были обнаружены в верхнем поясе и в наиболее нагруженной стойке при нагрузках, равных 0,8 и 0,9 нормативной. После выдержки ширина раскрытия трещин составляла 0,1—0,12 мм.

При расчетной нагрузке появились трещины и в предварительно напряженном поясе. Ширина раскрытия этих трещин перед разрушением 0,1 мм.

Эпюры усилий, подсчитанных по фактическим деформациям, хорошо совпадают с теоретическими. В результате испытаний установлено, что конструкции удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к несущим конструкциям по прочности, жесткости, трещиностойкости, а работа их отвечает принятым расчетным предпосылкам.

Анализ результатов испытаний ригелей-ферм, проведенных на ряде строек, показал, что эти результаты аналогичны изложенным выше.

В испытанных ригелях-фермах наибольшее раскрытие трещин произошло в зонах сопряжения поясов со стойками, что указывает на значительную концентрацию напряжений в этих местах и говорит о целесообразности устройства дутов.

В четвертой главе исследуются конструктивные решения каркасов с ригелями-фермами, рекомендованные для многоэтажных промышленных зданий с межферменными этажами.

Для выбора рациональных конструктивных схем каркаса определено влияние очертания ригелей-ферм на величины усилий в элементах поперечной рамы.

Исследовались рамы с ригелями-безраскосными фермами, с ригелями-фермами с параллельными поясами и подкосами в крайних панелях, с ригелями-арочными фермами, в которых нагрузка на верхний пояс передается через «надстройку», параллельную нижнему поясу.

Ригели в виде безраскосных ферм с параллельными поясами требуют наибольшего расхода материалов, однако их применение дает максимум свободного пространства и рекомендуется при использовании межферменного этажа для обслуживаемых помещений. Ригели-фермы с подкосами в крайних панелях создают некоторые неудобства при использовании межферменного этажа. В этом случае межферменный этаж предназначается только для технических помещений. Рама с ригелем-арочной фермой (арочная ферма получила распространение для покрытий одноэтажных зданий) не рекомендуется, так как в отличие от одноэтажных зданий в многоэтажных верхний пояс ферм должен воспринимать равномерно распределенную нагрузку от перекрытия. Для этого по верхнему поясу делается надстройка, параллельная нижнему. Это приводит к увеличению усилий по сравнению с ригелем-фермой с подкосами в крайних панелях и к увеличению расхода материалов; использование межферменного пространства при этом еще более затруднено.

В результате анализа рекомендуются два типа ригелей-ферм: с параллельными поясами и с подкосами в крайних панелях.

При исследованиях определялся также тип связи ригелей-ферм с колоннами.

Анализ результатов расчета рам с ригелями-фермами в зависимости от связи фермы с колонной показал следующее:

в рамах с ригелями-безраскосными фермами для обеспечения жесткости конструкции наиболее выгодной с точки зрения расхода материалов является жесткая связь фермы с колоннами;

в рамах с ригелями-фермами с параллельными поясами и подкосами в крайних панелях достаточная жесткость ригеля обеспечивается наличием подкосов, поэтому связь ригеля-фермы с колоннами может приниматься шарнирной.

Во время исследований определялась рациональная разрезка каркаса.

В рамах с ригелями-безраскосными фермами крайняя стойка ферм является опорной, в ней возникают большие изгибающие моменты, в результате чего сечение ее приходится делать развитым. В этих условиях целесообразно совместить крайнюю стойку безраскосных ферм с колонной. В этом случае элемент работает на внецентренное сжатие, что для железобетона благоприятнее, чем работа на изгиб.

Нежелательна разрезка колонн на один этаж, однако такое решение позволило отказаться от устройства опорных консолей колонн, благодаря чему значительно улучшился интерьер здания.

При такой разрезке поперечная рама каркаса собирается из безраскосных ферм с параллельными поясами и колонн высотой на этаж (без консолей).

В рамах с ригелями-фермами с параллельными поясами и подкосами в крайних панелях опорное усилие воспринимается подкосом. В этих условиях целесообразно разрезку колонн сделать равной высоте яруса, состоящего из одного основного и одного межферменного этажа.

Колонны верхнего яруса опираются непосредственно на колонны нижнего. Фермы опираются на консоли колонн через центрирующие прокладки. Консоли расположены на такой высоте, при которой стык колонн верхнего и нижнего ярусов выше верха фермы на 0,75 м.

Автором было рассмотрено несколько вариантов опирания плит перекрытий на пояса ферм. Доказано, что пояса ферм обоих типов для опирания плит следует выполнять с полками, так как несмотря на усложнение технологии изготовления конструкций значительный экономический эффект достигается благодаря уменьшению высоты здания.

На полки тавра нижнего пояса опирается настил из многопустотных панелей для получения в производственном помещении гладкого потолка, на полки тавра верхнего пояса — настил из ребристых панелей. Для пропуска коммуникаций, подачи воздуха и размещения светильников в технических этажах через определенные расстояния многопустотные панели заменяются светосантехническими панелями. Светосантехнические панели могут быть установлены в необходимых местах вместо многопустотных, благодаря их одинаковым габаритным размерам.

Во избежание большого прогиба в железобетонных ригелях-безраскосных фермах и фермах с подкосами в крайних панелях (требование к жесткости ферм повышаются из-за опирания междуэтажных перекрытий), а также увеличения трещиностойкости нижние пояса ферм следует изготавливать с предварительным напряжением арматуры.

Технико-экономическая эффективность применения каркасов многоэтажных зданий с межферменными этажами определена сравнением их показателей с такими же показателями каркасов, запроектированных с применением типовых унифицированных конструкций серии ИИ-20. При проведении экономического сравнения имеет место несопоставимость отдельных параметров, например, при применении типовых конструкций пролеты составляют 6 и 9 м, в зданиях с межферменными этажами — 12 и 18 м. То, что типовые конструкции рассчитаны на нагрузку 2500 кг/м², а конструкции зданий с межферменными этажами — на меньшую нагрузку, частично компенсирует разницу в пролетах.

Сравнивались каркасы зданий шириной 24 и 36 м, имеющих по два основных этажа высотой 4,2 м и по два межферменных этажа высотой 3,6 м (от пола до пола).

Расчеты показали, что в здании шириной 24 м применение каркаса с ригелями-фермами и сеткой колонн основных этажей 12×6 м позволяет снизить расход бетона на 18,8 а стали—на 3,5%.

В зданиях шириной 36 м с каркасом, образованным колоннами и 12-метровыми фермами-ригелями, по сравнению со зданием той же ширины и каркасом с пролетами 9 м из типовых конструкций серии ИИ-20, расход бетона на каркас снижается на 18,4 а стали—на 15,1%. При увеличении пролета безраскосных ферм до 18 м экономия бетона на каркас здания составляет 12,7% при почти одинаковом расходе стали.

Для здания шириной 24 м сравнивались также основные показатели каркасов зданий, в которых межферменный этаж используется только для прокладки коммуникаций. В техническом этаже этого здания применен железобетонный настил, рассчитанный на нагрузку 75 кг/м², используемый в текстильной промышленности (серия 4-959-65). Анализ показал, что увеличение пролета производственных этажей в этом здании с 6 до 12 м приводит к уменьшению расхода бетона на 13,4% при увеличении расхода стали на 1,7%.

Приведенные данные показывают, что предложенные конструктивные решения экономически оправданы.

Пятая глава посвящена обобщению опыта строительства зданий с межферменными этажами, каркасы которых рассчитаны и запроектированы с учетом рекомендаций, сделанных в предыдущих главах. При этом выяснялось, как предложенные конструктивные решения влияют на изготовление, монтаж и перевозку конструкций каркаса.

Из построенных и уже введенных в эксплуатацию зданий указанного типа наибольший интерес представляют четырехэтажное здание в Ленинграде (два основных и два межферменных этажа), семиэтажное здание в Воронеже (четыре основных и три межферменных этажа) и восьмиэтажное здание в Запорожье (четыре основных и четыре межферменных этажа).

Построенное в Ленинграде здание с межферменными этажами для завода «Светлана» имеет размеры в плане 193×24 м при сетке колонн 12×6 м. Каркас решен с применением ригелей-безраскосных ферм с параллельными поясами. Высота основных этажей 6,0 м, межферменных — 3,6 м. В межферменных этажах расположены административные и бытовые помещения, а также коммуникации. Сборные железобетонные конструкции каркасов здания изготовлялись на заводе железобетонных изделий № 1 Управления Главленстройматериалов.

В 1969 году разработан каркас нового здания для строительства в Запорожье (проект выполнен ЦНИИпромзданий с участием автора). Высота основных этажей 4,2 межферменных — 3,0 м.

Каркас запроектирован с применением безраскосных ферм с параллельными поясами.

Ширина здания в плане 24 м (два пролета по 12 м), длина 102 м. Межферменные этажи используются только для размещения коммуникаций и инженерных устройств. Железобетонные конструкции изготовляются на заводе № 6 в Запорожье.

В Воронеже (проект выполнен КиевЗНИИЭП) построено многоэтажное промышленное здание с межферменными этажами для предприятия точного машиностроения.

В здании четыре основных и три межферменных этажа. Высота основных этажей 4,8, межферменных — 2,4 м. Размеры здания в плане 171,6×24 м.

В связи со спецификой технологии размещенного в здании производства все межферменные этажи заняты коммуникациями и инженерными устройствами.

В здании применен каркас с ригелями-фермами с подкосами в крайних панелях. Сборные железобетонные конструкции изготовлены на заводе железобетонных изделий № 2 треста № 6 «Стройдеталь» Главцентростроя.

Такие же здания, как в Воронеже, построены в Киеве, Риге и Саранске. В проектах этих зданий применены многоярусные каркасы с ригелями-фермами, ничем существенным не отличающиеся от каркаса, примененного в Воронеже.

Изготовление конструкций для построенных и строящихся зданий осуществлялось на существующих стендах заводов железобетонных изделий с применением обычного оборудования.

Транспортирование ригелей-ферм осуществлялось обычными транспортными средствами, так как по весу они не отличаются от ферм покрытий одноэтажных зданий.

Монтаж каркасов зданий производили с применением серийных башенных кранов. При этом, как правило, на каждом строительстве было два крана: один более мощный для монтажа колонн и ферм, второй менее мощный для монтажа плит перекрытий и других более легких, чем фермы, элементов.

Монтаж осуществляли в следующей последовательности: монтировали колонны, фермы-ригели и настилы связевой секции первого яруса на всю ширину здания; монтировали эти же элементы первого яруса секций, расположенных по обе стороны связевой секции; после выверки и установки каждой секции в проектное положение конструкцию окончательно закрепляли; после завершения монтажа первого яруса в аналогичной последовательности монтировались конструкции второго яруса.

Настилы по верхнему и нижнему поясам ферм укладывали после сварки всех монтажных стыков, т. е. после обеспечения жесткости двухпролетной рамы в поперечном направлении.

Таким образом, предложенные конструкции каркасов, как показало обобщение опыта строительства, можно изготовлять обычными методами, применяемыми для изготовления типовых сбор-

ных железобетонных конструкций, перевозить обычно применяемыми транспортными средствами и монтировать башенными кранами серийного изготовления.

Анализ сметно-финансовых расчетов, сделанных проектными организациями, позволяет сделать вывод о высокой технико-экономической эффективности применения каркасов с ригелями-фермами, в пределах высоты которых размещаются технические этажи.

Например, стоимость каркаса здания с межферменными этажами, построенного в Запорожье на 9,9% ниже по сравнению со стоимостью здания с подвесными сталеалюминиевыми потолками и на 17,7% — по сравнению со стоимостью здания с наиболее часто применяемыми алюминиевыми подвесными потолками.

Таким образом, данные сметно-финансового расчета подтвердили сделанные ранее выводы о технико-экономической эффективности применения каркасов с ригелями-фермами для многоэтажных промышленных зданий с техническими этажами.

ВЫВОДЫ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили получить следующие результаты.

1. Научно обоснованы конструктивные решения каркасов многоэтажного промышленного здания с этажами в межферменном пространстве.

Рекомендованы конструктивные схемы каркасов двух типов:

при использовании межферменного этажа для административных и бытовых помещений — каркас с ригелями в виде безраскосных ферм;

при использовании межферменного этажа только для технических нужд (прокладки коммуникаций и размещения инженерных устройств) — каркас с ригелями в виде ферм с параллельными поясами и подкосами в крайних панелях.

2. Теоретически доказано, что статический расчет многоэтажных каркасов с ригелями-фермами необходимо производить с учетом деформаций от продольных сил. Показано, что при игнорировании этого обстоятельства действительные усилия в элементах каркаса в зависимости от сечения увеличиваются или уменьшаются в 1,5—2 раза.

3. Предложен упрощенный метод расчета рам с ригелями-фермами, точность результатов которого достаточна для практических целей. Он заключается в том, что многоэтажная рама расчленяется по высоте на ряд одноярусных рам с шарнирами в середине высот примыкающих стоек, а для первого этажа — с шарнирами в середине высот вышележащего этажа и жестко заделанными стойками первого этажа.

Применение предложенной расчетной схемы дает возможность использовать для расчета на ЭВМ стандартные программы «СМ-4» и «Марс».

Экспериментальные исследования подтвердили правильность предложенного метода расчета.

Результаты экспериментальных исследований поперечной рамы свидетельствуют о возможности применения метода расчета с учетом перераспределения усилий; при этом применительно к поперечным рамам многоэтажных зданий с межферменными этажами уменьшение расчетных моментов в зонах сопряжения нижнего пояса с колонной с одновременным увеличением его последовательно в узлах, размещенных по крайним замкнутым контурам ригеля-фермы, не должно превышать 10%.

4. При расчете многоэтажных рам с ригелями-фермами, исходя из выявленных особенностей работы каркаса здания с межферменными этажами, рекомендуется руководствоваться следующим:

— для уменьшения количества марок железобетонных изделий при одинаковой высоте ярусов рамы и одной и той же нагрузке сечения следует подбирать по усилиям, возникающим в элементах первого яруса, так как в нем возникают неблагоприятные сочетания этих усилий;

— при одинаковой жесткости поясов нагрузку на ферму можно перераспределять между поясами в пределах 30%. Это упрощает задачу типизации конструкций и позволяет изменять назначение помещений в действующем предприятии.

5. Даны следующие рекомендации по конструированию поперечных рам каркасов:

— стыки безраскосных ферм с колоннами следует применять жесткие, стыки ферм с параллельными поясами и подкосами в крайних панелях рекомендуется делать шарнирными;

— наиболее эффективным способом увеличения жесткости и трещиностойкости железобетонных ригелей-безраскосных ферм и ригелей — ферм с подкосами в крайних панелях является предварительное напряжение арматуры нижних поясов ферм;

— пояса ферм обоих типов для опирания плит перекрытий следует выполнять с полками, так как несмотря на усложнение технологии конструкции существенный экономический эффект достигается благодаря уменьшению высоты здания;

— в зоне стыка стоек с поясами следует устраивать вуты.

6. Применение каркасов с ригелями-фермами для зданий, в которых размещены производства точного машиностроения, при сетке колонн 12×6 м позволяет снизить расход бетона на 18, а стали на 3,5% по сравнению с каркасами, решенными с применением типовых унифицированных конструкций (серии ИИ-20) с сеткой колонн 6×6 м.

Применение каркасов с ригелями-безраскосными фермами при сетке колонн 18×6 м позволяет снизить расход бетона на 12% при почти одинаковом расходе стали по сравнению с каркасами с при-

менением типовых унифицированных конструкций с сеткой колонн 9×6 м. При этом сметная стоимость строительства зданий с межферменными этажами снижается на 10—17%.

7. Предложенные конструкции каркасов многоэтажных промышленных зданий с межферменными этажами, как показал опыт строительства, можно изготовлять обычными методами, применяемыми для изготовления типовых сборных железобетонных конструкций и монтировать башенными кранами серийного изготовления.

Предложенные в работе методы расчета и конструктивные решения были использованы при проектировании и строительстве предприятий в Ленинграде, Запорожье, Воронеже, Риге.

Работа «Каркасы многоэтажных промышленных зданий с межферменными этажами» экспонировалась на выставке молодых специалистов ВДНХ СССР в 1970 г. Автор удостоен серебряной медали ВДНХ СССР.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Глебова Ф. Х. — Каркас многоэтажных промышленных зданий с крупной сеткой колонн. Труды ЦНИИпромзданий. Выпуск 6, М., 1967.
2. Глебова Ф. Х. — Статический расчет многоэтажных рам с ригелями-фермами. Расчеты конструкций промышленных зданий. Труды ЦНИИпромзданий. Выпуск 14, М., 1969.
3. Глуховский А. Д., Глебова Ф. Х. — Экспериментальные исследования многоэтажных рам с ригелями-фермами. Расчеты конструкций промышленных зданий. Труды ЦНИИпромзданий. Выпуск 14, М., 1969.