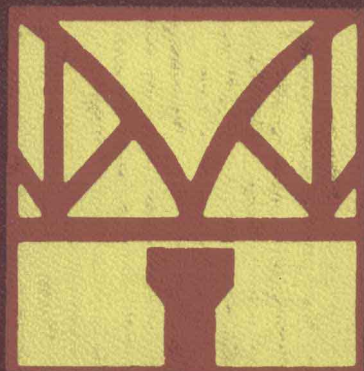


СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



*учебник
для вузов*



Учебное издание

*Иванов-Дятлов Иван Гаврилович
Деллос Константин Петрович
Иванов-Дятлов Андрей Иванович
Зверев Сергей Александрович
Попов Георгий Иванович*

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Зав. редакцией Б. А. Ягупов. Редактор Т. Ф. Мельникова Мл. редакторы Т. А. Погосян, О. С. Смотрина. Художественный редактор В. П. Бабикова. Технический редактор Э. М. Чижевский. Корректор В. В. Кожуткина

ИБ № 5906

Изд. № СТР-486. Сдано в набор 21.03.86. Подп. в печать 18.06.86. Т-07557. Формат 60×90/16. Бум. офс. № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Объем 34 усл. печ. л. 34 усл. кр.-отт. 36,84 уч.-изд. л. Тираж 42 000 экз. Зак. № 1189. Цена 1 р. 50 к.

Издательство «Высшая школа». 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.
Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

СТРОИТЕЛЬНЬ КОНСТРУКЦИ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
Д-РА ТЕХН. НАУК, ПРОФ. В. Н. БАЙКОВА
И Д-РА ТЕХН. НАУК, ПРОФ. Г. И. ПОПОВА

Издание второе,
переработанное
и дополненное

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебника для студентов
автомобильно-дорожных специальностей
высших учебных заведений



МОСКВА
„ВЫСШАЯ ШКОЛА“
1986

ББК 38.5
С 86
УДК 624.01

Рецензент:

кафедра «Строительные конструкции и мосты»
Ташкентского автомобильно-дорожного института
(зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. А. А. Ашрабов)

Строительные конструкции: Учеб. для авт.-дор. спец. вузов / И. Г. Иванов-Дятлов, К. П. Деллос, А. И. Иванов-Дятлов и др.; Под ред. В. Н. Байкова, Г. И. Попова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 543 с.: ил.

В учебнике рассмотрены основы проектирования несущих строительных конструкций — металлических, деревянных, пластмассовых, железобетонных, каменных — в соответствии с новыми строительными нормами. Приведены общие принципы их расчета и основные свойства конструктивных строительных материалов.

Особенностью учебника является совместное рассмотрение общих методов расчета строительных конструкций и физико-механических свойств конструктивных строительных материалов.

Во 2-е издание (1-е — 1976 г.) включены основные положения по реконструкции зданий и усилению несущих конструкций.

С $\frac{3202000000-385}{001(01)-86}$ 186—86

ББК 38.5
6 С4

© Издательство «Высшая школа», 1976.

© Издательство «Высшая школа», 1986, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга представляет собой второе, переработанное и дополненное, издание учебника «Строительные конструкции», вышедшего в свет в 1976 г. Основные методические положения учебника и его структура, принятые в первом издании, сохранены.

Учебник составлен в соответствии с программой курса «Строительные конструкции», утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования СССР для специальностей «Автомобильные дороги», «Мосты и тоннели» и «Строительство аэродромов» высших учебных заведений.

Принятый в СССР единый метод расчета строительных конструкций по расчетным предельным состояниям дает возможность создать общий курс металлических, деревянных, пластмассовых, железобетонных и каменных конструкций при достаточно компактном изложении основ проектирования, расчета и конструирования несущих элементов зданий и сооружений. Такое изложение помогает студентам легче усваивать учебный материал, свободнее ориентироваться в современных строительных конструкциях, правильнее обосновывать их выбор при проектировании.

Учебник состоит из введения и четырех разделов. В первом разделе рассмотрены методы расчета строительных конструкций и основные свойства конструктивных строительных материалов. Раздел второй посвящен металлическим конструкциям, раздел третий — конструкциям из дерева и пластмасс, четвертый — железобетонным и каменным конструкциям. Излагаются методы расчета и особенности конструирования строительных конструкций из различных материалов, особенности проектирования иллюстрируются примерами расчетов несущих элементов. Приводятся результаты экспериментальных исследований, освещаются вопросы изготовления и возведения, влияющие на конструктивную форму.

Во втором издании учтены разработки последних лет в области строительных конструкций. Все расчетные положения, указания по конструированию и примеры расчетов приведены в соответствии с действующими строительными нормами и правилами, в том числе СНиП II-03-01—84. Добавлены новые примеры расчетов, обновлены рисунки.

Главы 1, 2, 3, 15, 16, 22 написаны для первого издания д-ром техн. наук, проф. И. Г. Ивановым-Дятловым и канд. техн. наук, доц. А. И. Ивановым-Дятловым совместно и переработаны для настоящего изда-

ния доц. А. И. Ивановым-Дятловым; введение, главы 9—14, 17, 20 написаны канд. техн. наук, проф. К. П. Деллосом; главы 4, 5, 8, 24, написанные для первого издания канд. техн. наук, доц. С. А. Зверевым, переработаны для второго издания доц. А. И. Ивановым-Дятловым; главы 6, 7, 19, 23, написанные для первого издания доц. С. А. Зверевым, переработаны для второго издания проф. К. П. Деллосом; гл. 18, написанная для первого издания С. А. Зверевым, переработана для второго издания д-ром техн. наук, проф. Г. И. Поповым, предисловие и заключение написаны проф. К. П. Деллосом.

При подготовке второго издания были учтены замечания и пожелания, полученные в результате опыта преподавания курса «Строительные конструкции» с использованием первого издания данного учебника при подготовке студентов автомобильно-дорожных, транспортных и других специальностей высших учебных заведений.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время коренным вопросом экономической стратегии партии является кардинальное ускорение научно-технического прогресса. В двенадцатой пятилетке предстоит осуществить новую техническую реконструкцию народного хозяйства и на этой основе преобразование материально-технической базы общества, которая предусматривает подъем народного хозяйства на принципиально новый научно-технический и организационно-экономический уровень, перевод его на интенсивное развитие, а также достижение высшего мирового уровня производительности общественного труда, качества продукции и эффективности производства.

В целях интенсификации экономики и ускорения научно-технического прогресса предстоит существенно поднять технико-экономический уровень строительства, превратить строительное производство в единый индустриальный процесс, повысить качество и снизить стоимость проектных и строительных работ, сокращать сроки сооружения объектов и освоения производственных мощностей.

Качественная перестройка материально-технической базы производства обуславливает быстрое развитие и техническое совершенствование строительной индустрии в целом, применение в строительстве сборных конструкций заводского изготовления, непрерывное увеличение и расширение ассортимента конструкционных материалов, улучшение их качества, увеличение выпуска новых наиболее экономичных и прогрессивных видов.

В материалах XXVII съезда КПСС предусмотрено дальнейшее ускорение научно-технического прогресса, роста производительности труда, улучшение качества работ во всех звеньях народного хозяйства. Намечено дальнейшее повышение уровня индустриализации строительства, степени заводской готовности строительных конструкций, расширение полносборного монтажа промышленных и гражданских зданий и сооружений, на которых затрачивается минимальное количество трудовых, материальных и денежных ресурсов.

В решение важных задач совершенствования капитального строительства в нашей стране должны внести свой вклад и инже-

неры-строители. Они должны в совершенстве знать основные конструктивные решения зданий и сооружений различного назначения, четко представлять себе физико-механические свойства материалов, расчетные схемы и характер напряженного состояния элементов строительных конструкций.

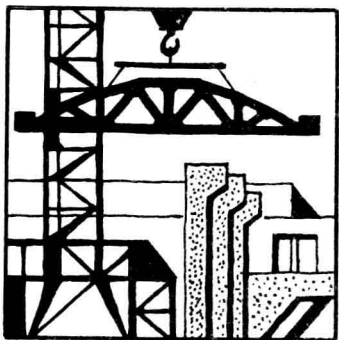
Курс «Строительные конструкции» является одним из важнейших и основополагающих курсов для подготовки инженеров любой строительной специальности, в том числе и для решения основных задач транспортного строительства, имеющих целью полное и своевременное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках. В связи с этим необходимо совершенствовать строительное производство и проектирование несущих элементов производственных зданий и сооружений на дорогах и в аэропортах.

Основной задачей при изучении курса является подготовка специалистов широкого профиля, способных к активному освоению и утверждению на практике всего передового в производстве, науке, технике и культуре, ориентирующихся в растущем потоке научно-технической информации, сочетающих высокую профессиональную подготовку, идейно-политическую зрелость, навыки организаторской, управленческой деятельности, хорошо знающих материалы и решения съездов КПСС, Пленумов ЦК КПСС и постановлений СМ СССР по вопросам развития и интенсификации строительного производства, проблем транспортного строительства и охраны природы, экономии труда, энергетических и сырьевых ресурсов.

Целью преподавания курса является изложение основных теоретических и практических положений, связанных с ростом и проектированием строительных конструкций из различных прогрессивных материалов (железобетона, металла, дерева, пластмасс).

Курс «Строительные конструкции» является фундаментальным курсом, на котором базируются основные дисциплины специальностей 1211, 1212 и 1213. Он основывается на знаниях общетеоретических технических дисциплин, таких как основы строительного производства, строительные материалы, сопротивление материалов, строительная механика.

В результате изучения курса студент в соответствии с требованиями квалификационной характеристики должен сочетать глубокую профессиональную и мировоззренческую подготовку с умением применять и осуществлять на современном уровне принципиально новые научные, производственные и организационные решения в области расчета и проектирования несущих строительных конструкций с использованием системных методов и средств электронно-вычислительной техники.



1

РАЗДЕЛ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

О

СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

ГЛАВА I

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Здания — строительная система, состоящая из несущих и ограждающих или совмещенных (несущих и ограждающих) конструкций, образующих наземный замкнутый объем, предназначенный для проживания или пребывания людей в зависимости от функционального назначения и для выполнения различного вида производственных процессов. Здания разделяют на гражданские (жилые и общественные) и производственные. К жилым зданиям относятся квартирные дома, общежития, гостиницы. Общественные здания предназначены для социального обслуживания населения, размещения общественных организаций, учебных заведений, административных учреждений (здания школ, техникумов, вузов, лечебно-курортные, административные здания, зрелищные, торговые здания, здания предприятий общественного питания). Производственные здания служат для размещения промышленных и сельскохозяйственных предприятий и предназначены для обеспечения необходимых условий для труда людей и эксплуатации технологического оборудования. К производственным зданиям относятся цехи заводов и фабрик, гаражи, животноводческие постройки, теплицы и т. п.

Сооружениями (инженерными сооружениями) называют постройки, предназначенные для выполнения каких-либо технических или других задач (например, мост, тоннель, аэродром, трубопровод, резервуар, бункер, монумент и т. д.).

Здание состоит из конструктивных элементов: фундаментов, стен, перекрытий, каркаса, перегородок, покрытий, лестниц, окон, дверей и др. Те элементы, которые воспринимают силовые и температурные воздействия и передают их через фундаменты на грунт, называют несущими конструкциями. Элементы зданий, защищаю-

щие внутренние помещения от воздействий внешней среды или отделяющие одно помещение от другого, называют ограждающими конструкциями. В некоторых частях зданий совмещаются несущие и ограждающие функции (например, перекрытия, внешние стены и т. д.).

В курсе строительных конструкций изучаются вопросы проектирования строительных объектов и их конструктивных элементов с учетом прочности, жесткости, устойчивости под воздействием постоянных и временных нагрузок. В качестве материалов для строительных конструкций используют железобетон, бетон, каменную кладку, металл (сталь и алюминиевые сплавы), дерево, пластмассы.

Долговечность здания определяется прочностью и устойчивостью его отдельных частей (материалов и конструкций) в течение всего срока службы без снижения эксплуатационных качеств. По долговечности здания делят на три степени: здания I-й степени должны иметь срок службы свыше 100 лет, 2-й степени — не менее 50 лет, 3-й степени — не менее 20 лет.

По огнестойкости здания подразделяют на пять степеней, которые характеризуются пределом огнестойкости конструкций и группой возгораемости основных частей зданий. Например, каменные здания могут относиться к I, II или III степеням огнестойкости в зависимости от свойств перекрытий и перегородок. Деревянные оштукатуренные и неоштукатуренные здания относятся соответственно к IV и V степеням огнестойкости и т. д. Предел огнестойкости конструкций выражается в часах и соответствует продолжительности сопротивления конструкции действию огня до потери несущей способности, до образования сквозных трещин или повышения температуры в среднем более чем до 160°C на противоположной от огня поверхности конструкции. В зависимости от материала строительные конструкции делят на негорючие, трудногорючие и горючие.

Исходя из требований к долговечности и огнестойкости основных конструкций, а также к эксплуатационным качествам, здания по капитальности делят на четыре класса, причем I класс отвечает наиболее высоким требованиям, а IV класс — минимальным требованиям по долговечности, огнестойкости и эксплуатационным качествам.

Здания и сооружения под воздействием постоянных и временных нагрузок работают как пространственные системы. Для расчета таких систем необходимы знания строительной механики, сопротивления материалов, теории упругости, позволяющие благодаря возможностям современной вычислительной техники провести анализ различных вариантов проектируемого объекта, используя уточненные расчетные схемы. В то же время возможности вычислительной техники не беспредельны, поэтому важно уметь достоверно рассчитывать сооружения, не прибегая к излишне сложным расчетным схемам. Для этого важно понимать работу сооружения в условиях эксплуатации и, в частности, уметь выделять из пространственных систем более простые самостоятельно работающие системы.

1.2. ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Железобетонные конструкции. Сборный и монолитный железобетон с ненапрягаемой и предварительно напряженной арматурой является основным материалом капитального строительства. На заводах сборного железобетона готовят для зданий и сооружений стеновые блоки и панели из тяжелых и легких бетонов, колонны, плиты перекрытий и покрытий, фермы, балки и арки, подкрановые балки, фундаментные блоки, элементы пространственных покрытий; для инженерных сооружений — сборные элементы пролетных строений мостов, подпорных стен, подземных переходов, отделки тоннелей на автомобильных и железных дорогах и т. д., а также отдельные изделия — опоры контактной сети, шпалы, трубы, элементы оград и др. Приведем несколько примеров использования железобетона в современном строительстве.

В Ленинграде покрытие автобусного парка с размерами в плане 144×96 м выполнено в виде сборных железобетонных сводов. Покрытие состоит из 12 тонкостенных оболочек размером 96×12 м, каждая с предварительно напряженными затяжками (рис. 1.1). Оболочка представляет собой «бочарный» свод из ребристых сборных элементов с номинальными размерами 3×12 м.

Пологой оболочкой двоякой кривизны покрыта центральная часть аэровокзала в г. Борисполе (рис. 1.2). Размер оболочки в плане 48×58 м, стрела подъема в середине оболочки 8,9 м. Оболочка собрана из железобетонных ребристых панелей с размерами $2,6 \times 8,0$ м; бортовые элементы оболочки — из труб диаметром 720 мм.

Покрытие корпуса промышленного предприятия состоит из сборных арок пролетом 36 и 24 м с предварительно напряженными затяжками и плоских ребристых кровельных плит (рис. 1.3). Средние арки пролетом 36 м опираются на сборные железобетонные колонны высотой 29 м с шагом 12 м; для крана грузоподъемностью 250 т приняты предварительно напряженные подкрановые балки пролетом 12 м.

Монолитный железобетон получил широкое распространение для массивных конструкций энергетических сооружений, в строительстве автодорог, аэродромных покрытий, в фундаментах под технологическое оборудование, а также в силосах, башнях различного назначения, дымовых трубах, где возможно бетонирование в подвижной опалубке.

Примером уникального сооружения в монолитном железобетоне является предварительно напряженная башня высотой 540 м Московского телецентра, железобетонная часть которой имеет высоту 385 м (автор — конструктор Н. В. Никитин).

В отечественной и зарубежной практике успешно строят гражданские здания большой этажности в передвижной, катучей и переставной опалубке или методом бетонирования перекрытий на земле с подъемом их домкратами на проектные отметки, с использованием быстротвердеющих цементов, ускорителей твердения и других современных средств.

В настоящее время в СССР, США и других странах для несущих элементов применяют ненапряженные и предварительно напряженные конструкции из легких бетонов классов В10—В40 с плотностью 1600...1900 кг/м³. Использование легких бетонов для конструкций высотных зданий, покрытий больших пролетов умень-

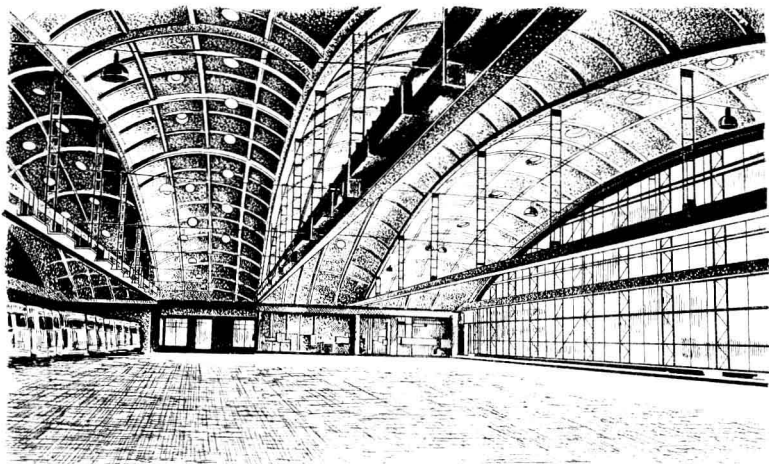


Рис. 1.1. Внутренний вид автобусного парка в Ленинграде

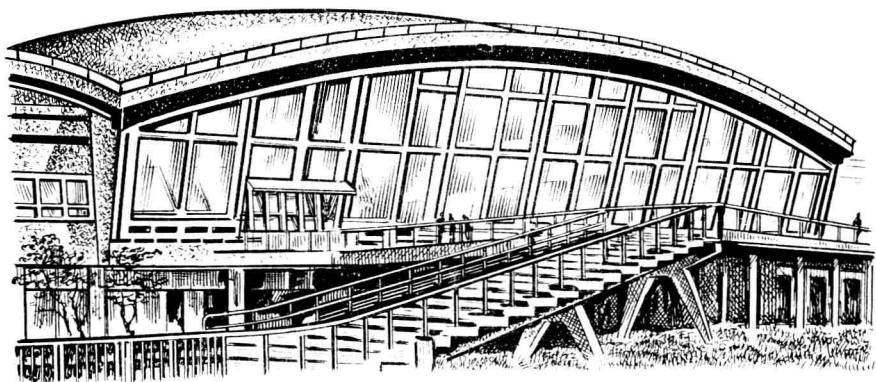


Рис. 1.2. Аэровокзал в г. Боржомели

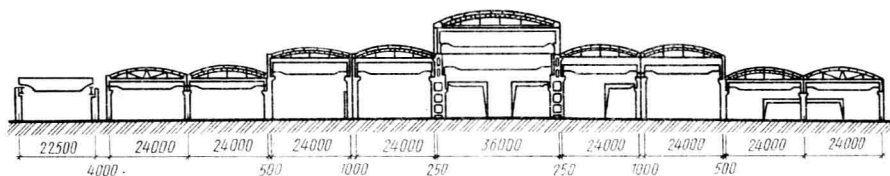


Рис. 1.3. Поперечный разрез корпуса промышленного предприятия

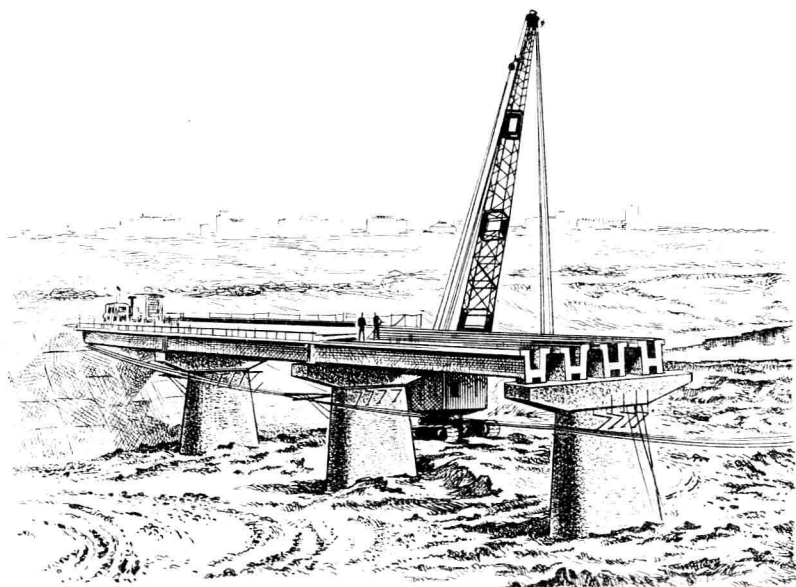


Рис. 1.4. Строительство керамзитожелезобетонного предварительно напряженного моста через р. Ахтубу

шает их собственный вес на 25...30%, на 5...10% снижает расход арматуры, на 8...12% удешевляет их стоимость.

В СССР на основе работ авторов этой книги из легких бетонов построено свыше 30 сборных керамзитобетонных мостов, в том числе первый в Европе мост такого рода с предварительно напряженной арматурой через р. Ахтубу (рис. 1.4). Керамзитобетон применен также для свай, ферм, подкрановых балок, настилов перекрытий, аэродромных и дорожных покрытий и т. д. В Армении и Грузии пемзобетон широко используют в строительстве мостов и гидротехнических сооружений.

Показателен пример возведения из легкого бетона административного здания (рис. 1.5) в г. Сиднее. Главная башня, круглая в плане, имеет диаметр 41 м и высоту 184 м (50 этажей). Подваль-



Рис. 1.5. Высотное здание из железобетона на легких заполнителях в г. Сиднее (Австралия)

ные этажи и колонны нижних этажей выполнены из монолитного железобетона, все остальные этажи смонтированы из сборных элементов из легкого бетона с плотностью 1730 кг/м^3 , прочностью 30 МПа.

Технико-экономический анализ показал, что применение тяжелого бетона увеличило бы стоимость здания на 33%.

Исследование структуры легких бетонов, их прочностных и деформативных характеристик, морозостойкости, коррозионной стойкости, огнестойкости и других свойств, а также практика строительства показали, что легкие бетоны с ненапряженной и предварительно напряженной арматурой могут применяться для возведения ответственных зданий и сооружений.

В СССР и за рубежом для изготовления стеновых панелей, плит покрытий и перекрытий используют ячеистые бетоны, для легких покрытий больших пролетов — тонкостенные армоцементные конструкции, для покрытий и стен промышленных зданий — панели из асбестоцемента с легким заполнением.

В последние годы значительное распространение получили предварительно напряженные железобетонные висячие покрытия больших пролетов. Висячее покрытие гаража в Красноярске (рис. 1.6) состоит из вантов пролетом 78 м, расположенных через 1,5 м, по которым уложены железобетонные плиты толщиной 25 см с ребрами с двух сторон. Выполненные из стержневой арматуры класса А-III ванта крепятся к наклонным железобетонным балкам, опертые на колонны. Шаг колонн и предварительно напряженных оттяжек 12 м. Оттяжки закреплены в грунте с помощью сборно-монолитных тарельчатых анкеров. Конфигурация поверхности покрытия близка к цилиндрической, уменьшение на 2000 мм стрелы провеса ванта в середине здания обеспечивает отвод воды к его торцам. Предварительное напряжение оболочки осуществляется пригрузкой, эквивалентной весу кровли и снега, с последующим замоноличиванием увеличившихся швов между плитами.

Висячая конструкция покрытия автобусного парка в Киеве с круглым планом диаметром 160 м (рис. 1.7) имеет шатровую форму с вантами, закрепленными на центральной стойке; по периметру здания расположены железобетонные колонны.

При подготовке к проведению Олимпиады-80 в Москве был построен ряд выдающихся

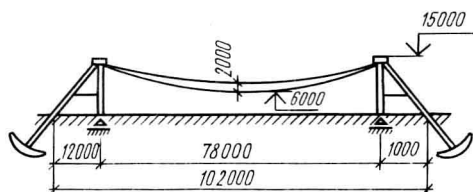


Рис. 1.6. Висячее покрытие гаража (г. Красноярск)

большепролетных спортивных зданий, явившихся крупным вкладом в развитие строительной науки и техники. Интересен инженерный замысел универсального спортивного зала «Дружба» (Москва). Покрытие зала представляет собой сборно-монолитную пространствен-

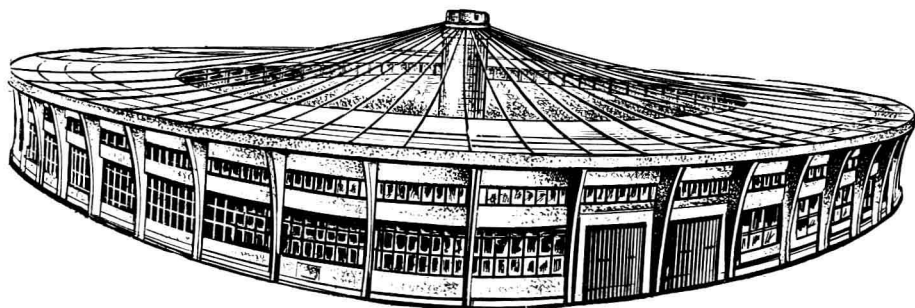


Рис. 1.7. Вантовое покрытие гаража (г. Киев)

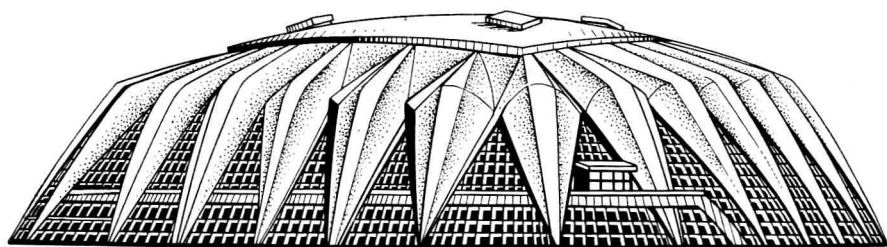


Рис. 1.8. Универсальный спортивный зал «Дружба» на Центральном стадионе им. В. И. Ленина в Москве

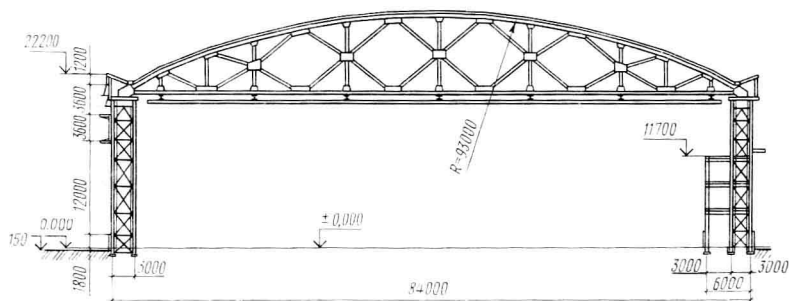


Рис. 1.9. Ангар в г. Алма-Ате (поперечный разрез)

ную железобетонную конструкцию, состоящую из пологой центральной оболочки размером 48×48 м и боковых складчатых оболочек (рис. 1.8). Верхнее железобетонное опорное кольцо и стальная затяжка обеспечивают восприятие кольцевых усилий и устойчивость складчатых оболочек. План сооружения — фигура, близкая к овалу с размерами 88 и 96 м.

Металлические конструкции. Стальные конструкции целесообразны главным образом в зданиях и сооружениях с большими нагрузками, пролетами и высотами, а также в цехах металлургических заводов с технологическими процессами, сопровождающимися выделением большого количества тепла. Железобетонные конструкции при этом выходят из строя из-за пересушивания бетона, а стальные при нагреве до $100...150^\circ\text{C}$ работают достаточно надежно. Они используются также в высоконапорных трубопроводах для нефти и газов, резервуарах, при сооружении каркасов уникальных высотных зданий, опор высоковольтных электросетей, подвижных конструкций кранов, разводных мостов и т. п.

В настоящее время в производственных зданиях стальные конструкции рекомендуются применять для ферм покрытий пролетом более 30 м, подкрановых балок под краны грузоподъемностью более 30 т, колонн высотой более 16 м. В общественных зданиях, спортивных сооружениях металлические конструкции во многих случаях оказываются более выгодными, чем железобетонные.

Совершенствование и удешевление металлоконструкций для промышленных зданий происходило посредством их типизации, модернизации и уточнения сортамента прокатных профилей, внедрения автоматической и полуавтоматической сварки, применения легированных и термически упрочненных сталей, предварительного напряжения конструкций с помощью затяжек из высокопрочных канатов и проволочных пучков. В практику строительства внедрены рулонные полотнища, которые перевозят в рулонах, а затем разворачивают и сваривают на месте строительства.

При строительстве крупных предприятий, например автомобильных заводов, практикуется монтаж стальных покрытий укрупненными блоками шириной 6 м из двух ферм.

Перспективно применение легких алюминиевых сплавов. Как показал опыт строительства в СССР и за рубежом, несущие конструкции, выполненные из алюминиевых сплавов, получаются на 40...50% легче аналогичных стальных конструкций, но конструкции из алюминиевых сплавов пока еще весьма дороги. В настоящее время алюминиевые сплавы широко применяют в ограждающих конструкциях (кровельные и стеновые панели) в виде обвязок оконных и дверных проемов и т. д.

Из сооружений, построенных в СССР с использованием металлических конструкций, следует отметить высотные здания Москвы и в первую очередь здание Московского государственного университета на Ленинских горах.

В практике последних лет наибольший экономический эффект получают при применении висячих, а также предварительно напря-

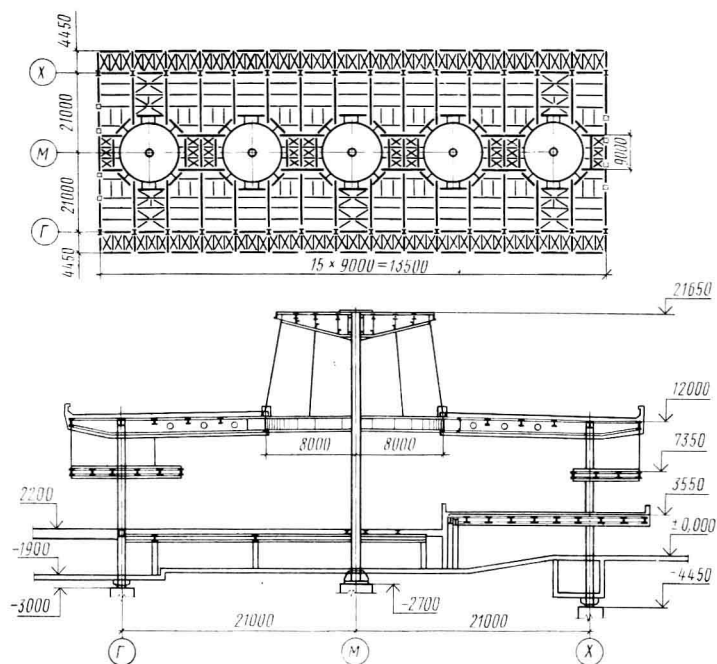


Рис. 1.10. Схема конструкций аэровокзала

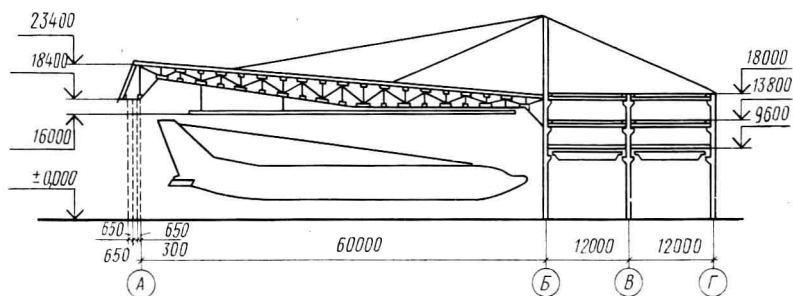


Рис. 1.11. Проект ангара (СССР)