

З. Руднев

1971-72

К у р т З и г е л ь

СТРУКТУРА И ФОРМА В СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЕ



**И з д а т е л ь с т в о
л и т е р а т у р ы
п о с т р о и т е л ь с т в у**

Известно немало трудов, посвященных изучению проблемы влияния конструкции здания на его форму. Но в большинстве из них авторы обращались к произведениям древнего зодчества.

Одним из первых, кто рассматривает эту проблему на материале новейшей архитектуры, является автор данной книги профессор Высшего технического училища в Штуттгарте Курт Зигель. В своем капитальном труде он обстоятельно анализирует формы современных зданий и сооружений из новых строительных материалов и выявляет их тектонику.

Автор назвал свою книгу «Strukturformen der modernen Architektur», что в дословном переводе означает «Структурные формы современной архитектуры». Мы, однако, не видим необходимости вводить в советский архитектурный словарь новый термин, предложенный Зигелем, учитывая, что понятие «структурные формы» в том смысле как его применяет Зигель в основном соответствует принятому в нашей архитектурной науке термину «тектонические формы»¹.

Говоря о «структурных» формах современной архитектуры, Зигель имеет в виду те формы, которые выразительно и правдиво отражают конструктивную систему сооружения, разработанную с учетом современных требований статики, техники и экономичности строительства.

К. Зигель в данном труде не занимается исследованием структурных форм микроорганизмов с целью создать на их основе новые архитектурные формы, как это делают неко-

торые другие авторы¹. Он лишь в начале некоторых разделов приводит примеры структуры организмов, формы которых можно рассматривать как условный прототип новых конструкций. В основном же Зигель, анализируя произведения современной архитектуры, слова «Struktur» и «strukturell» применяет в смысле «тектоника», «тектонично», иногда в смысле «конструкция» и «конструктивно» и только редко — в смысле «структура» и «структурно». Поэтому и приходилось эти слова переводить по-разному в зависимости от контекста и вложенного в них смысла. По этим же соображениям мы сочли необходимым изменить название книги в русском переводе, подчеркнув в нем проблему взаимосвязи структуры и формы в современной архитектуре, т. е. именно той тектонической связи, о которой идет речь на протяжении всей книги.

Анализируя в первой главе различные конструктивные системы каркасных зданий и выявляя особенности фасада каркасного здания при узком и широком шаге колонн, Зигель сосредотачивает внимание читателя на вопросах правильного архитектурного и конструктивного решения наиболее ответственных, с точки зрения внешней формы, частей каркасного здания (угла здания, перехода от нетипового первого этажа к типовой сетке каркаса верхних этажей, завершения каркасных зданий и т. д.), давая ценные советы проектировщику.

Специальную главу автор посвящает различным видам V-образных стоек, расширяющимся

¹ Очерки теории архитектурной композиции, глава III «Тектоника», М., Госстройиздат, 1960.

Г. Б. Борисовский. Современная строительная техника и эстетика. М., Госстройиздат, 1963.

¹ См. журнал «Современная архитектура» (Architecture d'Aujourd'hui), 1963, № 4.

И. Хельмске, Фрей Отто: «Оболочки и пространственные конструкции в природе и технике». Робер ле Риколь: «30 лет научных исследований в области конструкции».

кверху колоннам и виллообразно разветвляющимся стойкам. Эти формы часто встречаются в современной архитектуре, но, как показывает автор, они иногда применяются без понимания конструктивной сути новой архитектурной формы. V-образную стойку Зигель рассматривает во многих различных сочетаниях с другими элементами зданий и каждый раз раскрывает новые интересные конструктивно обоснованные формы этого элемента.

Последняя глава посвящена современным пространственным конструкциям из стержней и решеток, оболочек, сеток, палаток, т. е. тем видам сооружений, где конструкция одновременно является и формой.

В своем труде автор обращается не только к специалисту и студенту, но и ко всем читателям, интересующимся архитектурой. Последние, по мнению автора, также должны обладать некоторыми знаниями статики и свойств материалов, чтобы понять и оценить красоту и тектонику непривычных новых форм прогрессивных строительных конструкций. Для достижения максимальной доходчивости излагаемого материала автор при рассмотрении многих сложных геометрических форм (тела вращения, элементы гиперболических параболоидов, коноидов и т. д.) сознательно избегает применения математических формул. Многие факторы формообразования жестких и устойчивых конструкций он старается объяснить при помощи простых бумажных макетов и рисунков.

При анализе форм зданий и сооружений Зигель объявляет себя ярким противником всякой лжи и фальши в архитектуре, причину которых он видит не только в неправильном понимании концепций новых конструкций, но иногда и в беспринципности конструктора, услужливо выполняющего любую формалистическую затею архитектора.

В книге Зигеля, содержащей откровенную профессиональную критику многих отрицательных решений, критически рассматривается практика проектирования и строительства на Западе.

Зигель, указывая на опасность однообразия в архитектуре зданий, строящихся современными индустриальными методами, дает очень полезные советы, которые помогут найти в разных случаях наиболее экономичные по расходу материалов и лаконичные по применению конструктивных и архитектурных средств решения и тем самым достигнуть сильного художественного эффекта, живости и выразительности сооружения.

Следует, однако, подчеркнуть, что многие приемы композиции и формирования деталей, предложенные автором, которые оправданы при

строительстве из монолитного и сборно-монолитного железобетона, а также при монтаже зданий из стальных деталей, не всегда могут быть использованы в полносборном строительстве из железобетона, подчиняющемся другим закономерностям¹.

Тем не менее чтение книги Зигеля заставляет задуматься над тем, достаточно ли упорно мы ищем наиболее экономичные, тектонически правильные и конструктивно грамотные решения сборной конструкции, формы сооружения в целом и каждой детали в отдельности. Мысли, изложенные в этой книге высокоэрудированным архитектором и инженером, являются поэтому весьма поучительными также для тех, кто занимается проектированием массовых типовых зданий и унификацией сборных деталей.

Не всегда читатель может согласиться с положительными оценками, даваемыми автором в отношении архитектуры и тектоники сооружений, рассматриваемых им.

Нельзя также согласиться с утилитарно-конструктивистским подходом Зигеля к архитектуре. Он, например, даже не упоминает о таких средствах композиции, как игра света и тени, использование ритма, контраста легкого и тяжелого.

К. Зигель неоднократно утверждает, что архитектурная форма всецело вытекает из правильно примененной и грамотно решенной конструкции, и одновременно приводит примеры зданий, где заранее задуманная форма, по его мнению, оправдывает принятую конструкцию, как, например, у мемориального здания в Детройте, которому он дает положительную оценку (рис. 140). Эта же непоследовательность автора чувствуется в оценке некоторых зданий, формы которых он превозносит, хотя в этих формах не всегда имеется логика тектонического построения (рис. 96 и 97).

Нельзя также согласиться с автором, когда он пытается художественное творчество сделать монополией архитектора и художника. Так, давая высокую оценку тектоничности мостов инженера Майара, автор утверждает, что в них отсутствует элемент художественного творчества и что они являются лишь прекрасным результатом последовательной инженерной мысли. Для того чтобы возвысить произведение, созданное инженером, до уровня «художественного», требуется, по мнению Зигеля, «что-то необъяснимое», «привнесенное извне... благодаря художественному вдохновению...». В то же время в ряде случаев автор достаточно убедительно объясняет и критически правильно оценива-

¹ Взаимосвязь архитектуры и строительной техники, НИИТИ. В. И. Казаринова, М., 1964.

ет современные архитектурные произведения, не останавливаясь перед «необъяснимыми» или «привнесенными извне» явлениями. Это только доказывает, что истинная архитектура является искусством независимо от того, создана ли она в результате творчества архитектора или инженера. Нельзя не согласиться с автором в том, что наибольший успех в современном строительстве достигается только при тесном сотрудничестве архитектора и инженера.

В разных главах автор неоднократно возвращается к одним и тем же примерам из современной архитектурной практики. Это объясняется его желанием всесторонне рассмотреть конструктивные и архитектурные особенности зданий, анализ форм которых в данном труде проводится по отдельным системам и элементам конструкций, а не по архитектурному произведению в целом.

Особенный интерес данная книга представляет для тех, кто стоит перед задачами проектирования сложных уникальных сооружений и экспериментальных типовых зданий, а также для студентов архитектурных и строительных вузов и техникумов. Они найдут в ней множе-

ство различных примеров использования современных форм каркаса, оболочек, висячих покрытий, пространственных решетчатых конструкций, поймут их конструктивную, функциональную и художественную суть. Книга поможет им отличать правдивое решение от ложного, художественное архитектурное произведение в истинном смысле этого слова от формалистического. Все это позволит критически подойти к рассмотрению многих, на первый взгляд, очень эффектных сооружений зарубежной архитектуры.

Прав автор, утверждая, что современные достижения архитектурно-строительного искусства настолько многогранны и открывают такие просторы для творчества, что многообразие современных архитектурных форм не укладывается в какую-либо твердую общую систему, или «ордер». Умению правильно пользоваться этой богатой палитрой новых форм призывает и учит настоящая книга.

Русский перевод книги издается с незначительными сокращениями текста, но при полном сохранении всех иллюстраций.

Научный редактор перевода
В. ГРОССМАН

Эту книгу меня побудила написать непреодолимая тяга к изучению смысла, заложенного в формах, применяемых в строительстве. Больше всего меня привлекали закономерности форм природы, логичность хороших инженерных сооружений и выразительность выдающихся произведений архитектуры. Во всех этих формах, как мне кажется, заложено одно общее начало.

В книге делается попытка по-новому рассмотреть, проанализировать и объяснить с точки зрения архитектора проблемы тектоники, т. е. связи формы и конструкции в современной архитектуре с учетом последних технических и научных достижений.

Эта попытка некоторыми будет расцениваться как безнадежное стремление ввести инженерное мышление в область искусства. Тот, кто не разделяет моего отрицательного отношения к такого рода предрассудкам, кто не согласен считать строительную технику и механические свойства новых строительных материалов факторами, определяющими современную архитектуру, кто не признает необходимости ясного инженерного подхода к решению современных технических, а также и архитектурных задач, —

тому лучше за эту книгу не браться. С другой стороны, кто надеется найти здесь рецепты для «расчета» архитектурных форм, тот также будет разочарован. При всем положительном отношении к инженерному мышлению, в некоторых случаях следует воздержаться от поспешных выводов, какими бы рациональными и обязательными они ни казались, для того чтобы постигнуть основную тенденцию в развитии тектонических форм.

В книге делается попытка выяснить тектонические формы современной архитектуры и четко раскрыть их конструктивную суть. Тем самым в книге выражено определенное отношение к современной архитектуре.

Возможно, что в книге имеются недостатки, которые являются неизбежными при рассмотрении такого обширного материала. Возможно, в ней имеются противоречия, так как своеобразие форм не исключает различного толкования. Но если эта книга заставит читателя критически мыслить, если она вызовет уважение к тому, что в архитектуре является определенным и доказуемым, если будет содействовать внесению ясности и правдивости в архитектурное творчество и тем самым поможет противопоставить

формалистическим вывертам и модным увлечениям внешними эффектами обоснованное решение, тогда она выполнила свое назначение.

Поскольку речь в книге идет о форме, необходимы графические пояснения. А ввиду того, что в книге выражается отношение к определенным явлениям в архитектуре, — неизбежна и критика уже построенных объектов. Но

чтобы критика касалась наиболее типичных явлений, а не частных случаев, автор предпочел воспользоваться анонимными эскизами, значительно обобщив их.

В книге использованы примеры, в которых особенно ясно отражена взаимозависимость между конструкцией и формой.

КУРТ ЗИГЕЛЬ

Штутгарт, лето 1960 г.

Всякий архитектурный замысел осуществляется определенными техническими средствами. С помощью техники архитектура принимает ту или иную форму и становится материальным выражением своей эпохи.

Техника всегда оказывала влияние на архитектурные формы. Во все времена техника и новые строительные материалы служили архитекторам источником творческого вдохновения. Не будь техники — не было бы ни Парфенона, ни готики.

Непосредственная связь, существовавшая в прошлом между техникой и искусством, была потеряна по мере выделения техники в самостоятельную область. Единство искусства и техники было нарушено. Архитектура, которая раньше объединяла и искусство, и технику, все более становилась непосредственной областью деятельности инженера, в то время как искусство ограничивалось лишь задачами декоративного характера.

Всякая попытка вновь направить архитектуру по художественному руслу неизбежно потерпит неудачу, если техника не будет включена в процесс художественного творчества. Кстати, под техникой не следует в данном случае понимать те новые виды инженерного оборудования, которые создают современный комфорт в зданиях. Ни установки по кондиционированию воздуха, ни другое санитарно-техническое оборудование не влияют на качество современной архитектуры и на ее выразительность. Но структура несущего остова, без которого не может быть осуществлено никакое архитектурное сооружение, становится в настоящее время наиболее важным техническим компонентом творчества. И когда речь идет о технике, то именно это следует иметь в виду.

Современная архитектура отличается обилием новых технических решений, которые еще не получили своего художественного воплоще-

ния. Это, однако, не дает основания отрицать значение техники в формировании архитектуры. Неправильно также пытаться сделать конструкцию более «человечной», облакая ее в декоративное убранство.

Попытки осмыслить роль техники в нашу эпоху предпринимаются непрерывно. С этой целью ссылаются на соответствующие высказывания философов, религиозных мыслителей, деятелей искусства и науки. Однако до настоящего времени не было попыток рассмотреть одну лишь техническую сторону в творческом процессе без отвлеченных рассуждений. Настоящий труд и является такой попыткой. При этом автор не намерен касаться вопросов теории архитектуры и избегает применения специфического языка, понятного только знатокам искусства. Он стремится выявить лишь закономерности в современном строительном искусстве и проследить то влияние, какое они оказывают на формы современной архитектуры. При этом становится ясным, что функциональный анализ конструкции сооружения более полно раскрывает закономерности архитектурной формы, чем кажущиеся глубокомысленными рассуждения о значении формы, если в этих рассуждениях, как это часто бывает, не учитывается техническая сущность исследуемого явления.

Понимание технических форм предполагает наличие определенных знаний. Без знания дела, чисто интуитивно, технические формы понять нельзя. Без знакомства с соответствующими научными предпосылками нельзя во всем объеме постичь природу тех форм архитектуры, в которых заметно влияние техники. Знание, как предпосылка понимания, означает вторжение разума в область эстетики. Признание этого факта должно быть безусловным при изучении форм современной архитектуры, развитие которых связано с техническим прогрессом.

Привлечение технических закономерностей

для определения эстетических ценностей придает особое значение экономическому мышлению. Это мышление, конечно, не имеет ничего общего с категориями ценностного порядка. Экономия является в данном случае духовным принципом, своего рода всеобъемлющим нравственным законом художественного творчества, максимальным достижением, к которому стремятся (считая и достижения духовного и эстетического порядка) при минимальной затрате средств.

С тех пор как существует современная архитектура и современная техника, было много дискуссий о взаимосвязи целесообразности и красоты. Ван де Вельде в своих «Беседах для неискушенных о прикладном искусстве» сформулировал существенную черту красоты архитектуры как «полное соответствие между средствами и целью». Мис ван дер Роэ сказал: «Функция является искусством».

Неправильное толкование этих слов часто приводило к искажению смысла. Правильно понятое, они выражают единство искусства и техники в современной архитектуре. Формы, создаваемые на основе этого единства, в которых запечатлена техника строительства, мы называем «тектоническими».

Тектонические формы не поддаются расчету; они — результат творческого процесса формообразования. Взаимозависимость между конструкцией и формой слишком сложна, чтобы одними цифрами можно было выразить полученную форму. В конечном итоге форма является произведением искусства. Мы рассматриваем тектоническую форму как типичную форму, обусловленную конструкцией. Эта форма обладает выразительностью не только в одном отдельно взятом случае, а становится общепризнанной благодаря тому, что является органической частью определенного архитектурного целого.

В архитектуре с давних времен существуют тектонические формы. Они много раз повторяются и переживают тот или другой стиль. Элементарным примером тектонической формы является каменная балка, опирающаяся на две опоры (рис. 1). Каменные балки применяли еще в доисторических местах культа; в обжитой форме балки встречаются почти во всех эпохах строительного искусства. Разнообразный материал и различные приемы его обработки приводят на разных этапах развития культуры к созданию различных форм балок. Однако содержание формы всюду остается одинаковым, пока соблюдены законы тектоники.

В формах позднего классицизма, в которых каменные балки заменяются стальными с каменной облицовкой, пропадает выразительность.

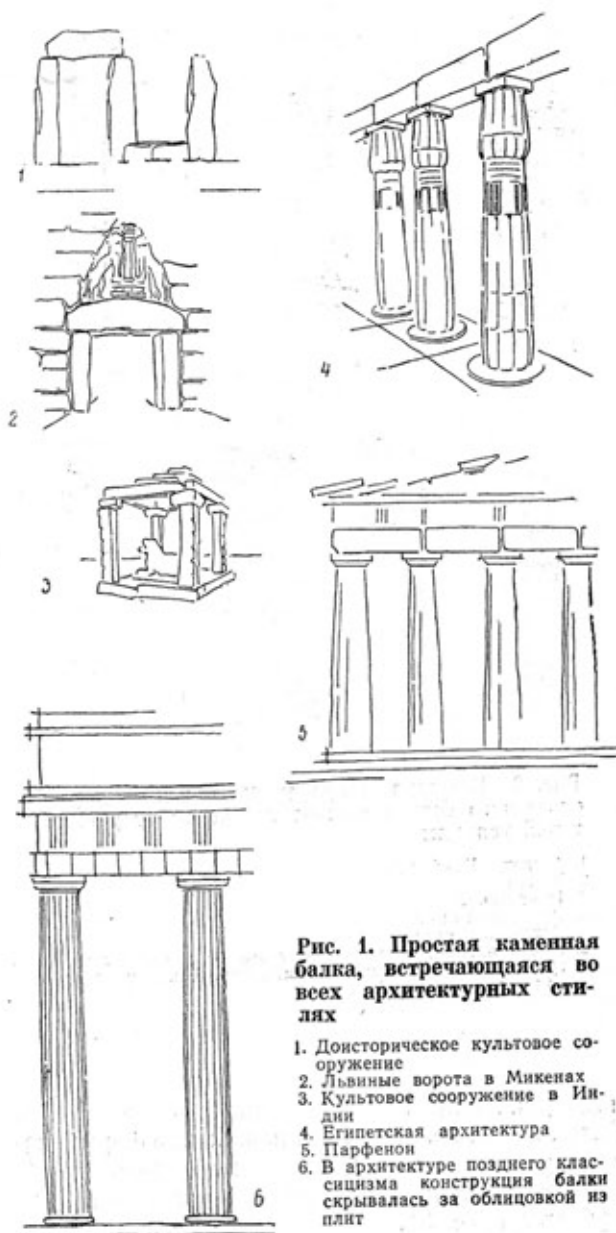


Рис. 1. Простая каменная балка, встречающаяся во всех архитектурных стилях

1. Доисторическое культовое сооружение
2. Львиные ворота в Микенах
3. Культовое сооружение в Индии
4. Египетская архитектура
5. Парфенон
6. В архитектуре позднего классицизма конструкция балки скрывалась за облицовкой из плит

Она уступает место нарочитой монументальности. Тектоника утеряна.

Простой вертикальный столб стал символом элемента, несущего нагрузку. Он встречается в архитектуре всех стран. В то время как капитель и база, служащие переходом к тем частям строения, которые расположены выше и ниже колонны, в сотнях вариантов символически изображают передачу усилий, сама колонна, не считая орнаментации, в общем сохраняет свою цилиндрическую или призматическую форму,

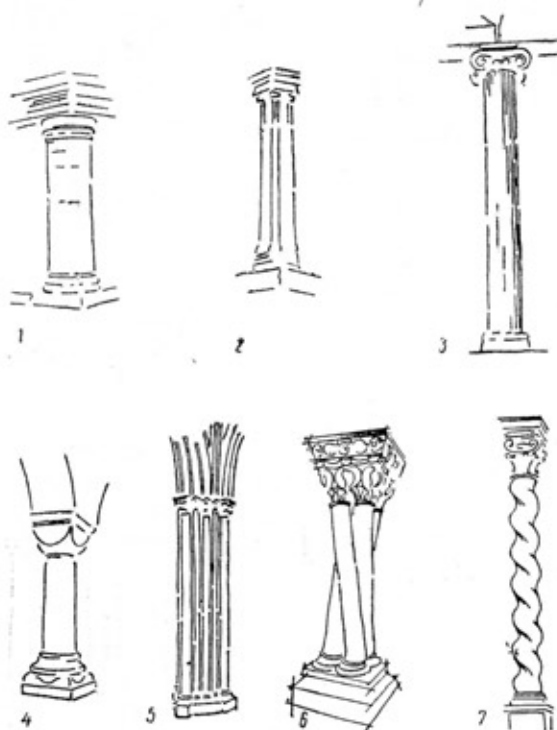


Рис. 2. Несущая опора должна иметь форму сплошного ствола соответственно действующим в ней усилиям

1. Ангкор, Камбоджа
2. Индия
3. Ионический стиль
4. Романский стиль
5. Готический стиль
6. Пучок наклонных колонн так же мало соответствует требованиям тектоники несущей опоры, как и отдельная витая колонна 7

подчеркивающую вертикальность элемента. Витой пучок колонн — это искажение формы колонны, как и отдельная витая колонна. Тектоническая правда уступает место театральному эффекту (рис. 2).

Стройная система нервюр лучших готических соборов — это не формалистическое излишество. Эти нервюры являются одновременно конструкцией и подлинно тектонической формой.

Декоративные рисунки нервюр ложных сводов поздней готики не отражают направления усилий (рис. 3). Они не выполняют несущих функций. Нервюры этого рода относятся к категории орнамента и не являются тектонической формой.

С зарождением современной техники в конце XIX в. в истории развития западного строительного искусства исчезают стилевые признаки позднего классицизма и все смелее прояв-

ляются формы, порожденные новой строительной техникой. Попытки совершить переворот в архитектуре путем внедрения стиля «модерн», имеющего в своей основе чисто этическое и художественное начало, не были связаны с характерным явлением времени, а именно, с развитием техники.

Чикагская архитектурная школа опередила время на полстолетие и ввела в практику каркасное строительство, соответствующее направлению в архитектуре, господствующему в XX в. Самобытность высотных зданий Чикагского Сити, до сих пор доминирующих в силуэте города, объясняется не в последнюю очередь тем, что они были созданы без предубеждения против технического прогресса. Только благодаря этому уже к исходу XIX в. удалось понять новые функции высотных зданий в больших городах. Логичным следствием этого было освоение техники высотного строительства с применением стального каркаса.

Но и это прогрессивное явление было только лишь эпизодом.

Несмотря на то, что развитие строительного искусства находилось на правильном пути, в архитектуре господствовали извращенные вкусы того времени и прогрессивные конструкции в течение нескольких десятилетий были скрыты под завесой формалистической разностилевой бутафории. Лишь в 20-х годах этого века появились представления о формообразующих принципах конструкции в архитектуре. Интересно отметить, что не инженеры, а такие архитекторы, как Ле Корбюзье и мастера Баухауса, ввели новое понятие о стиле. Они пришли к соответствующим выводам не на основе инженерно-технических познаний, а предугадывая новый мир инженерных форм чисто интуитивно и придавая ему художественное выражение. При этом довольно часто создавались такие произведения, которые в дальнейшем оказывали влияние на развитие строительной техники.

Однако в то время еще не были отработаны ясные формы новых конструкций, а необходимость в них еще не нашла общего признания. Только лишь в последующие десятилетия традиционные архитектурные понятия претерпели полное изменение, и представления о современной технике и архитектуре окончательно пробили себе дорогу. Одновременно стали развиваться все предпосылки, необходимые для законченного понимания архитектуры. Происходила последовательная переоценка ценностей. Увеличивалась склонность к критическому анализу новых открытий с целью более глубокого проникновения в неисследованные области техники и искусства.

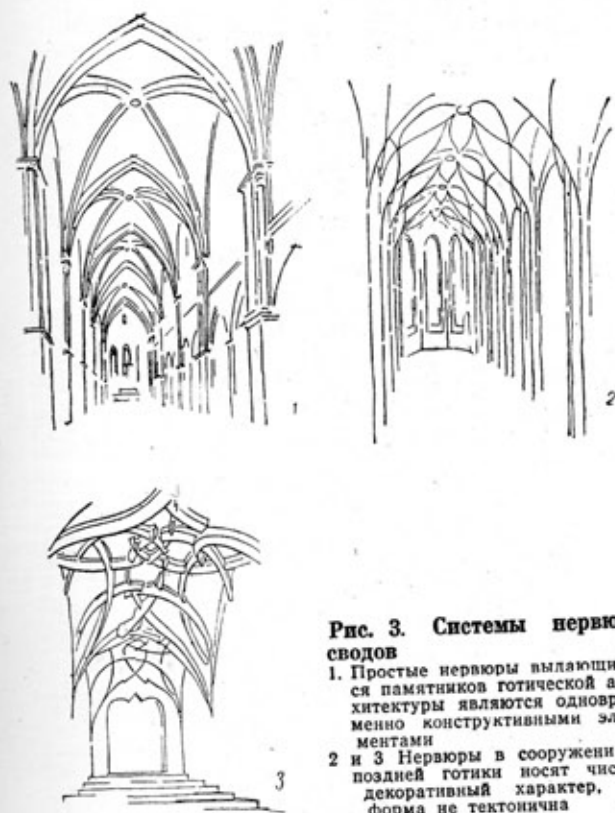


Рис. 3. Системы нервюр сводов

1. Простые нервюры выходящих памятников готической архитектуры являются одновременно конструктивными элементами
- 2 и 3 Нerviуры в сооружениях поздней готики носят чисто декоративный характер, их форма не тектонична

Вместе с развитием техники отпадали и те ограничения, которые прежде сдерживали формалистический произвол. Все становилось технически возможным. Любая абсурдная идея может быть воплощена в строительстве. Утверждение «технически не осуществимо» отпало. В результате больше чем когда-либо раньше развивалась модная погоня за эффектом. Фотография и печать содействовали распространению эффектных форм, а многотиражные издания способствовали их популяризации. Оздоров-

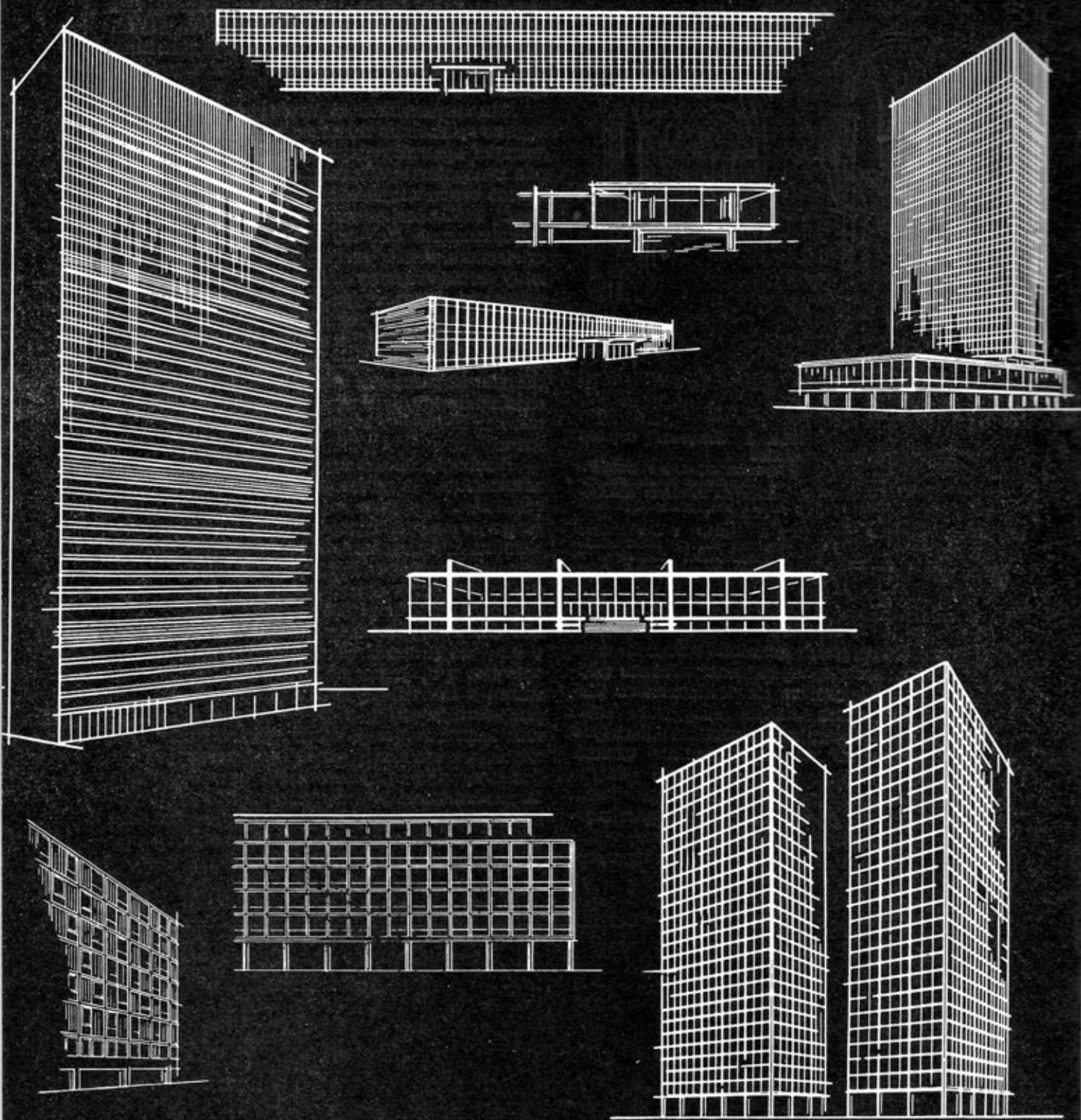
ляющее влияние инженерной мысли и ее моральная сила были преданы забвению. При этом парадоксальным является то, что всякий художественный промах вновь приписывался технике. Таково положение и в настоящее время.

Для современной архитектуры крайне необходимо выявление технических проблем, порождающих архитектурную форму. Такое выявление послужит предпосылкой для будущих процессов очищения архитектуры, которые необходимы, чтобы современное зодчество не погрязло в формализме. Все симптомы такого формалистического конструктивизма ясно видны каждому внимательному наблюдателю. Так как современная архитектура по сравнению с архитектурой прежних лет в большей степени основана на технике, для понимания архитектуры требуются знания конструкции. Иначе говоря: сегодня оказывается недостаточным рассматривать архитектуру только с эстетической стороны, как это практиковалось до настоящего времени.

Возникла необходимость разобраться в механических, статических естественных зависимостях, которые являются предпосылками развития тектонических форм. В прежнее время техника строительства была понятна всем, но сегодня приходится искать новые пути для того, чтобы понимать сложные инженерные и научные проблемы, которые стали частью современной архитектуры. В конечном итоге речь идет о том, что техника, значение которой для архитектуры в прошлом никогда не вызывало сомнения в настоящее время занимает еще более выдающееся место в процессе формообразования архитектуры. Современную технику необходимо поставить на службу архитектуре. Наиболее важной предпосылкой для этого должна быть готовность найти правильную взаимосвязь архитектуры как искусства и строительной техники без антагонистического их противопоставления.



Фото 6. Здание фирмы «Ингленд Стил», Чикаго. Архитекторы Скидмор, Оуингс и Меррилл



Современные каркасные конструкции появились в результате применения в строительной практике стали и бетона. К характерным чертам каркасных конструкций относятся уменьшение размеров сечения несущих элементов до минимума, соответствующего статическим расчетам, и четкое функциональное разграничение несущих и ненесущих элементов. Каркас состоит из жестко соединенных между собой ригелей и стоек. Преимущества его применения в наибольшей степени проявляются в многоэтажном строительстве. Большая несущая способность новых строительных материалов позволяет возводить все более высокие сооружения в соответствии с возрастающими современными требованиями. Для облика наших крупных городов характерны в основном каркасные здания из стали и бетона точно так же, как для средневековых городов — деревянные фахверковые здания. Прямоугольные плоскости фасадов современных каркасных зданий зрительно разбиты сеткой линий на ячейки. Именно только эти ячейки в определенной степени соразмерны масштабу человека. Из таких отдельных ячеек зрительно складывается сооружение, а внутренняя организация пространства как бы подчиняется структуре несущего каркаса.

Лишенные украшения жесткие решетчатые фасады и большие размеры зданий производят на первый взгляд гнетущее впечатление на того, кто еще не вник во внутреннюю конструктивную суть современной архитектуры. Облик фасадов современных зданий определяется не кирпичной кладкой, тесаным камнем или деревом, а стеклом, металлом и различными стеновыми панелями. Они образуют внешнее ненесущее ограждение, которое заполняет ячейки каркаса или служит его облицовкой.

В решении фасада каркасных сооружений наблюдаются две противоположные тенденции: в одном случае каркас виден на фасаде, а в другом он скрыт за навесным ограждением.

Вполне понятно, что при рассмотрении конструктивных форм наибольший интерес вызывает открытый каркас. Возможность непосредственного зрительного восприятия конструкции способствует проникновению в тектонику сооружения. Поэтому большое место в настоящей главе отведено послевоенной архитектуре, отличающейся обилием примеров зданий с открытым каркасом.

Навесные стеновые панели закрывают каркас снаружи. При этом конструкция может утратить значение для архитектурного облика здания. Расчленение сооружения на несущий каркас и облицовку, навешенную на него, может привести к раздвоению архитектуры на утилитарную конструктивную часть и декоративную завесу. Если в современной архитектуре искать единство конструкции и формы, то каркас не следует рассматривать как второстепенный элемент. Даже находясь за навесной стеной, каркас может быть выявлен в архитектурном решении всего сооружения.

Рассмотрение архитектуры каркасного сооружения при наличии навесных стеновых панелей несколько сложнее, чем при открытом каркасе. Оно требует предварительного изучения открытых каркасных конструкций. Поэтому сначала речь будет идти только об открытых каркасных конструкциях, а архитектура навесной стены рассматривается отдельно в настоящей главе.

Следующие разделы посвящены в основном многоэтажным административным и торговым зданиям больших городов, которые в большин-

стве случаев представляют собой каркасные здания. Однако высотным домам уделено меньше внимания, поскольку при их проектировании учитываются преимущественно ветровые нагрузки, а обычные вертикальные нагрузки учитываются во вторую очередь. Для многих сооружений средней и малой этажности проблема восприятия ветровой нагрузки решается весьма просто благодаря тому, что поперечная жесткость здания обеспечивается поперечными стенами, лестничными клетками или шахтами лифтов внутри здания, и, таким образом, ветровая нагрузка не оказывает никакого влияния на внешний архитектурный облик здания. Решение каркаса этих сооружений определяется, в первую очередь, воздействием не ветровых, а вертикальных нагрузок. Их восприятие и является основной конструктивной задачей каркаса. Эти нагрузки предопределяют применение различных конструкций, а также внешний облик сооружения. Каркасы, воспринимающие только вертикальные нагрузки, практически невозможно отделить от каркасов, воспринимающих также и ветровые нагрузки. Границы здесь весьма неопределенны.

В нашем исследовании мы берем за основу нагрузки, которые определяют формы и размеры перекрытий, ригелей и колонн. Начало и основная часть настоящей главы посвящены анализу сетки каркаса как основы архитектурного членения фасада. В следующих разделах рассматриваются элементы каркасных зданий.

Система сетки каркаса

Термин «сетка» часто используется для характеристики неудачной архитектуры каркасных зданий. Со словом «сетка» связывается представление о монотонном членении объема вне связи с его функцией. Говорят о «сеткоmannии», опорочивая тем самым заложенный в модульной системе порядок расположения элементов, который при неправильном применении может привести к схематизму.

Если попытаться отбросить это, то под словом «сетка» следует понимать систему пересекающихся линий, которая сама по себе не может быть ни хорошей, ни плохой; она представляет собой определенный принцип членения фасадов. Конечно, если «сетка» создается, только исходя из формальных соображений, другими словами, если она произвольно проектируется на фасад для того, чтобы создать лишь видимость определенного порядка, то у нее нет

никакой связи с функцией здания. В этом случае возникает скучное однообразие, свойственное многим каркасным сооружениям, которое вполне закономерно вызывает нарекания. Однако если выбранная сетка отвечает поставленной задаче и увязана с конструктивной схемой здания, то пропорции ее будут отражать единство функции и формы, и тогда последняя органически сливается с общей структурой здания.

Для лучшего понимания системы сеток мы делим их на две большие группы: на системы с узким шагом и системы с широким шагом, примеры которых приведены на рис. 4. Эти системы отличаются друг от друга расстоянием между колоннами и стойками. Остальные различия вытекают из этого основного признака. Поскольку различное расстояние между колоннами влияет на членение фасадов и фактически приводит к двум принципиально различным системам, которые в тектоническом отношении существенно отличаются друг от друга, то принятое деление на узкий и широкий шаг является, по-видимому, обоснованным.

Система с узким шагом колонн

Система с узким шагом характеризуется тем, что между двумя колоннами расположено только одно окно. Если между широко расставленными колоннами размещается несколько окон, то речь идет о широком шаге. Сравнение рис. 5, где показаны типичные сетки с узким шагом, с рис. 11, где показаны типичные сетки с широким шагом, наглядно иллюстрирует это различие.

Применение узкого шага вызвано в меньшей степени законами статики, чем требованиями планировки здания. Наружная стена с оконными проемами, подоконными панелями и несущими колоннами дает возможность устанавливать перегородки только в местах расположения колонн. Чем меньше расстояние между колоннами, тем больше возможностей размещения перегородок, тем легче приспособить планировку здания к различным требованиям, тем полнее можно использовать внутреннее пространство здания. В тех случаях, когда нет необходимости в членении площади этажей на мелкие помещения, т. е. когда требуются большие помещения, сетка с узким шагом не нужна. В ФРГ, где во многих административных зданиях еще преобладают небольшие изолированные помещения, значительное распространение получил узкий шаг.

В Америке, где даже в административных зданиях преобладают большие помещения, уз-

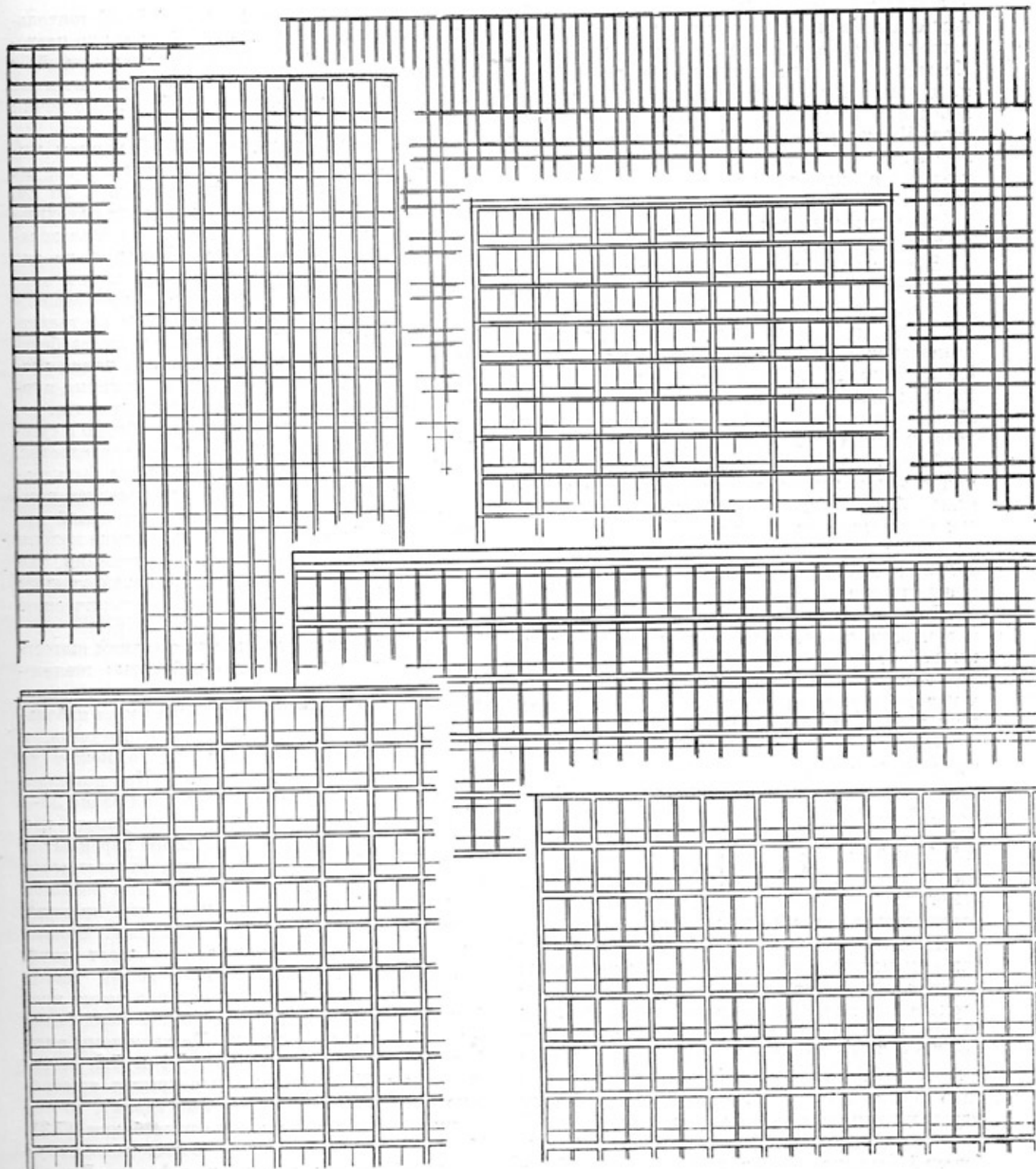


Рис. 4. Сетка фасада как отражение каркасной конструкции

кий шаг не применяют. Только навесные стеновые панели на фасадах нередко создают впечатление очень частого членения последних. Но это объясняется не близким расстоянием между несущими колоннами, а сравнительно небольшими размерами сборных элементов фасада. Четкое различие между узким шагом с небольшим расстоянием между несущими колоннами и широким шагом с мнимым частым членением фасада из навесных стеновых панелей весьма важно для понимания последующих глав книги.

В результате многочисленных попыток согласовать узкий шаг колонн с основными размерами мебели и ее расстановкой в конторских помещениях были получены самые различные размеры шага колонн в пределах от 90 см до 3,5 м. Каждый из этих размеров имеет свои преимущества и недостатки. Статистическое обследование показало, что в течение последнего десятилетия в ФРГ приблизительно у 50% всех наиболее значительных административных зданий с узким шагом колонн расстояние между осями было равно 1,8—1,9 м. Следовательно, эти величины считаются в ФРГ наиболее подходящими для административных зданий и используемой в них мебели, поэтому им отдается предпочтение.

Помимо учета функциональных требований и вопросов экономичности при выборе столь важной величины учитывали также и требования архитектуры. Узкий шаг легко приводит к некоторому единообразию, о чем свидетельствует послевоенное строительство в ФРГ.

Для того чтобы выяснить тектонику фасадов с узким шагом, следует проанализировать нормальную нагрузку, приходящуюся на близко расположенные опоры, и рассмотреть наиболее распространенные конструкции перекрытий. Такой анализ, а также рассмотрение проблем строительной физики и техники монтажа помогут выявить тектоническую форму, которая соответствует узкому шагу колонн.

На рис. 6 показаны средние сечения колонн при «узком шаге» в железобетонных каркасных зданиях высотой от 4 до 12 этажей. У стального каркаса сечения элементов несколько меньше; однако если учесть толщину требуемой огнеустойчивой, а также теплоизоляционной обложки, то габариты стальной и железобетонной опор почти не отличаются друг от друга. Размеры колонн рассчитаны для максимальной нагрузки на втором этаже с учетом только требований статики, но без учета требований эстетики. Даже при высоте здания 12 этажей колонны благодаря небольшому расстоянию между ними имеют необычайно малое сечение. На каждую отдельную опору приходится сравни-

тельно небольшая нагрузка. Но это обстоятельство обычно не учитывается. Поэтому до настоящего времени в большинстве сооружений с «узким шагом» опоры выполняли значительно большего сечения, чем это необходимо с точки зрения статики.

Согласно действующим в ФРГ нормам минимальная толщина опор, изготовленных из монолитного бетона, должна составлять 20 см, что является вполне достаточным; эта величина может быть снижена до 15 см при использовании сборного железобетона. Несмотря на это довольно часто встречаются сооружения с опорами толщиной 30—50 см даже при небольшом количестве этажей. Эти размеры не соответствуют несущей способности стали и железобетона. В погоне за монументальностью такие размеры опор часто принимаются аналогично привычным размерам столбов старых каменных сооружений; однако это имеет мало общего с сущностью современного каркасного строительства.

Колонны при узком шаге должны быть небольшого сечения. Об этом всегда следует помнить в интересах создания выразительной архитектуры. Всякое излишнее утолщение колонн как за счет монтажа в них коммуникаций, так и применения облицовки или же изолирующего покрытия, только нарушает тектоническую стройность колонн.

В каркасных конструкциях с «узким шагом» целесообразно применять ребристые железобетонные перекрытия, опирающиеся на рандбалки наружных стен. Рандбалка имеет небольшой пролет, равный размеру узкого шага, и поэтому ее конструктивная высота может не превышать толщины перекрытия. При нормальной глубине помещения эта толщина равна 25—35 см. Рандбалку следует рассматривать как дополнительно армированное ребро перекрытия (рис. 7.1). Плоское перекрытие, опирающееся на наружную стену (рис. 7.2), при большей глубине помещения становится, как правило, слишком тяжелым и неэкономичным. Однако плоское перекрытие лучше поглощает звук, чем ребристое. Толщина перекрытия всегда меньше высоты рандбалки, которая имеет приблизительно те же размеры, что и рандбалка при ребристом перекрытии. По внешнему виду фасады, показанные на рис. 7.1 и 7.2, почти одинаковы. Если плоское перекрытие армировано в продольном направлении здания, то оно должно опираться на поперечные балки (7.3). Каждая такая поперечная балка доходит до наружной колонны и не видна с фасада. Внутри помещения балки видны под потолком. Таким образом, потолок получается не гладкий.

При узком шаге наружных опор балки лежат так близко друг от друга, что несущая спо-

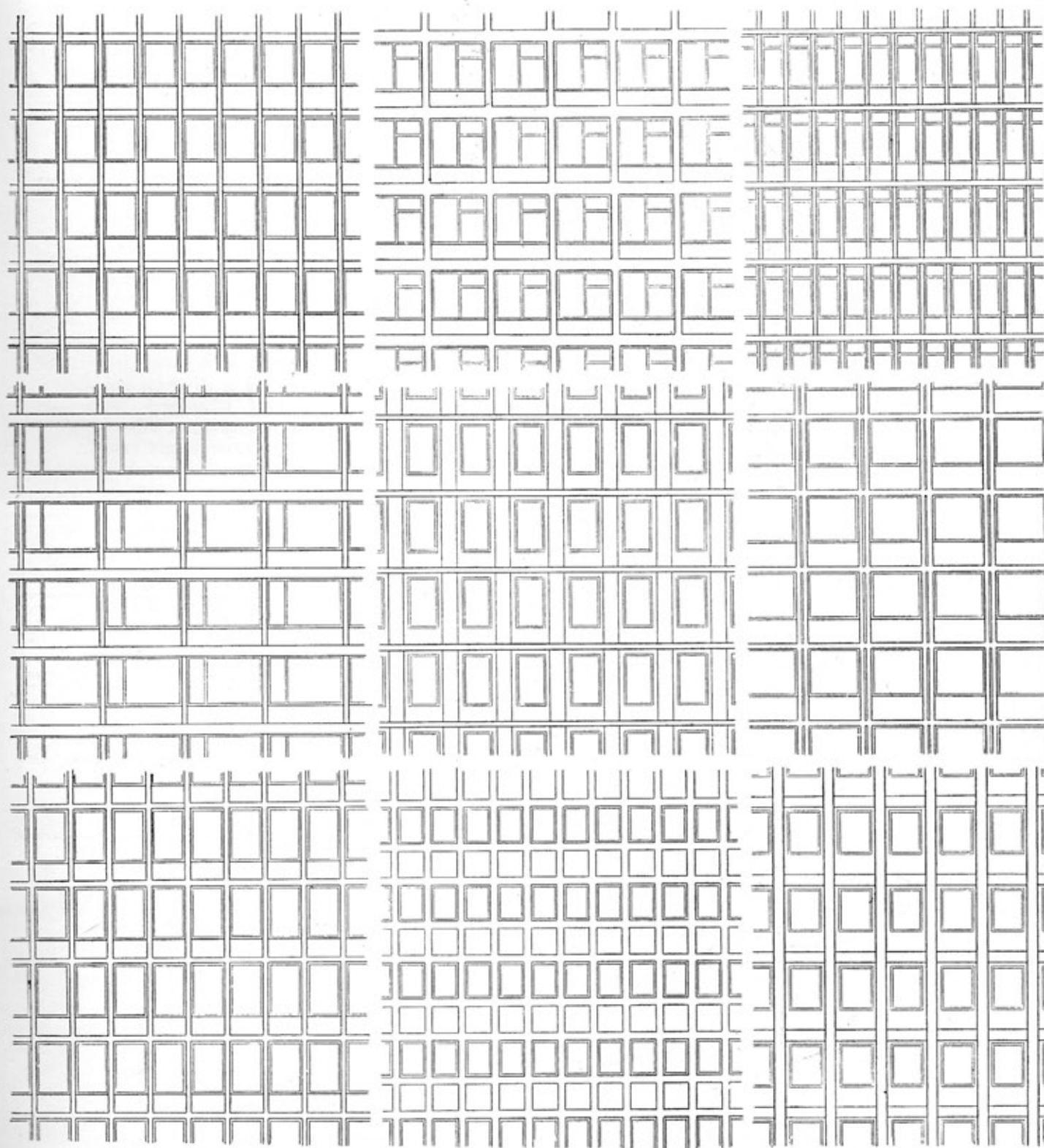


Рис. 5. «Узкий шаг» позволяет разместить между двумя несущими колоннами только один проем окна

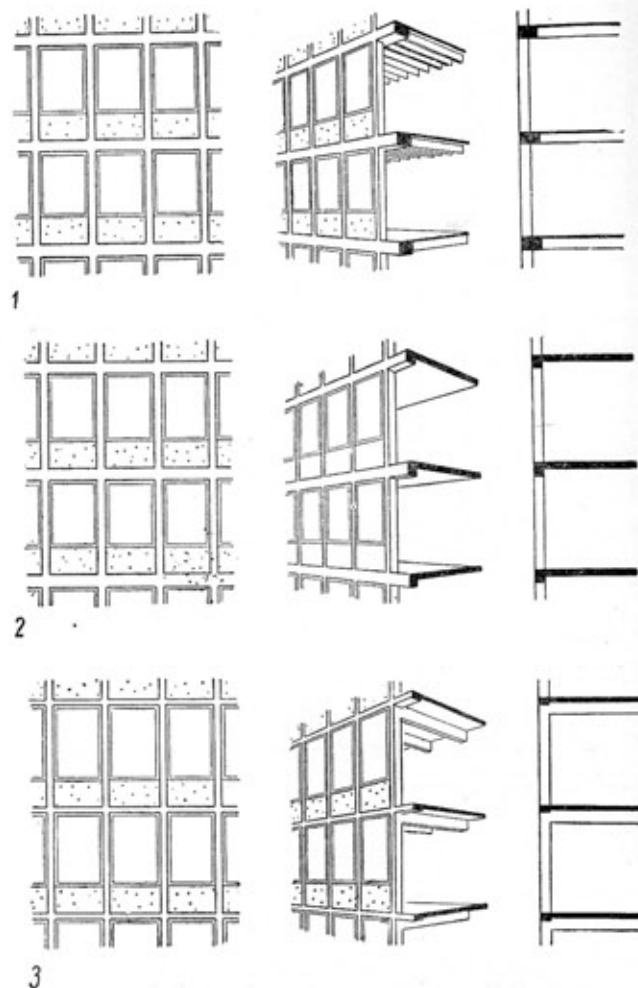
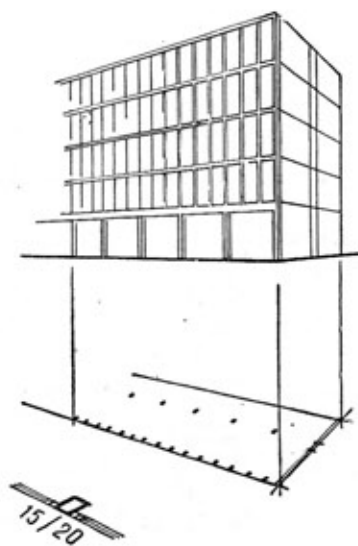
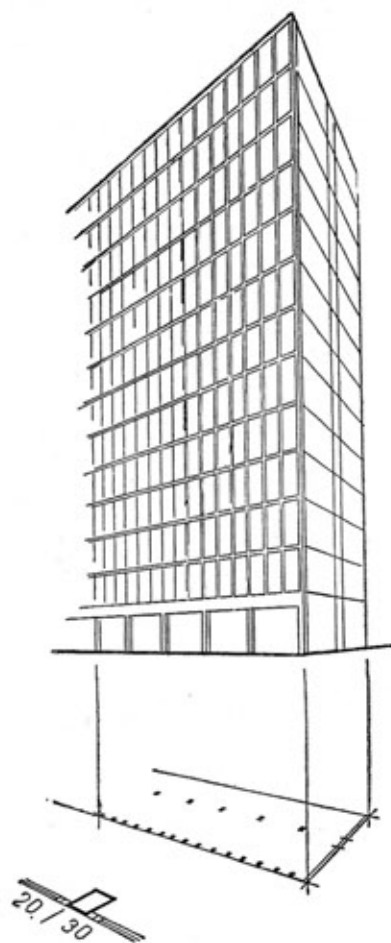


Рис. 7. Железобетонные перекрытия при узком шаге колонн

1. Перекрытие с поперечными ребрами
2. Несущие сплошные плиты. На фасаде эти два вида перекрытий не отличимы друг от друга
3. Тонкую плиту, опирающуюся на поперечные прогоны, следует рассматривать не как типичный, а как частный случай

Рис. 6. В системе с узким шагом сечение колонн, определяемое статическим расчетом, относительно небольшое даже при значительном числе этажей. Приведенные размеры сечения колонн предполагают нормальные габариты помещений и бетон среднего качества

способность перекрытия используется полностью только в редких случаях тем более, что в целях звукоизоляции толщина перекрытия должна быть не ниже определенного минимума. Для восприятия незначительных нагрузок подоконного элемента и окна необходима небольшая ранд-балка, которая к конструкции перекрытия не имеет отношения. Вариант, показанный на рис. 7.3, может рассматриваться как особый теоретический случай, который выходит за рамки дальнейшего исследования, поскольку он вряд ли имеет какое-либо значение в системах с узким шагом.

Если под потолком монтируют, например, короба и каналы калориферного потолочного отопления или вентиляционных установок, то общая толщина перекрытия увеличивается, а сечение колонн остается неизменным. В ФРГ редко применяют каналы большой высоты, необходимые, например, в установках по кондиционированию воздуха. Поэтому указанные выше размеры перекрытия соответствуют приблизительно размерам ранд-балок, видимым снаружи в каркасной конструкции.

В Америке, где почти каждое многоэтажное здание оборудовано установками для кондиционирования воздуха, размеры горизонтальных поясов перекрытия на фасадах значительно больше. Но даже без этой дополнительной высоты перекрытия, которая необходима для устройства в нем каналов, опоры при узком шаге всегда будут казаться тонкими по сравнению с гораздо более толстыми горизонтальными поясами перекрытий, если только на облик здания не оказывают влияния иные неконструктивные элементы. Выполнение каркаса из стали вместо железобетона существенно не меняет этого положения.

Всякая облицовка колонн плитами из искусственного либо естественного камня или какими-нибудь другими плитами, любое утолщение колонн теплоизоляционным слоем увеличивает их сечение и тем самым скрывает тектонические формы стройных колонн. Это, конечно, не говорит против применения надежной теплоизоляции и не умаляет ее значения для повышения качества здания. Вопрос сводится только к тому, какой способ теплоизоляции лучше служит сохранению чистоты тектонической формы.

В решении фасадов с выходящими на них колоннами различают два случая. Если одна из плоскостей колонны образует общую плоскость с фасадом (рис. 8.1), т. е. основная ее часть расположена в помещении, то в районах с умеренным климатом можно обычно отказаться от теплоизоляции железобетонных колонн. Если же теплоизоляция применяется, то она наносится только на узкую наружную сторону ко-

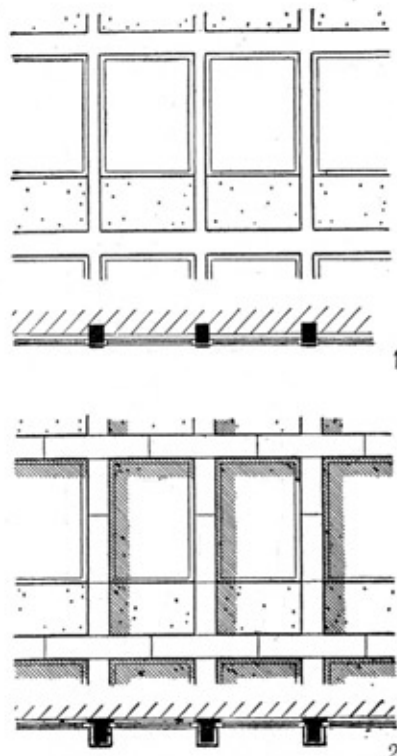


Рис. 8. Теплоизоляция наружных колонн

1. На фасадах зданий, у которых колонны расположены заподлицо со стеной, слой теплоизоляции колонн не меняет их архитектуру
2. Слой теплоизоляции колонн, выступающих на фасаде, сильно увеличивает их сечение, и формы каркаса становятся более грубыми

лонны и, таким образом, не оказывает влияния на ее ширину.

Если, однако, колонна выступает наружу, то она нуждается в теплоизоляции во избежание образования «мостика холода». Кроме того, увеличиваются статические нагрузки вследствие дополнительного напряжения, вызванного разностью температур снаружи и внутри здания. В таких случаях необходимо предусмотреть теплоизоляцию на трех сторонах колонн в ущерб их изяществу (рис. 8.2).

Монтаж в колоннах вертикальных трубопроводов может также увеличить размеры колонн. Если стояки труб расположены у наружной стены, то целесообразно размещать их через одну колонну, рядом с ней или внутри нее.

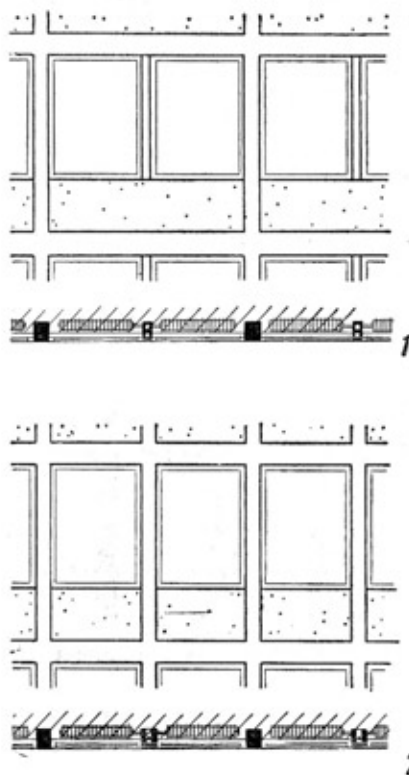


Рис. 9. Вертикальные стояки трубопровода, продолженные в наружных колоннах

1. При разделении колонны на несущие и ненесущие (необходимые для пропуска стояков) образуется сетка с широким шагом
2. Колонны обоих типов одинаковой формы образуют на фасаде сетку с миним. узким шагом, но с более грубыми пропорциями

Таким образом, коммуникации в каждой колонне будут обслуживать по одной оконной секции справа и слева от колонны. В результате функции колонны становятся различными. В то время как одна колонна является несущей, другая, рядом расположенная, является ненесущей и служит для монтажа труб. Расстояние между несущими колоннами увеличивается вдвое. С конструктивной точки зрения узкого шага фактически нет. Сечение несущих колонн, расположенных на расстоянии двойного пролета друг от друга, больше, так как оно должно воспринимать двойную нагрузку. Размещенные между ними колонны с трубопроводами будут заметно от них отличаться. Согласно приведенной классификации перед нами система «широкого шага» (рис. 9.1). Но часто, к сожалению, колонна, в которой смонтирован трубопровод, имеет такое же увеличенное сечение, как и не-

сущие колонны, расположенные через два пролета. Создается впечатление, что все одинаково утолщенные колонны являются несущими. Такая искусственная унификация размеров несущих и ненесущих колонн (рис. 9.2) встречается часто. Руководствуясь стремлением создать единый тип колонн, многие архитекторы пытаются унифицировать то, что по существу различно, им удается достичь лишь монотонного однообразия, но при этом нарушается тектоника и теряется возможность придать фасаду необходимую выразительность.

На рис. 10 показаны фасады зданий, на которых попеременно расположены несущие и промежуточные ненесущие колонны, не отличающиеся друг от друга. Монотонность каркасных фасадов этого рода объясняется тем, что проектировщики, пренебрегая требованиями тектоники, уничтожают разнообразие, заложенное в самой конструкции, вместо того чтобы творчески использовать его при композиции фасада.

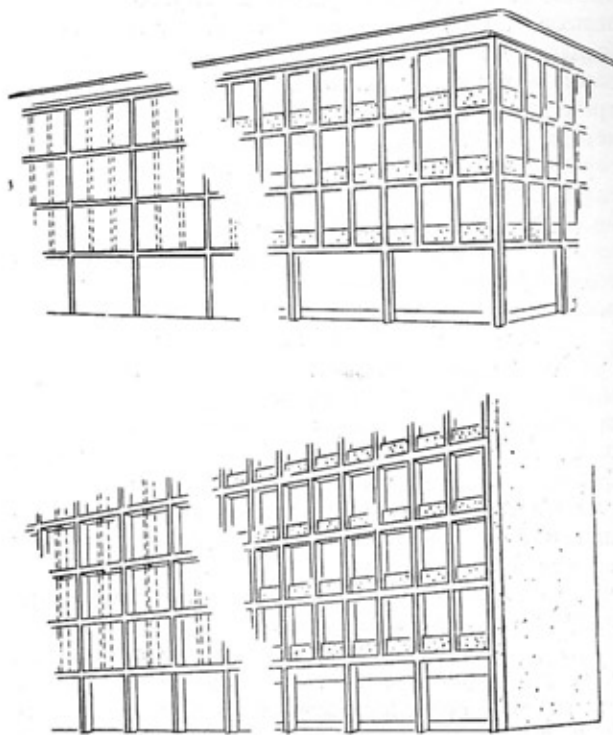


Рис. 10. Одинаковая форма несущих и промежуточных колонн усугубляет монотонность фасада каркасного здания

Следовательно, основные признаки системы с узким шагом могут быть определены следующим образом.

1. Ширина наружных колонн 20 см обычно бывает достаточной даже при высоте здания 12 этажей. При применении сборных колонн это сечение может быть уменьшено. Для каркасного строительства с узким шагом колонн типичны очень тонкие колонны. Это является следствием близкого расположения колонн друг от друга и небольшой нагрузки, которая приходится на каждую из них.

2. Горизонтальные пояса на фасаде на уровне междуэтажных перекрытий имеют высоту, зависящую от толщины перекрытия. Последняя определяется не узким шагом колонн, а глубиной помещения, перекрытого в поперечном направлении. Обычно высота горизонтальных поясов перекрытий больше, чем ширина колонн.

3. Структура системы с узким шагом колонн характеризуется сочетанием тонких колонн с более толстыми горизонтальными поясами перекрытий.

4. Гармоничное соотношение между шириной колонн и высотой поясов перекрытий может быть нарушено, если колонны будут несомерно утоплены в целях теплоизоляции или при размещении в них трубопроводов. Однако при правильном решении этой задачи может быть найдена выразительная композиция каркасного фасада.

Указанные выше размеры и соотношения следует рассматривать как ориентировочные.

Система с широким шагом колонн

При широком шаге расстояние между несущими колоннами превышает ширину окна. Это значит, что между несущими колоннами всегда имеется несколько окон (рис. 11). Они образуют ленту окон или отделены друг от друга промежуточными колоннами, не несущими никакой нагрузки и не являющимися составной частью каркаса. Эти промежуточные колонны служат только для крепления окон или являются импостами, за которыми размещаются коммуникации и к которым присоединяются поперечные стены или перегородки. Расстояние между промежуточными колоннами является сравнительно небольшим. Оно соответствует приблизительно размеру узкого шага, который, как было указано выше, увязан с размерами мебели и окон и позволяет осуществить гибкую планировку помещений. Однако только несущие колонны, расположенные на значительном расстоянии друг от друга, воспринимаются как

элементы, члениющие фасад. Вместе с горизонтальными поясами перекрытий они образуют большие вытянутые в горизонтальном, а не маленькие вытянутые в вертикальном направлении прямоугольники, как при узком шаге.

На рис. 12 показаны примерные сечения колонн 4- и 12-этажного зданий при широком шаге. По мере увеличения расстояния между колоннами увеличивается также и их толщина. Следует только определить на сколько. Очевидно, что при одной и той же нагрузке и одном и том же конструктивном материале сумма сечений всех колонн в каждом этаже должна оставаться приблизительно одинаковой независимо от того, применяется ли большое число тонких колонн или малое число толстых (узкий или широкий шаг). Справедливым является возражение, что у тонких колонн опасность продольного изгиба больше, чем у толстых; учитывая это, сечения тонких колонн должны быть соответственно увеличены. Но в рассматриваемом нами случае нет опасности продольного изгиба, так как при относительно небольшой высоте колонн, равной высоте этажа, даже самая тонкая колонна в системе с узким шагом не подвергается продольному изгибу. Например, по немецким нормам проектирования железобетонных конструкций коэффициент продольного изгиба колонн из монолитного бетона, имеющих минимальное допускаемое сечение 20×20 см, равен только 4% при высоте этажа 3,5 м, что незначительно отразится на пропорции колонны.

По мере того как при широком шаге увеличивается расстояние между колоннами, возрастает также нагрузка на каждую колонну и увеличивается ее сечение. Увеличение расстояния между колоннами в 2 раза увеличивает нагрузки и сечения вдвое. Следовательно, расстояние между колоннами, нагрузка и сечение колонны находятся в линейной зависимости друг от друга.

Но сечение колонны, как известно, зрительно не воспринимается. Глаз на фасаде видит только ширину колонн, которая не находится в линейной зависимости от сечения, нагрузки и расстояния между колоннами. Ширина колонн равна квадратному корню из площади сечения колонн. Таким образом, видимая ширина колонны увеличивается по мере возрастания расстояния между колоннами только пропорционально корню квадратному из возрастающих плоскостей сечения. Небольшое число колонн, несущих большую нагрузку, при широком шаге имеет меньшую видимую поверхность на фасаде, чем многочисленные колонны с небольшой нагрузкой при узком шаге. Другими словами, сумма ширины всех видимых на фасаде колонн

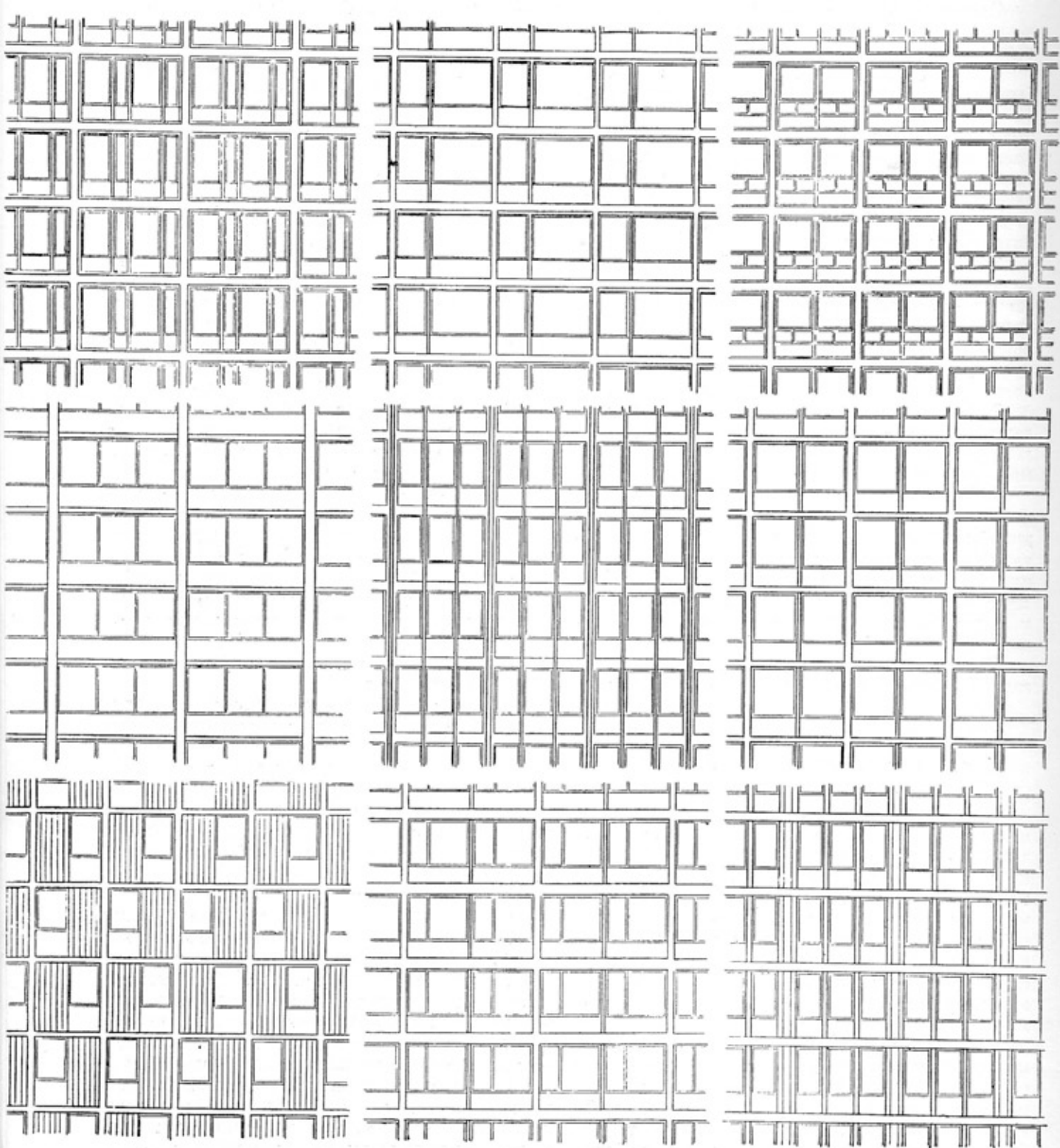


Рис. 11. Широкий шаг возникает, если между несущими колоннами нужно разместить несколько проемов-окоп, которые обычно отделяют друг от друга импостами или несущими промежуточными колоннами

при широком шаге всегда меньше (колонны кажутся более стройными), чем при узком шаге. Этот вывод распространяется на колонны из железобетона при одинаковом качестве бетона и стали и одинаковом проценте армирования, а также на облицованные стальные колонны, сечения которых существенно не отличаются от сечений железобетонных колонн.

Рассмотрим конструкции перекрытий. На рис. 13.1 показана армированная в продольном направлении здания сплошная железобетонная плита. При большом пролете, соответствующем широкому шагу, применение такой конструкции вполне уместно. Необходимо только усилить край плиты, придав ему форму ранд-балки, воспринимающей нагрузки от подоконной панели и заполнения оконного проема. Следует отметить, что эта ранд-балка не несет нагрузки перекрытия. Поэтому ее не следует выделять.

Сечения поперечных прогонов, опирающихся на несущие колонны, определяются в зависимости от глубины помещения и нагрузки. Ширина их равна ширине несущей колонны, а по высоте они заметно выступают под потолком. Поверхность потолка неровная. Поперечные перегородки помещений приходится делать различной высоты в зависимости от того, доходят они до плиты перекрытия или до нижней грани прогона. Применение такого рода конструкции несовместимо с использованием сборных стандартных перегородок и исключает возможность устройства ровного потолка.

При укладке плит заподлицо с нижней кромкой балок получается ровная поверхность потолка, но такая конструкция страдает другими недостатками. Ранд-балка, которая не несет большой нагрузки, должна иметь высоту, равную высоте перекрытия, вследствие чего она становится чрезмерно мощной. В результате уменьшается высота пространства над окнами и сокращается угол инсоляции. Кроме того, примыкание перегородок к подвесному потолку может повлиять весьма отрицательно на звукоизоляцию вышележащих конструкций.

Преимущества конструктивной системы, показанной на рис. 13.1, заключается в простоте сопряжения прогона с плитой. Эта система целесообразна всюду, где выступающие прогоны не мешают эксплуатации помещения. Но в случаях, когда потолок должен быть ровным, против применения такой конструкции говорят указанные выше технические недостатки.

При большом пролете применение ребристого перекрытия с балками, уложенными в продольном направлении здания, является более целесообразным, чем применение плиты с ровными поверхностями (13.2). Конструкция ребристых перекрытий большого пролета имеет

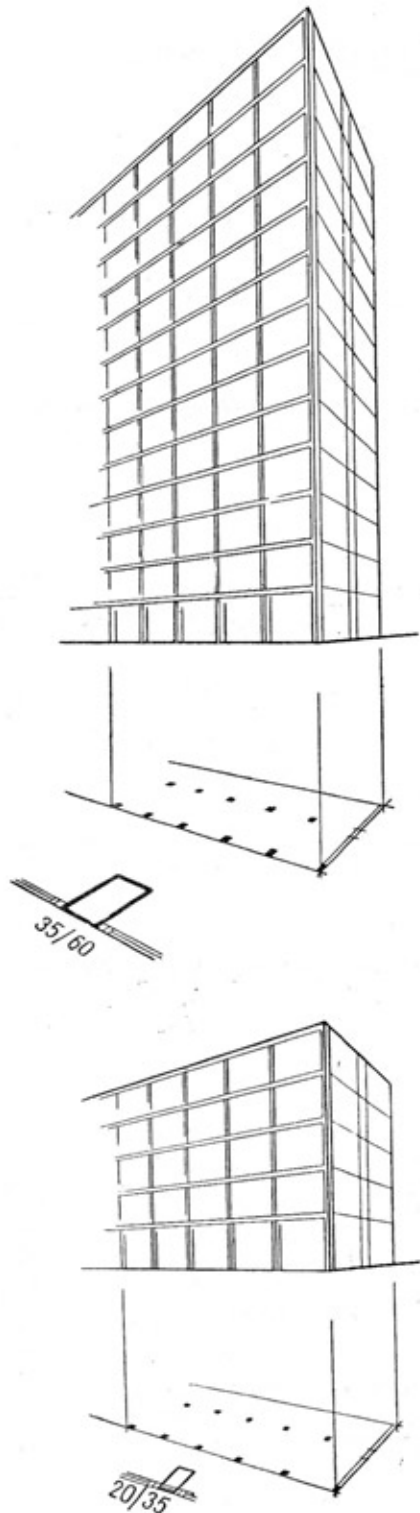
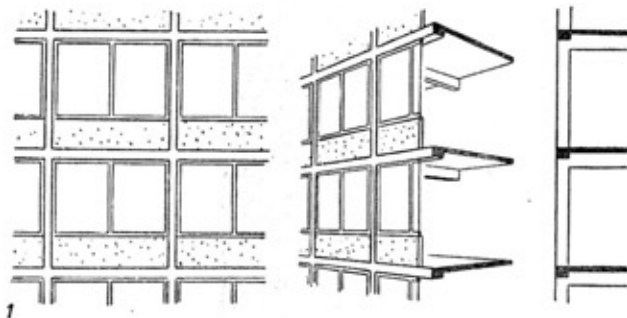
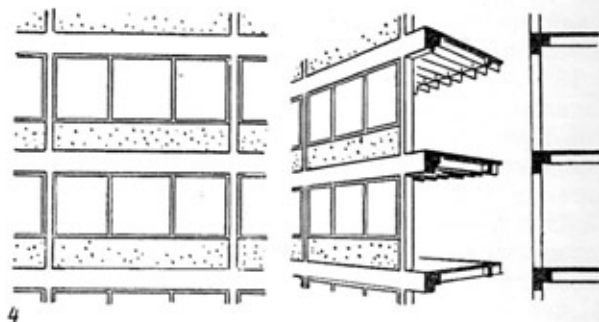


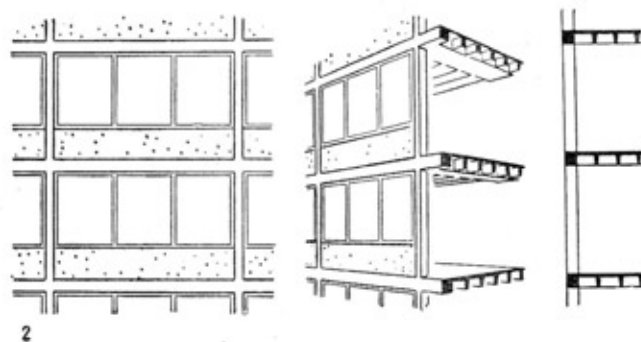
Рис. 12. Сечение колонн при широком шаге возрастает прямо пропорционально расстоянию между колоннами, а соответствующая видимая на фасаде ширина колонн увеличивается сравнительно меньше, чем расстояние между колоннами



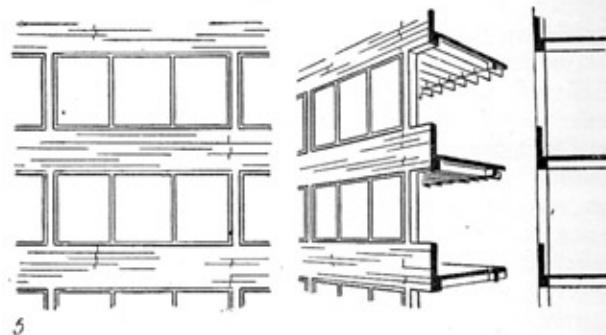
1. Плита перекрытия, опирающаяся на поперечные прогоны



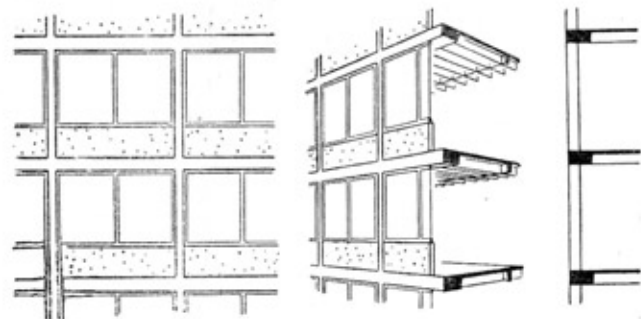
4. Ребристое перекрытие с разгружающим утолщением ранд-балки



2. Перекрытие с продольными ребрами, имеющими высоту, равную высоте несущего поперечного прогона



5. Ребристое перекрытие с ранд-балкой, усиленной разгружающей ее подоконной стенкой



3. Перекрытие с поперечными ребрами и ранд-балкой одинаковой с ними высоты

Рис. 13. Конструкции железобетонных перекрытий при широком шаге

соответственно большую высоту. Это дает возможность поперечные прогоны разместить в теле перекрытия. Затруднения возникают только при укладке широкого прогона на наружную колонну, так как для передачи действующих усилий от прогона на колонну используется только узкий участок сопряжения. Кроме того, если в этом месте необходимо предусмотреть отверстия для вертикальных коммуникаций, то не останется места для арматуры, не говоря уже о том, что в бетоне создаются напряжения, превышающие допустимые.

Эти трудности отпадают при применении ребристого перекрытия с поперечными ребрами (рис. 13.3), у которого ранд-балка, как и в системе с узким шагом (рис. 7.4), имеет форму сплошной полосы по высоте, соответствующей высоте перекрытия. Однако длина такой сплошной полосы ограничена. Ее целесообразно принять равной приблизительно $\frac{2}{3}$ пролета ребристого перекрытия. Если исходить из нормальной глубины помещения примерно 6 м, то пролет ригеля в виде сплошной полосы должен быть равен не более $\frac{2}{3} \times 6 = 4$ м. Любое дальнейшее увеличение пролета ранд-балки, высота которой лежит в пределах высоты ребристого перекрытия, приводит к такому скоплению арматуры в местах ее опирания на колонны, что нормальное бетонирование делается невозможным. Кроме того, конструкция становится очень гибкой, и в узком месте примыкания ее к колонне наблюдается перенапряжение материала.

Если расстояние между несущими колоннами превышает приблизительно $\frac{2}{3}$ глубины помещения, то более целесообразной является другая форма ранд-балки. На рис. 13.4 показана ранд-балка, бетонирование которой осуществляется проще, но она сокращает площадь окон в верхней части.

Ранд-балка с подоконной частью стены, показанная на рис. 13.5, не имеет этого недостатка; кроме того, ей без всяких затруднений можно перекрыть пролеты в 8 м и более, но зато ее труднее бетонировать. Декоративный бетон для изготовления ранд-балок с подоконной стенкой непригоден, так как перерыв в процессе бетонирования может привести к возникновению дефектов.

Если из описанных здесь перекрытий и колонн соответствующих размеров создать образцовое решение фасада, то при широком шаге это сделать труднее, чем при узком. Для фасада с узким шагом в основном приемлемы стройные колонны в сочетании с широкими полосами перекрытий.

При широком шаге имеется много правильных решений фасада, которые сильно отличаются друг от друга.

В решении, показанном на рис. 13.1, перекрытия и колонны имеют приблизительно одну и ту же толщину, причем колонны могут быть даже толще, чем перекрытие. В решении, показанном на рис. 13.5, наблюдается обратная картина. Высота ранд-балки с подоконной стенкой во много раз больше ширины колонны.

В системе с широким шагом не существует пригодных для всех случаев правил, касающихся отношения ширины полосы перекрытия к ширине колонны. Но это не значит, что в данной области царит произвол и можно строить, не соблюдая определенных правил. То или иное решение всегда подчинено конструктивным законам. Многие различные формы и соотношения могут быть правильными с точки зрения тектоники, а многие — неправильными и чисто формалистическими, причем определение правильный или неправильный меняется в зависимости от поставленной задачи. Сделать правильный выбор решения при широком шаге труднее, чем при узком шаге, дающем архитектору большую творческую свободу.

Формы каркаса над первым этажом

В предыдущем разделе речь шла о сетке каркаса. В настоящем и следующих разделах рассмотрены различные варианты решения каркаса на углах и гранях здания. Хотя пропорции сетки каркаса в значительной степени определяют его масштаб, все же законченная архитектурная композиция фасада зависит не только от них. Законченность архитектурной композиции фасада каркасной конструкции определяется формой завершения сетки каркаса на гранях здания. Решение углов в каркасных зданиях намного сложнее, чем в зданиях с кирпичными стенами (рис. 14). В последнем случае плоскости стен «вырастают» непосредственно из земли, на углах они образуют простую грань, а наверху заканчиваются под свесом крыши. Сравнительно небольшие проемы в плоскости стены не нарушают ее цельности. В каркасном здании нет сплошных плоскостей стен, ограниченных простыми гранями. Здесь поверхность стены представляет собой сложное сочетание тонких прямолинейных конструктивных элементов каркаса с заполнением из оконных проемов и подоконных панелей. Характер всех этих элементов определяется их функциональным назначением, причем каждый из них имеет свои конструктивные связи. Переходы от од-



поверхностей каркасного здания, а тем самым и основой для архитектурного решения его углов и граней.

Формы каркаса при сетке с узким шагом

Тип каркаса, как правило, определяется функциональным назначением типовых этажей, расположенных выше первого.

Первый этаж служит особым целям и это неизбежно влечет за собой изменение его конструкции. При наличии витрин, входной зоны, больших вестибюлей в первом этаже малые пролеты между колоннами неприемлемы.

При каркасе с узким шагом колонн ранд-балка, расположенная над первым этажом, создает переход к более широкому шагу колонн, необходимому в нижнем этаже. Форма ранд-балки зависит от ее пролета, расстояния между колоннами в этажах выше первого, этажности, нагрузки на перекрытие, а также от типа конструкции балки (рис. 15).

На рис. 16.1 показана ранд-балка, имеющая высоту, равную толщине перекрытия над первым этажом. В этажах выше первого ранд-балки той же высоты не вызывают сомнения в отношении их прочности, так как они передают нагрузку от перекрытия на часто поставленные колонны. Однако над первым этажом ранд-балка, имеющая высоту, равную толщине перекрытия, производит впечатление слишком тонкой, чтобы принять на себя суммарную нагрузку всех вышележащих этажей. Создается впечатление, что устойчивость каркаса обеспечивается конструкцией, которая не выражена на фасаде, а скрыта за ним и тектонически с ним не связана. Находчивый инженер-конструктор, компетентный в области статических расчетов, всегда найдет выход из положения, применив стальные балки для усиления железобетона, очень широкую ранд-балку или вспомогательную конструкцию, скрытую в подоконной панели. Но возникает вопрос — к чему все это? Неужели достигаемый этими средствами эстетический эффект столь велик? Может ли сетка фасада, которая имеет так мало общего с конструкцией здания, служить элементом его архитектурного решения?

На рис. 16.2 показана ранд-балка в виде ригеля перекрытия. Размеры сечения ранд-балки определяются статической нагрузкой. Чем больше пролет в первом этаже и чем больше нагрузка, тем массивнее ригель перекрытия.

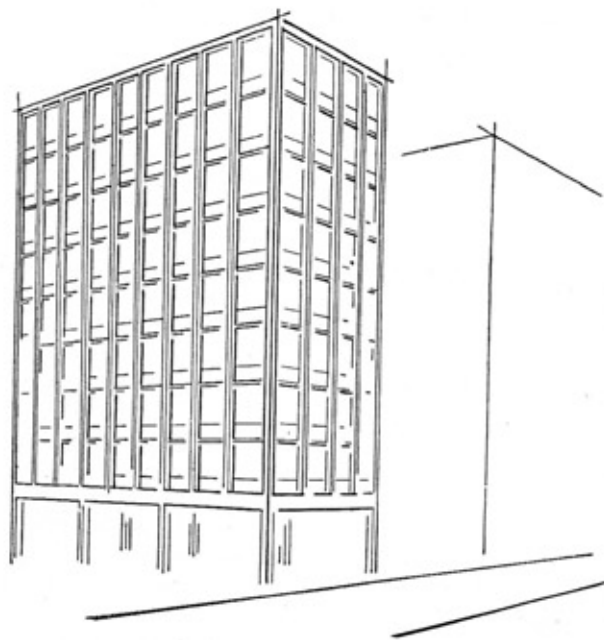


Рис. 14. Основное различие между зданиями со сплошными стенами и зданиями каркасной конструкции проявляется главным образом в решении плоскости фасадов и их завершений

ного вида элементов к другому осуществляются при помощи откосов, профилей, тяг, швов, нащельников и т. п. Правильное сочетание всех этих деталей в функциональном и конструктивном отношении является основой образования

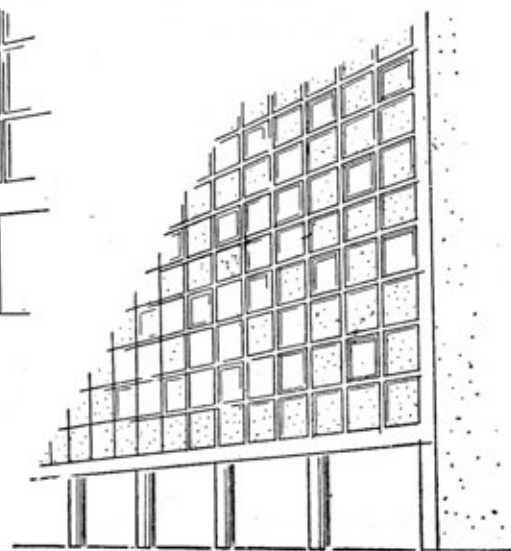
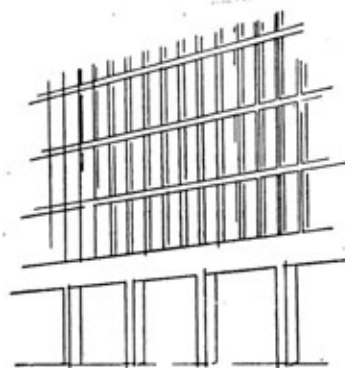
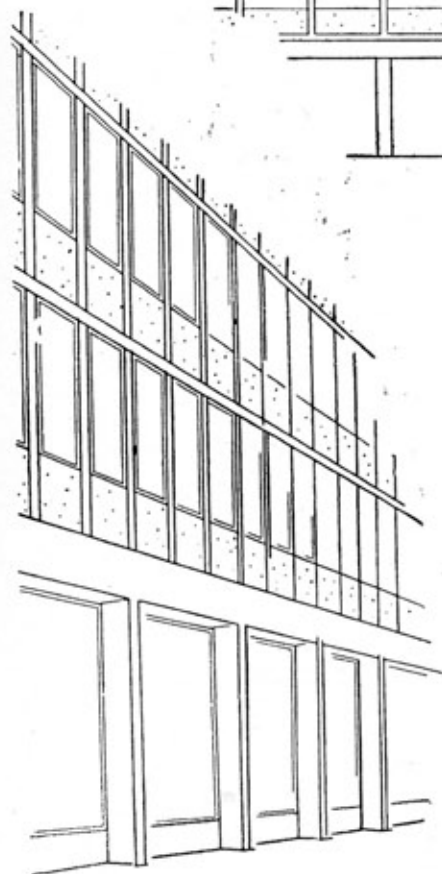
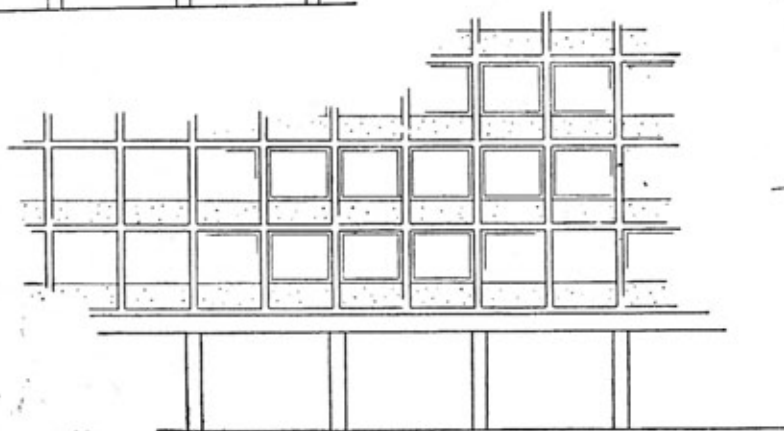
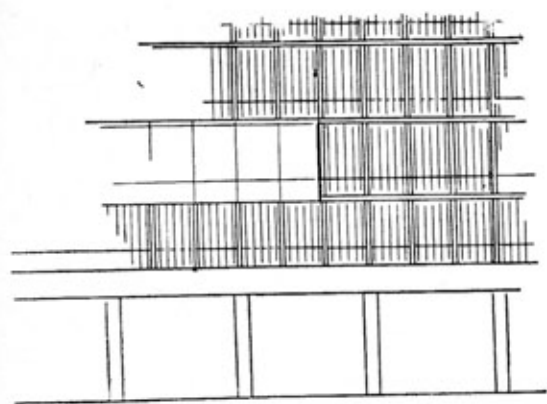


Рис. 15. Ранд-балка над первым этажом служит переходом от частой сетки фасада верхних этажей к широкому шагу между колоннами первого этажа

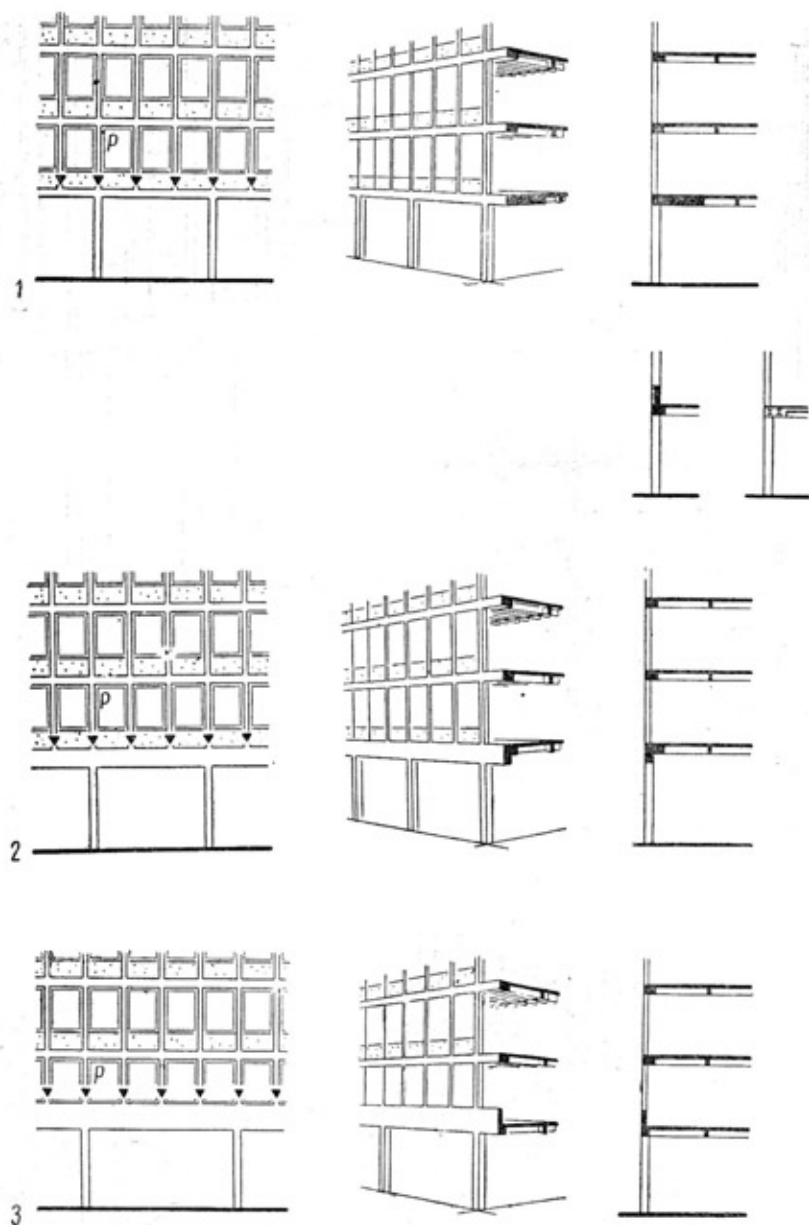


Рис. 16. Конструктивные системы основной ранд-балки

1. Небольшая высота ранд-балки в конструктивном и архитектурном отношении неудовлетворительна
2. Наиболее логичное решение ранд-балки
3. Повышение несущей способности ранд-балки путем соединения ее с подоконной стенкой

Фасад здания выигрывает от того, что ранд-балка выделяется. Структура фасада становится более ясной. Известно, что размеры ранд-балки, определяемые статическими расчетами, можно изменять в широких пределах в соответствии с требованиями архитекторов. Применение различной высококачественной стали и бетона, изменение ширины и высоты ригелей, создание

дополнительных зон сжатия являются средствами, исключаящими необходимость применения конструкций строго определенных размеров. Размеры конструкций можно обосновать статическими расчетами. Архитектор пользуется большой творческой свободой, не нарушая принципов правильного конструирования и не внося фальши в облик сооружения.

Очень интересной конструкцией следует признать балку в виде подоконной стенки, показанную на рис. 16.3. В результате увеличения конструктивной высоты балки за счет подоконной панели несущая способность первой сильно возрастает. Такая балка прекрасно подходит для перекрытия больших пролетов. Но архитектурное решение этой детали является далеко не простым. Окна второго этажа расположены непосредственно над балкой. Членение окон и подоконных панелей первого этажа отличается от членения всех остальных этажей. Подобное решение является не очень привычным, поэтому обычно архитекторы прячут балку за облицовкой из подоконных панелей (см. рис. 18.4).

Необходимо отметить один из наиболее удачных примеров претворения в жизнь этой вполне ясной и определенной конструктивной идеи. Наиболее смело ее решил итальянский архитектор Лукканти при строительстве конторского здания в Риме (рис. 17).

Об отсутствии у инженеров и архитекторов желания смело выявлять конструктивную структуру каркаса можно судить по многим странным конструкциям, часто встречающимся в практике строительства. Ниже будет дана критическая оценка некоторых типичных конструктивных решений, которые вновь и вновь появляются в различных вариантах.

На рис. 18.1 показана сетка фасада с мнимо узким шагом. Все колонны в этажах выше первого одинаковы. Поэтому можно предполагать, что нагрузка на них также одинакова; отсюда следует, что каждая вторая колонна над первым этажом должна быть подперта. Это предопределяет наличие соответствующей ранд-балки. Однако ранд-балка над первым этажом не толще ранд-балок над этажами выше первого. Следовательно, она не сможет выдержать сосредоточенной нагрузки от ряда колонн, опирающихся на нее. В чем же дело? Схема нагрузок показывает, что каждая вторая колонна фактически является ненесущей. Ранд-балки на всех этажах фактически имеют пролет, равный двойному шагу колонн, и несут сверх того дополнительную нагрузку ненесущих колонн. Поэтому размеры ранд-балки над первым этажом, равные размерам ранд-балок вышележащих этажей, вполне достаточны. Нагрузка на ранд-балку над первым этажом не превышает нагрузки на вышележащие ранд-балки. Таким образом, нет необходимости в более высокой ранд-балке над первым этажом. Тем не менее при критическом рассмотрении заметно, что ее не хватает, так как ненесущие колонны по виду ничем не отличаются от несущих. Напрасно наблюдатель ищет опору для восприятия нагрузок ненесущих колонн. Неясность структуры фасада объясняется непоследовательностью конструктивного мышления. Непоследовательность заключается в том, что ненесущие колонны имеют такие же размеры, как и несущие. Создается впечатление, что ранд-балка над первым этажом недостаточно мощна. Так одна конструктивная неясность неизбежно влечет за собой другую.

В примере, приведенном на рис. 18.2, кажется, что все колонны, несущие одинаковую нагрузку, доведены до уровня земли. Следовательно, необходимость в усиленной ранд-балке над первым этажом отпадает. Тем не менее ранд-балка все же имеется. Слабая дифференциация между этажами, расположенными выше первого, и первым (шаг колонн одинаковый) позволяет сделать вы-

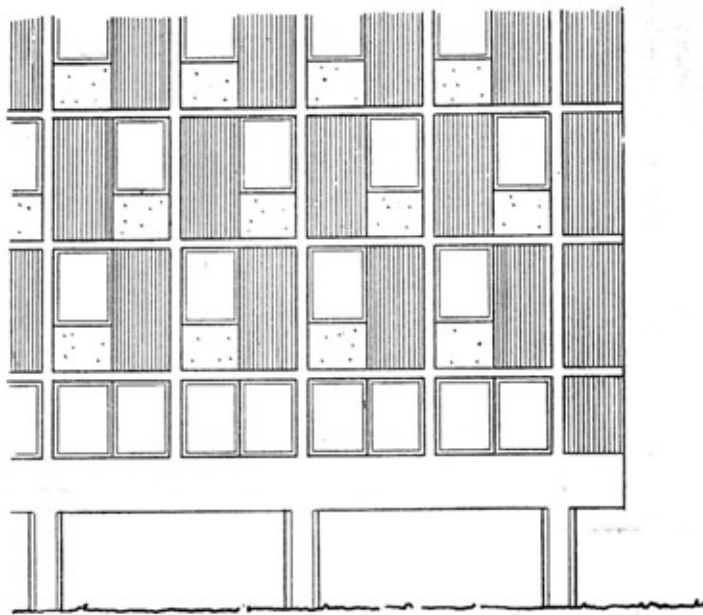


Рис. 17. Конторское здание в Риме с удачно решенной формой ранд-балки, сливающейся с подоконной стенкой

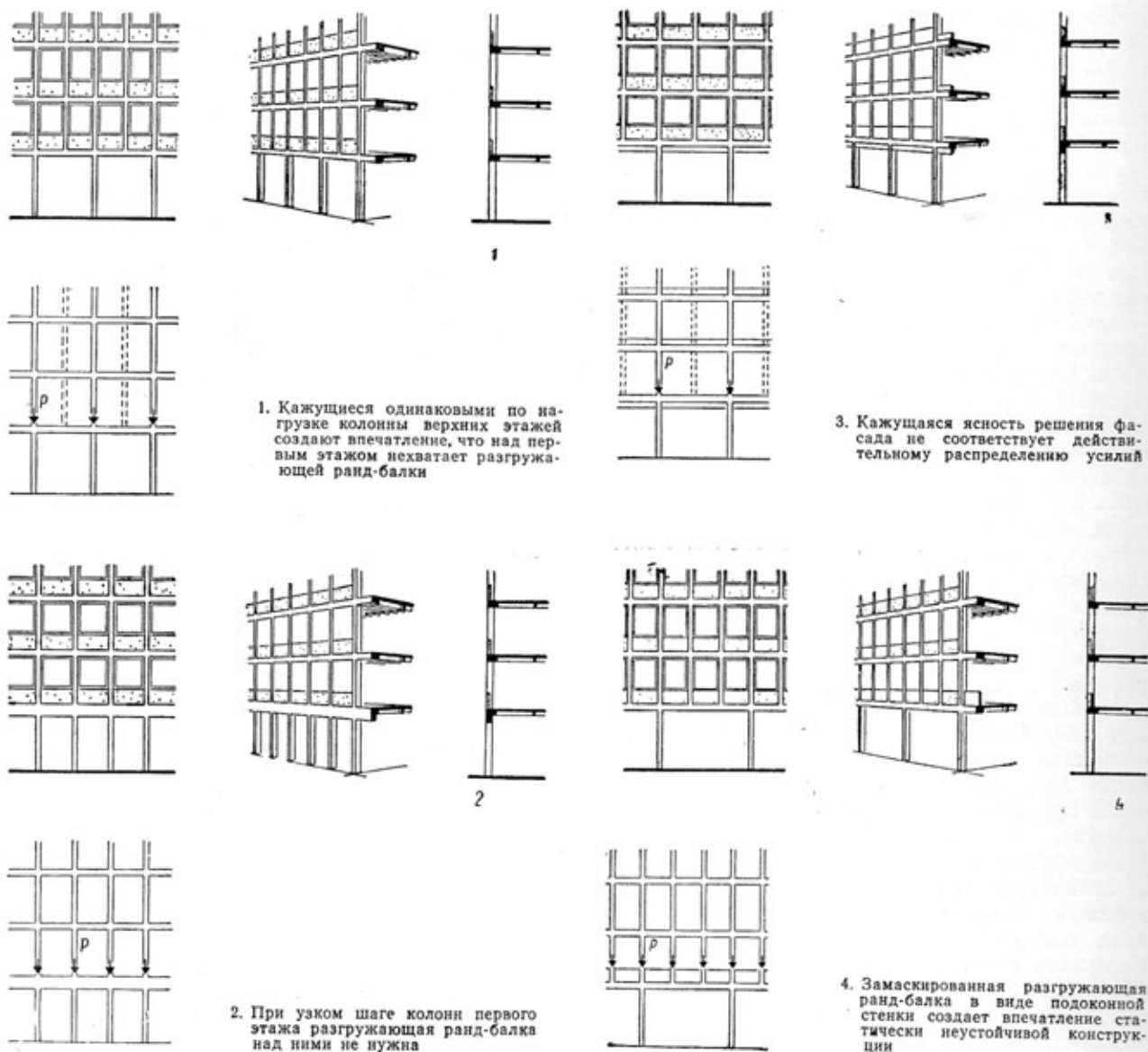


Рис. 18. Неправильные решения ранд-балки

вод, что помещения, расположенные наверху и внизу, имеют аналогичные функции. Поэтому непонятно наличие толстой ранд-балки, которая выделяется над первым этажом. Но, может быть, большая высота первого этажа свидетельствует о том, что на этом этаже имеются более просторные залы? Тогда снова непонятно, почему принят небольшой шаг колонн. И если над первым этажом уложена заметно выделяющаяся большая балка, то это сделано, видимо, в целях членения фасада в этом наиболее важном месте. Однако возникает вопрос, почему балка

действительно не используется для того, чтобы подпирать промежуточные колонны и дать возможность уменьшить число несущих колонн в первом этаже? Может быть, за этой балкой скрыты горизонтальные коммуникации над первым этажом? Такое объяснение тоже возможно. Но для того чтобы спрятать коммуникации имеются другие средства, кроме искусственного увеличения высоты этого важного конструктивного элемента на таком видном месте. Во всяком случае на фасаде не отраже-

ны подлинная структура здания и действующие усилия в конструкции.

Высокая ранд-балка над первым этажом (рис. 18.3), по-видимому, служит опорой для каждой второй колонны всех вышележащих этажей. Так как колонны имеют одну и ту же толщину, создается впечатление, что их несущая функция одинакова. Это впечатление усиливается наличием невысоких ранд-балок верхних этажей, которые, очевидно, способны перекрыть только небольшой пролет между двумя соседними колоннами.

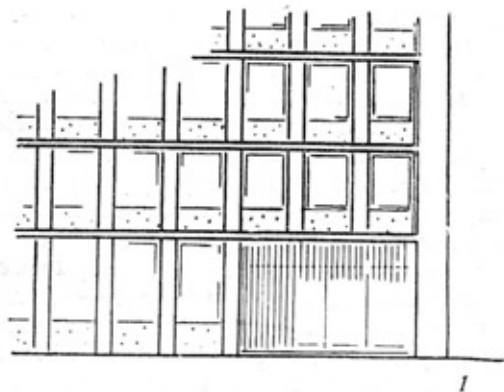
Однако анализ схемы нагрузок и сечений показывает, что и в данном случае существует противоречие между внутренней структурной сооружении и внешним обликом. Промежуточные колонны служат для крепления трубопроводов и не являются несущими. Лишь каждая вторая колонна находится под нагрузкой. Ранд-балки, кажущиеся тонкими и создающие впечатление, что они несут нагрузку одного пролета между двумя колоннами, в действительности свободно опираются на несущие колонны, установленные на расстоянии двойного пролета. Кроме того, несущие колонны воспринимают нагрузку от веса промежуточных колонн. Конструктивная высота ранд-балок, видимая на фасаде, создает впечатление, что они не способны выдержать такой нагрузки. Однако ранд-балки усилены ребром, выступающим кверху и замаскированным подоконной стенкой. Ввиду того что промежуточные опоры не являются несущими, мнимая разгрузочная балка над первым этажом выполняет те же функции, что и ранд-балки вышележащих этажей. Ее вид, создающий впечатление мощного разгружающего прогона, не соответствует конструктивной функции обычной ранд-балки. Парадоксально то, что в здании мнимая разгрузочная балка является единственной балкой, видимые размеры которой соответствуют ее назначению — нести нагрузку, приходящуюся на двойной пролет между колоннами. В отличие от ранд-балок в вышележащих этажах, часть высоты которых замаскирована, разгрузочная балка не нуждается в каком-либо камуфляжном увеличении высоты.

Этот пример замечателен тем, что, несмотря на некоторое несоответствие между конструкцией и формой, внешний облик сооружения отличается тектонической ясностью. В действительности внешний вид мог бы стать подлинным отражением конструктивного решения без какого-либо изменения размеров видимых частей здания и без каких-либо вспомогательных маскируемых конструкций. Но для этого необходимо, чтобы действующие

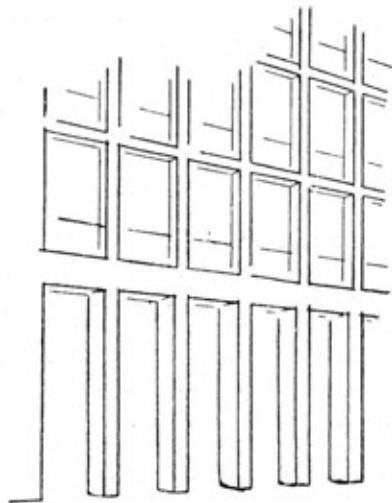
внутренние статические усилия были выражены во внешнем облике здания. Промежуточные колонны, которые с виду кажутся несущими, должны ими быть в действительности, а не служить для крепления трубопроводов. Изысканные ранд-балки, соответствующие по высоте толщине краевых ребер перекрытий, при малом пролете между колоннами не нуждались бы в маскируемом увеличении высоты.

Вот как далеко может зайти разрыв между архитектурным и расчетно-статическим подходом к решению проекта. Сначала создается проект каркаса с хорошими пропорциями. Проект безупречен с точки зрения статического расчета, и он может быть осуществлен без всяких затруднений. Однако расчетно-статическая основа проекта нарушается, например, по санитарно-техническим соображениям с целью более удачной прокладки вертикальных стояков. Колонны не выполняют несущих функций, а являются мнимыми опорами, но размеры их остаются прежними. Пролет ранд-балки увеличивается вдвое, но видимый размер ее остается прежним, а часть высоты балки маскируется в подоконной стенке. Только ранд-балка над первым этажом не нуждается в маскировке части своей высоты, так как ее первоначальное сечение вполне достаточно для того, чтобы выдержать нагрузку одного лишь перекрытия. Она с самого начала была рассчитана для значительно большей нагрузки. Инженер, выполнивший статические расчеты, доволен, что запроектированный архитектором рисунок фасада может быть внешне полностью сохранен. Архитектор тоже доволен, потому что его меньше интересует то, что действительно происходит с конструкцией за поверхностью фасада.

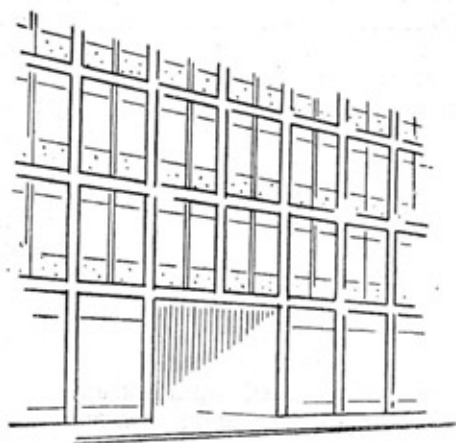
Рис. 18.4 внешне очень похож на рис. 18.1. Перед нами снова система фасада с узким шагом. Все колонны одинаковы, и создается впечатление, что все они являются несущими. Однако кажущееся отсутствие разгрузочной балки в первом этаже производит еще более неприятное впечатление, чем в случае, показанном на рис. 18.1. Расстояние между колоннами в первом этаже настолько большое, что тонкая ранд-балка, опирающаяся на них, при данном пролете, кажется, едва ли выдержит нагрузку одного только перекрытия. Как же такой ранд-балке выдержать нагрузку многих этажей, которая сосредоточена в двух точках? Если наблюдатель обладает хотя бы небольшим чутьем в отношении правдивости конструкции, то такой каркас приведет на него впечатление неустойчивости, поскольку видимая часть структуры этого каркаса не отражает внутренних действующих усилий. Схема на-



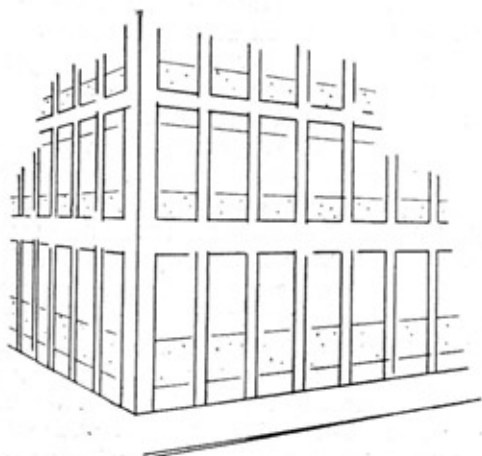
1



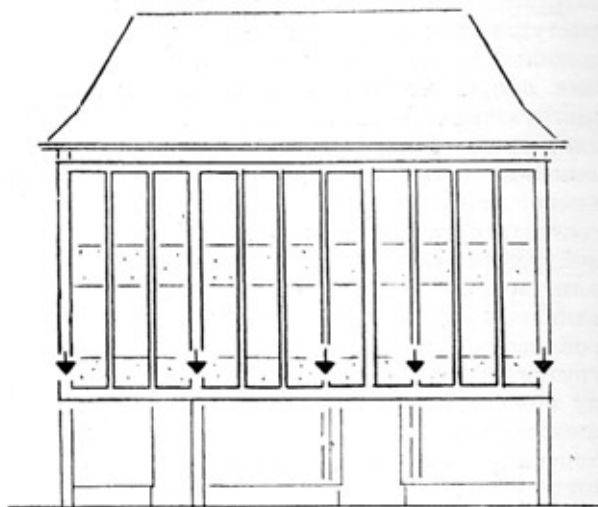
4



2



3



5

Рис. 19. Неграмотные решения раанд-балок

1 и 2. Замаскированная разгружающая раанд-балка
3 и 4. Разгружающая раанд-балка, которая кажется излишней
5. Запутанная конструктивная схема

грузок и поперечный разрез здания позволяют понять, как могло возникнуть это нарушение законов тектоники.

Для того чтобы внешне сохранить сетку, основную разгрузочную балку прячут за подоконные стенки.

В результате теряется контраст между тонкими балками верхних этажей и тяжелой разгрузочной балкой над первым этажом. Подобные решения каркасного фасада обычно маловыразительны. Они являются результатом пренебрежения конструктивной логикой. Указанные каркасные решения часто являются также следствием той «свободы художественного творчества», которая в плохих руках приводит к произволу и к насилию над конструкцией. При таком образе мышления не может быть развития подлинно тектонических форм.

На рис. 19.1 и 19.2 показана ранд-балка над первым этажом, размеры которой, видимо, определяются только нагрузкой от данного перекрытия, а не от колонн вышележащих этажей. Однако над проемом ворот необходимо предусмотреть балку, которая воспринимает нагрузку промежуточных колонн. Но ради соблюдения унификации элементов, что в данном случае не имеет ничего общего с требованиями тектоники, балку прячут за подоконную стенку. Всякий, у кого имеется представление о материале и законах прочности, может догадаться, что балка должна быть где-то спрятана.

На рис. 19.3 и 19.4 показаны разгрузочные балки над первым этажом, которые, собственно, никакой функции не выполняют. Под каждой колонной верхнего этажа имеется колонна в первом этаже, поэтому нет необходимости в разгрузочной балке.

Здание, показанное на рис. 19.5, является типичным примером мещанского стремления во что бы то ни стало иметь дом с каркасным фасадом. Но с первого же взгляда видно, что фасад не соответствует конструкции, так как один из главных пилонов «висит» над дверью магазина. Если допустить, что пилоны верхних этажей расположены по системе широкого шага, то нет нужды в устройстве разгрузочного прогона для поддержки основного пилон, кроме как над дверным проемом. Расстановка мнимых опор (действительно несущие опоры обозначены стрелками) создает впечатление отсутствия ясной конструктивной схемы.

Независимо от того, оправдан ли разгрузочный прогон в данном случае или нет, структура этого каркаса является с точки зрения тектоники очень неясной. К сожалению, это не вымышленный пример. Многочисленные здания с такими и аналогичными фасадами украшают улицы наших предместий. Подобные примеры,

может быть, и не заслуживают критического рассмотрения. Но отсутствие понимания современной архитектуры является типичным также для авторов значительно более ответственных современных сооружений — административных, банковских и промышленных зданий, зданий страховых обществ, перегруженных мрамором, бронзой и персидскими коврами. В том же духе возводятся в провинциальных городах «современные каркасные здания», завершаемые крутой крышей в немецком стиле, а в больших городах — «современные» административные здания в монументальном псевдоклассическом стиле. Ни то, ни другое не соответствует духу нашего времени и современной архитектуре.

Формы каркаса над первым этажом при сетке широким шагом

Ввиду того что промежуточные стойки при широком шаге являются ненесущими, нет никакой необходимости в разгрузочном прогоне (рис. 20). Горизонтальный пояс перекрытия над первым этажом несет нагрузку аналогично поясам перекрытий вышележащих этажей. Перекрытие первого этажа конструктивно ничем не отличается от перекрытий вышележащих этажей. Особое решение каркаса над первым этажом не обусловлено никакими специальными конструктивными мероприятиями. Так как расстояние между опорами при широком шаге обычно соответствует требованиям пространственного деления первого этажа, можно, как правило, принимать один и тот же шаг в первом и вышележащих этажах. Тектоническое построение фасада верхних этажей правдиво отражает истинное распределение действующих усилий, если высота горизонтальных поясов в вышележащих этажах и на уровне перекрытия первого этажа одинакова. В тех случаях, когда над первым этажом расположена зона горизонтальных коммуникаций, последние должны быть оформлены так, чтобы их нельзя было принять за конструктивную часть.

Отклонения от ясного тектонического построения фасадов с широким шагом колонн наблюдаются относительно редко; они встречаются обычно в двух следующих случаях. На рис. 21.1 показан каркас с правильным использованием широкого шага. Несущие опоры в верхних этажах находятся на таком же расстоянии друг от друга, как и в первом этаже. Промежуточные стойки не выполняют несущих функций, что ясно выражено в тектонике фасада. И все же над первым этажом предусмот-

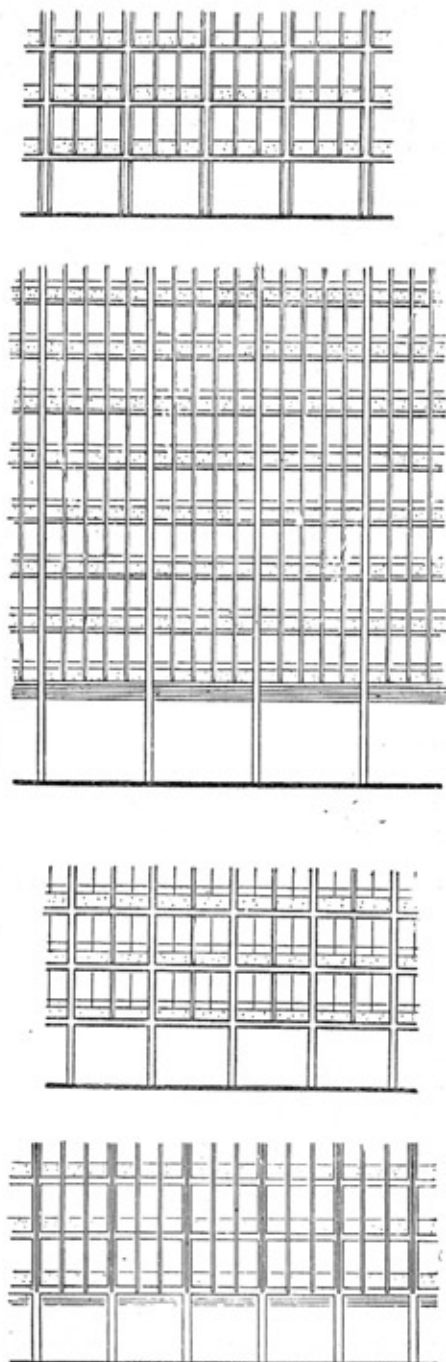
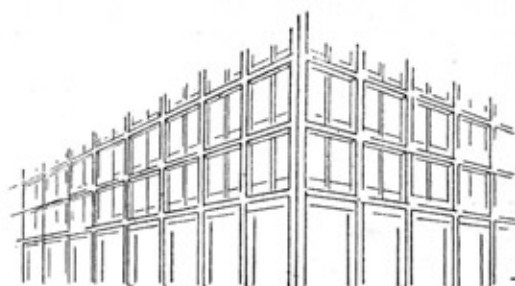
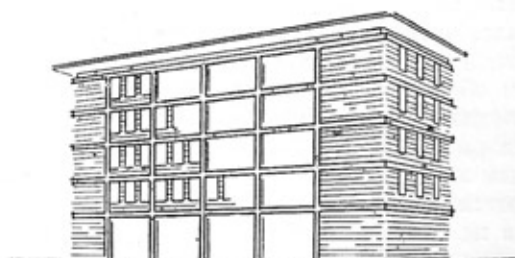


Рис. 20. Завершение нижней части каркаса при широком шаге колонн

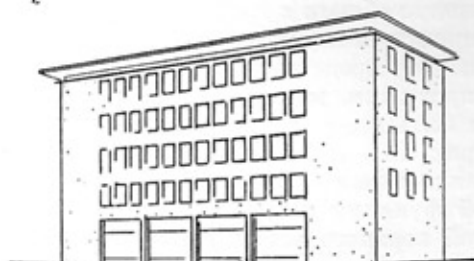
рена разгрузочная обвязка, которая, однако, не несет большей нагрузки, чем обвязки перекрытий вышележащих этажей. Наличие функционально неоправданного разгрузочного прогона, вероятно, является результатом желания использовать неправильно понятую конструктивную схему каркаса с узким шагом. Возможно, в



1



2



3

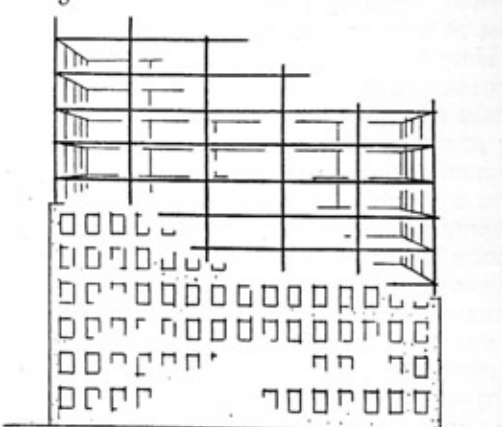


Рис. 21. Неправильные решения структуры наружной стены при широком шаге несущих колонн

1. Излишняя разгрузочная ранд-балка
2 и 3. Смешанные конструктивные системы

данном случае некоторое влияние оказало также монументальное построение фасада по традиционной схеме трехъярусного членения (цоколь, главный этаж, мезонин и т. д.), от которого все еще не могут отказаться некоторые архитекторы.

На рис. 21.2 показано здание смешанной конструкции. Несущий каркас заметно выделяется на фоне неоштукатуренной кладки. Каркас заполняется частично несущей и частично не несущей кладкой, а затем весь фасад оштукатуривается. Подобное неправильное применение строительного материала и непоследовательное конструктивное решение, естественно, может встречаться как при каркасе с узким шагом, так и при каркасе с широким шагом. Но большие пролеты при широком шаге колонн лучше выявляют свойственную каркасу несущую функцию. Поэтому применение его в зданиях в сочетании с каменной кладкой производит неприятное впечатление.

За оштукатуренным фасадом полностью скрыта структура каркасного здания. Спустя много лет, когда осадочные явления достигнут своего предела после длительного воздействия температурных колебаний, снова обнаружится наличие каркаса благодаря появлению неизбежных трещин. Эти трещины говорят о том, что строительный материал и конструкция применены неправильно. Этот смешанный тип конструкции не станет лучше, если вместо штукатурки применять чуждую конструкции облицовку мозаикой или облицовочной плиткой даже из самых дорогих материалов. Смешанная конструкция является плодом неконструктивного мышления. Она приводится в данном разделе лишь как отрицательный пример.

Формы каркаса на углах

Угол здания имеет важное архитектурное значение. На углу пересекаются смежные наружные плоскости объема здания. Грань угла является одновременно их началом и концом.

Стены каменных зданий с простыми нерасчлененными поверхностями легко сопрягаются на углах. Но фасады каркасных зданий всегда имеют сложное членение. Элементы фасада, в том числе балки и колонны, образующие сетку каркаса, окна и подоконники, большей частью расположены в разных плоскостях. В большинстве случаев фасады каркасных зданий представляют собой более или менее рельефную поверхность. Это приводит к тому, что оформление их углов становится сложной архитектурной задачей (рис. 22).

Несущие угловые колонны

Кажется, нет ничего проще, чем расстановка на главном фасаде одинаковых колонн на одинаковом расстоянии друг от друга, причем крайняя колонна служит угловой опорой. На боковом фасаде повторяется та же расстановка колонн с тем же шагом. В результате получается каркасное сооружение, фасады которого со всех четырех сторон ничем не отличаются друг от друга.

Угловые колонны имеют такое же сечение, как и рядовые.

Предположим, что они даже толще последних. Насколько мало подобное решение учитывает действующие усилия, можно убедиться, проанализировав схематическое изображение распределения нагрузок. На рис. 23 показан каркас здания с узким шагом и перекрытием на поперечных балках. Колонны продольных наружных стен все одинаковы. Их сечения определяются равными долями нагрузки перекрытия, которая условно принимается за 100% нормальной нагрузки. Нагрузка угловой опоры значительно меньше. Она равна 50% нормальной нагрузки. Кроме того, угловая колонна еще больше разгружается благодаря неразрезности ранд-балок. На короткой стороне здания средняя колонна несет максимальную нагрузку, так как на нее опирается продольный ригель, имеющий большой пролет. Из всех рядовых колонн средняя колонна воспринимает наиболее тяжелую нагрузку, равную 300% нормальной нагрузки опор. Остальные колонны узкой стороны здания не нагружены. Теоретически они являются излишними, но практически они также несут нагрузку, разгружая угловую колонну, которая и без того не является полностью нагруженной. Ввиду того что в распределении нагрузки нет полной ясности, невозможно точно определить, насколько нагружена угловая колонна. Но, по-видимому, она воспринимает не более 10—20% нормальной нагрузки. Тем самым угловая колонна теряет свое конструктивное назначение; она почти никакой нагрузки не воспринимает.

Проектировщик, лишенный воображения и понимания технического характера сооружения по-видимому по эстетическим соображениям будет «унифицировать» неодинаковые элементы здания, приводя их к одинаковым размерам. Тем самым архитектура здания лишается той выразительности, которая является не результатом внешних украшений, а следствием функциональной целесообразности всех его частей. Это особенно нужно иметь в виду тем, кто утверждает, что причина определенного художественного обеднения современных каркасных зда-

ний заключается в чрезмерном подчеркивании конструктивных требований. Однако скорее следует искать причины этого зла в часто встречающемся пренебрежении конструктивной логикой.

Отсутствие конструктивной логики в примере с угловой колонной, где все опоры, несмотря на неравные нагрузки, имеют одинаковые размеры, значительно чаще является первопричиной обеднения архитектуры, чем переоценка значения конструкции.

В современных спорах об архитектуре нарочитое противопоставление искусства технике, к сожалению, нередко приводит к полному искажению фактов. Можно легко убедиться в том, что такой образ мысли свойствен тем, кому глубоко чужд мир техники и кому не хватает понимания красоты и логики технических решений. Этим и объясняется то, что некоторые архитекторы считают ниже своего достоинства вдуматься в такие простые явления статики, как правильное распределение нагрузок; некоторые «компетентные» критики провозглашают лозунг освобождения архитектуры от «цепей» техники. Поэтому мы не должны удивляться, когда некоторые проектировщики, ссылаясь на «чисто художественные соображения», создают тектонически бессмысленную решетку ложного несущего остова, не имеющую ни малейшего отношения к самой сущности каркасной конструкции. Конечно, нас не должно удивлять, когда такое сочетание безжизненных форм производит удручающее впечатление.

На рис. 24 представлены примеры, где угловая колонна толще других колонн. Но, как уже было доказано, ее нагрузка является наименьшей. Таким образом, внешний вид угловой колонны находится в резком противоречии с ее конструктивной функцией. И все же именно этот прием архитектурного решения угла является наиболее распространенным. Чем это объясняется? Если детали окна и подоконной стенки, примыкающие к угловой колонне, являются такими же, как в остальных пролетах, то угловая колонна должна иметь ширину и толщину, равные размеру a (см. рис. 25.1 и 25.2). Если рядовая колонна имеет прямоугольное сечение, т. е. если она является широкой в глубину и узкой по фасаду, то угловая колонна должна быть квадратной, но обе ее стороны должны иметь ширину, равную глубине рядовой колонны. Это и является основной причиной того, что угловая колонна толще рядовой. Это обстоятельство усугубляется еще и ролью перспективы. Глазом воспринимается не истинная ширина колонны, а проекция ее ширины s . Этот размер во всех случаях больше размера проекции рядовой колонны s' . Каждая прямоугольная

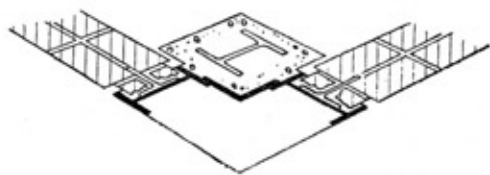
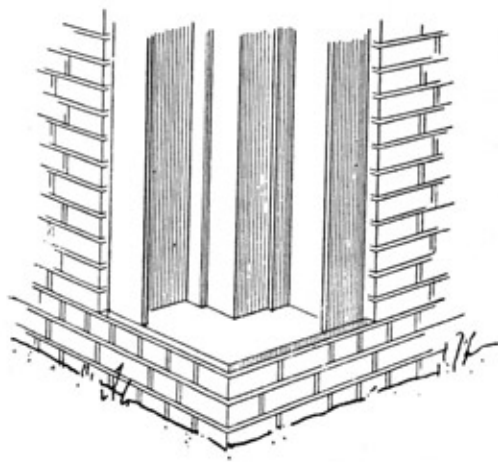
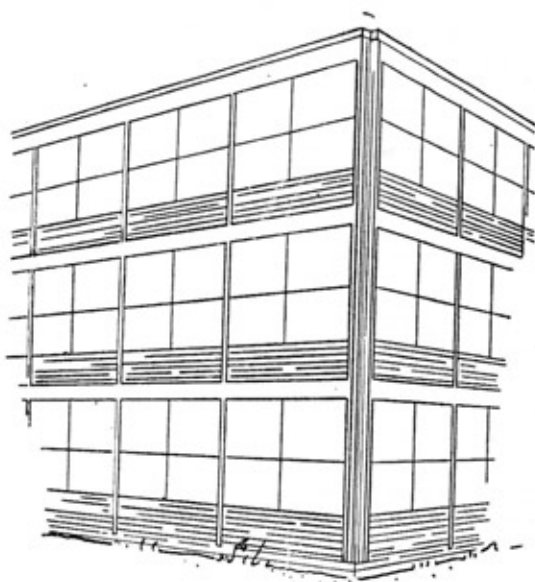
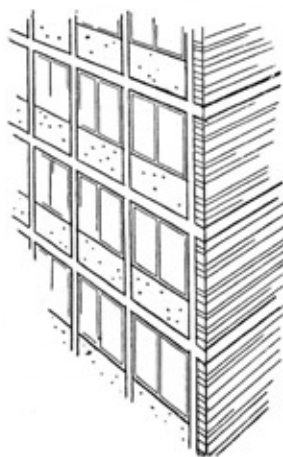
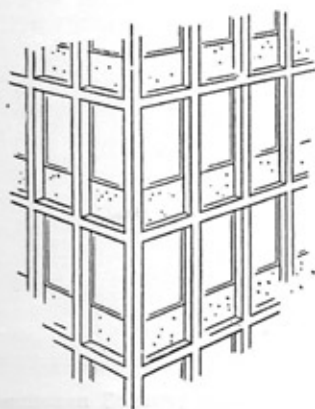
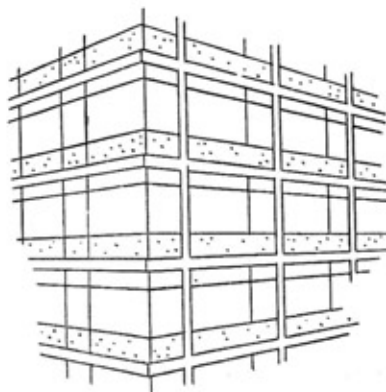
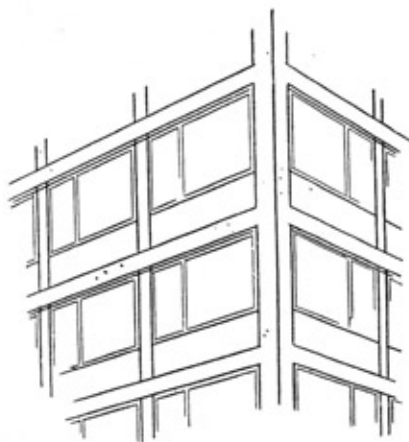
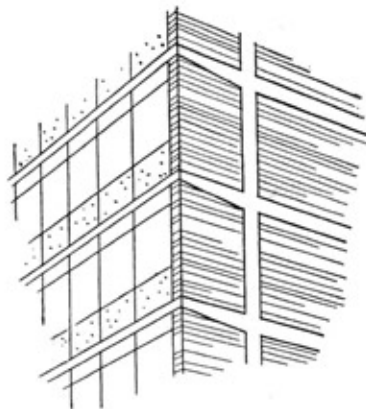
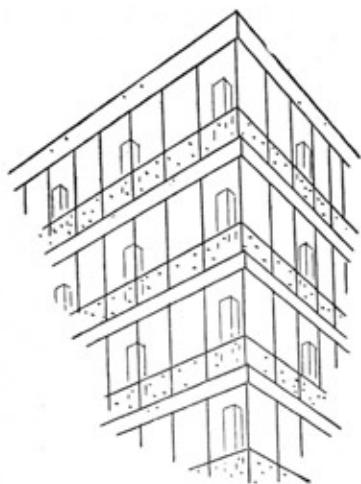


Рис. 22. Различные формы решения угла



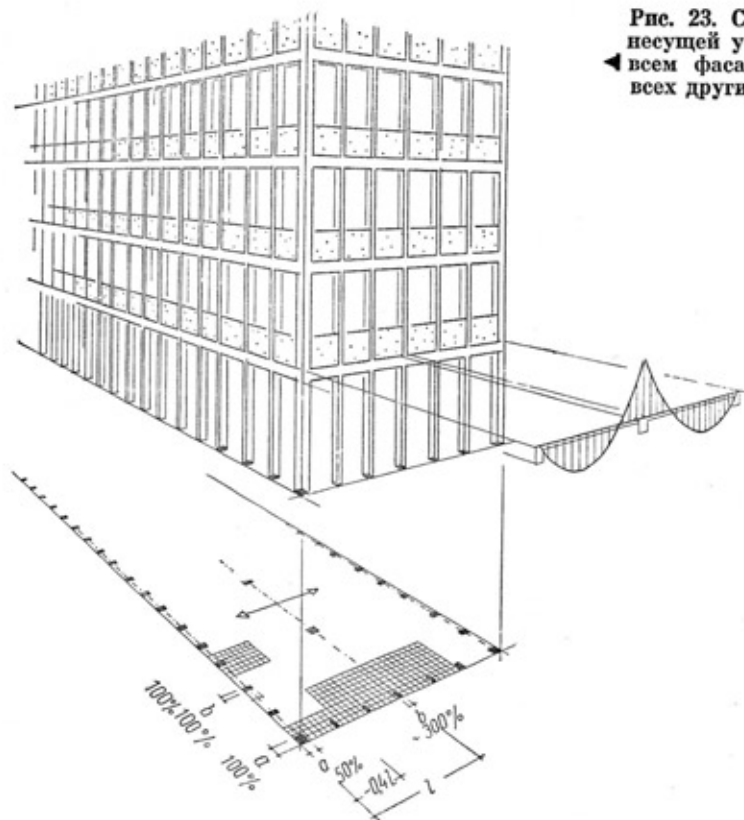
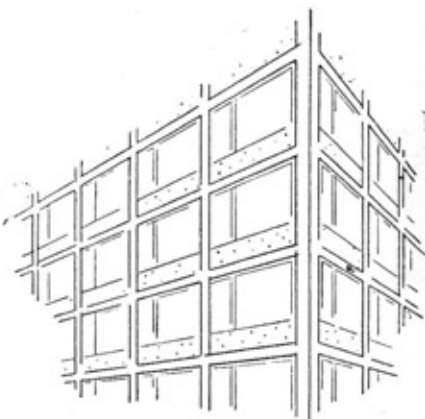
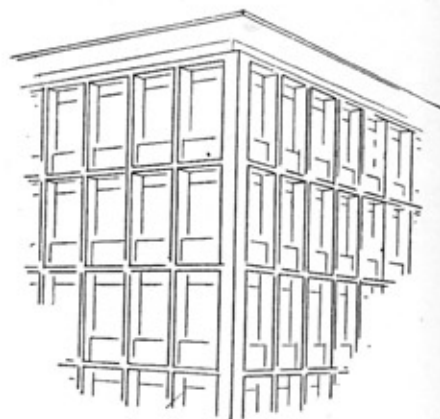


Рис. 23. Схема распределения нагрузок в каркасе с несущей угловой колонной и узким шагом колонн по всем фасадам. Угловая колонна нагружена меньше всех других колонн



ножка стола или стула в перспективе кажется шире, чем в ортогональном изображении на чертеже, так как на нее обычно смотрят с угла. Эта закономерность перспективы является роковой для архитектурного облика колонны, так как то, что в данном случае получается как бы естественно, на деле противоречит тектонически правильной форме.

Попытка ставить под углом друг к другу узкие ребра-пилоны, образующие внутренний угол, не давала желаемого зрительного эффекта. Даже хваленое и часто встречающееся в литературе решение угла, предложенное архитектором Мис ван дер Роэ (рис. 22 внизу справа) и принадлежащее к наиболее зрелым из известных современных решений угла из стальных деталей, не создает того впечатления легкости, к которому, с точки зрения требований тектоники, следует стремиться при решении угла каркасного здания. Хотя в данном решении достигнута весьма осязательная пластичность, отдельные части профиля зрительно все же настолько сливаются, что на некотором расстоянии воспри-

Рис. 24. Конструктивно неправильное решение с утолщением угловой колонны

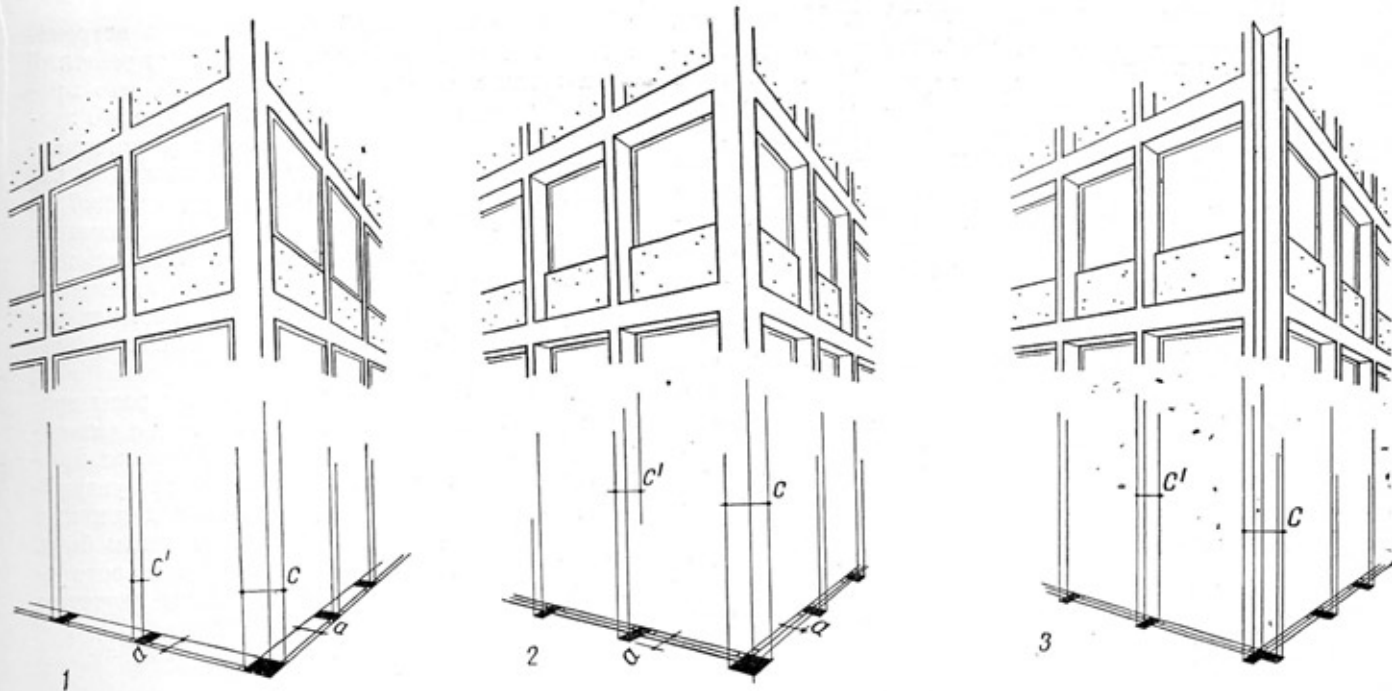
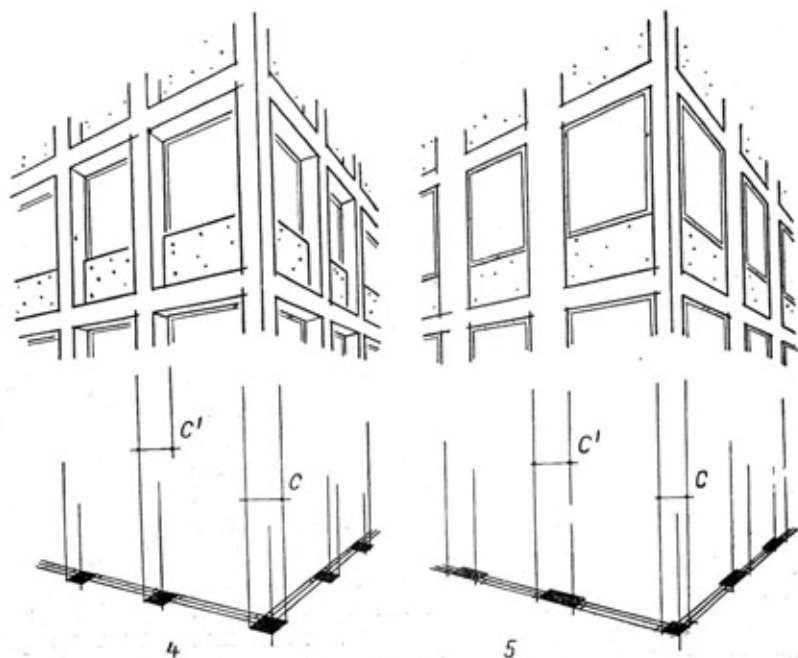


Рис. 25. Детали и перспективный вид угловой колонны

- 1 и 2. Размер c угловой колонны квадратного сечения в перспективе кажется более широким, чем размер c' у промежуточных колонн прямоугольного сечения
3. Угловая колонна с входящими углами кажется менее тяжелой, чем колонна квадратного сечения, однако размер c все же остается больше, чем размер c'
4. При заглаблении оконных переплетов до внутренней поверхности колонн и применении колонн квадратного сечения видимый размер угловой колонны c приближается к размеру c'
5. Уширение рядовых колонн для того, чтобы угловая колонна казалась более стройной, противоречит самой сущности каркасной системы



нимаются как компактная масса. Кроме того, следует подчеркнуть, что части, из которых состоит угловая опора, не являются собственно несущими элементами каркаса. Они представляют собой всего рода окантовку облицовочной кладки, которая находится перед несущей колонной. Даже если данное угловое решение является принципиально правильным для частного случая, оно все же не может рассматриваться как типичное решение угла каркасной конструкции.

Угловая колонна, показанная на рис. 25.4, отличается стройностью благодаря тому, что элементы окон имеют глубокие наружные откосы, а сечение рядовых колонн квадратное. Угловая колонна кажется не толще рядовой. И все же данным решением не достигается та стройность, которая полностью отвечала бы схеме. Кроме того, такое решение имеет ряд технических недостатков из-за наличия глубоких откосов.

Другое возможное решение состоит в том, чтобы намеренно расширить рядовые колонны, придавая им вид простенков. Такое решение может иметь известные преимущества с точки зрения внутреннего пространства, т. е. расстановки мебели, расположения поперечных перегородок, а также уменьшения часто излишней площади окон (рис. 25.5). Рядом с уширенной рядовой опорой угловая опора всегда будет казаться стройной. Однако такие размеры рядовых опор мало пригодны для каркасного здания. Опора теряет характер колонны и превращается в своего рода простенок. При сборном строительстве из готовых стеновых блоков это имеет свое оправдание. При каркасном же строительстве, о котором в данном случае идет речь, такое решение не является удовлетворительным.

Следовательно, угловая несущая колонна каркасного здания не может быть более стройной, чем рядовая колонна. Поэтому возникает вопрос: не повышено ли требование создания тонкой угловой колонны и не имеет ли оно только теоретического значения. И все же интересно отметить, что это требование к тектонике в значительной степени совпадает с интуитивным чувством неудовлетворенности, возникающим при виде тяжелой угловой колонны. Такое совпадение рациональной и интуитивной оценок свидетельствует об их общих истоках. Эти оценки основаны на логике построения красивой тектонической формы. Стройная угловая колонна, показанная на фотографии 1, часто встречается в сооружениях, которые следует отнести к лучшим образцам современной архитектуры.

В каркасном строительстве угловая колонна чрезмерно большого сечения является нецелесо-

образной и некрасивой. Однако редко встречаются примеры хороших тектонических решений угла здания. Создается впечатление, что проблемой формообразования угла каркасного здания еще не занялись всерьез. Все рассмотренные нами несущие угловые колонны имеют недостатки. Кажется, что сама природа вещей не позволяет найти удачного и исчерпывающего решения угла каркасного здания. Этот отрицательный вывод находит свое подтверждение на практике. До сих пор ни одно из известных решений не является удовлетворительным с точки зрения тектоники.

Интересно отметить, что те же вопросы возникают при решении деталей окон. При смыкании рядов ленточных окон в углу здания приходится решать те же задачи, что и при устройстве угловой колонны. Для лучшего сопряжения окон угловой импост обязательно должен быть более толстым, чем рядовой. Однако по эстетическим соображениям и статическим расчетам он должен быть самым стройным.

Консольное решение торцов здания

В предыдущей главе было показано, что попытки завершить угол каркасного здания несущей колонной не приводят в тектоническом отношении к удовлетворительным результатам. Статика подсказывает другой путь решения. Для каркасного здания типично, а на рис. 23 это видно, что на угловую колонну всегда приходится наименьшая нагрузка. Поэтому она в статическом отношении почти никакого значения не имеет. Принимая во внимание сущность каркасной конструкции, от последней можно было бы полностью отказаться. Небольшая нагрузка углов может быть легко воспринята выступающей консолью перекрытия и передана на рядовые колонны. На рис. 26 показано распределение нагрузки в каркасе с широким шагом, у которого перекрытия выступают в торце здания (односторонняя торцовая консоль). Вполне логично, что все опоры в торце здания, включая угловую колонну, становятся ненужными, в то время как колонны длинной стороны здания остаются. Колонны длинной стороны здания, воспринимающие почти одинаковую нагрузку и имеющие одинаковые размеры, членят фасад сообразно несущей функции каркаса. Создается впечатляющий контраст с торцовым фасадом, лишенным колонн и характеризующимся консольным выступом. Консольное нависание торца здания дает возможность не только правильно решить угол, но и обогащает облик здания в результате разнообразного членения его фасадов (фото 2).



Фото 1. Ремонтная мастерская фирмы «Фольксваген». Арх. Фридрих Крэмер

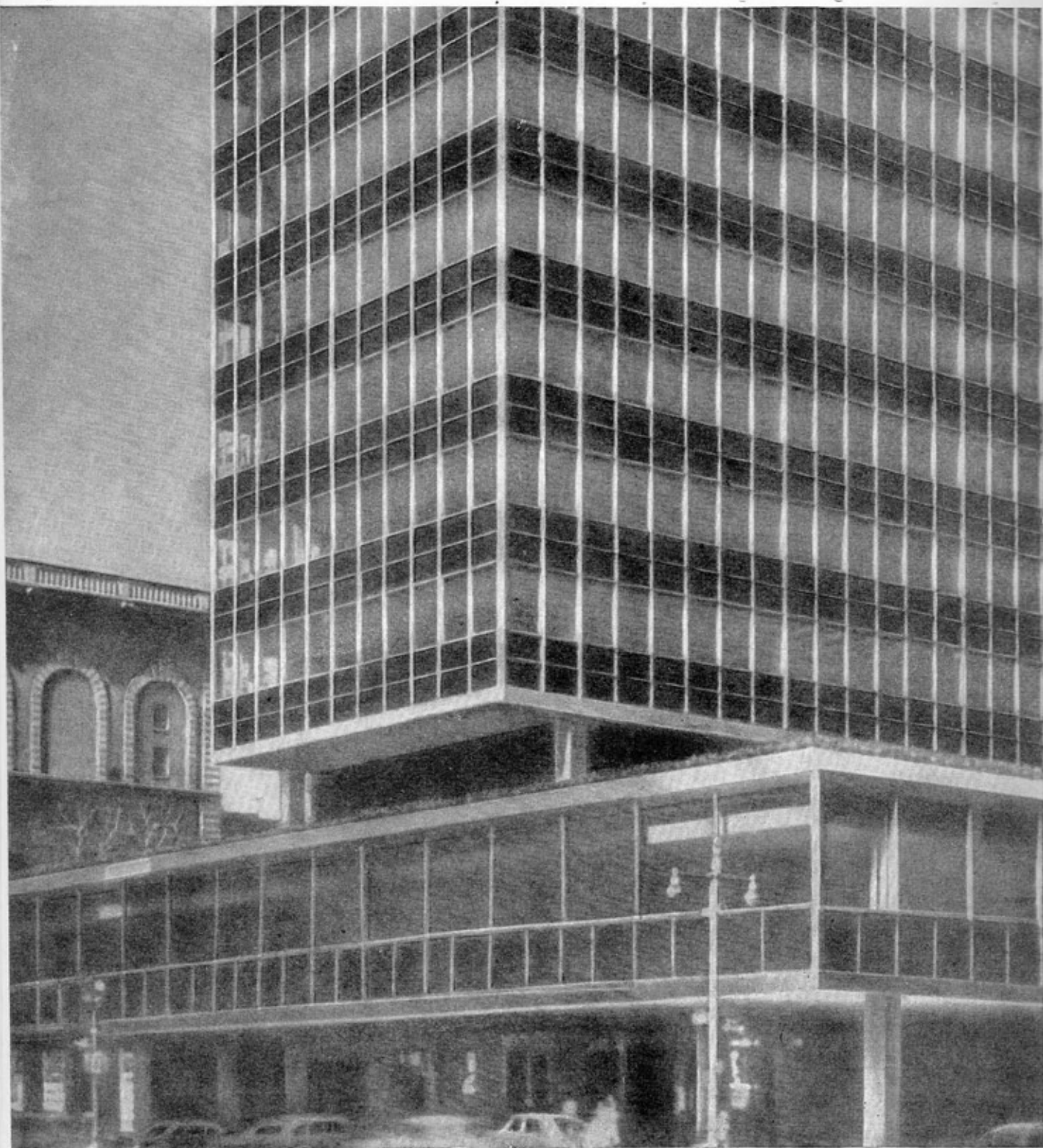


Фото 2. Ливер Билдинг, Нью-Йорк. Архитекторы Скидмор, Оуингс и Меррил

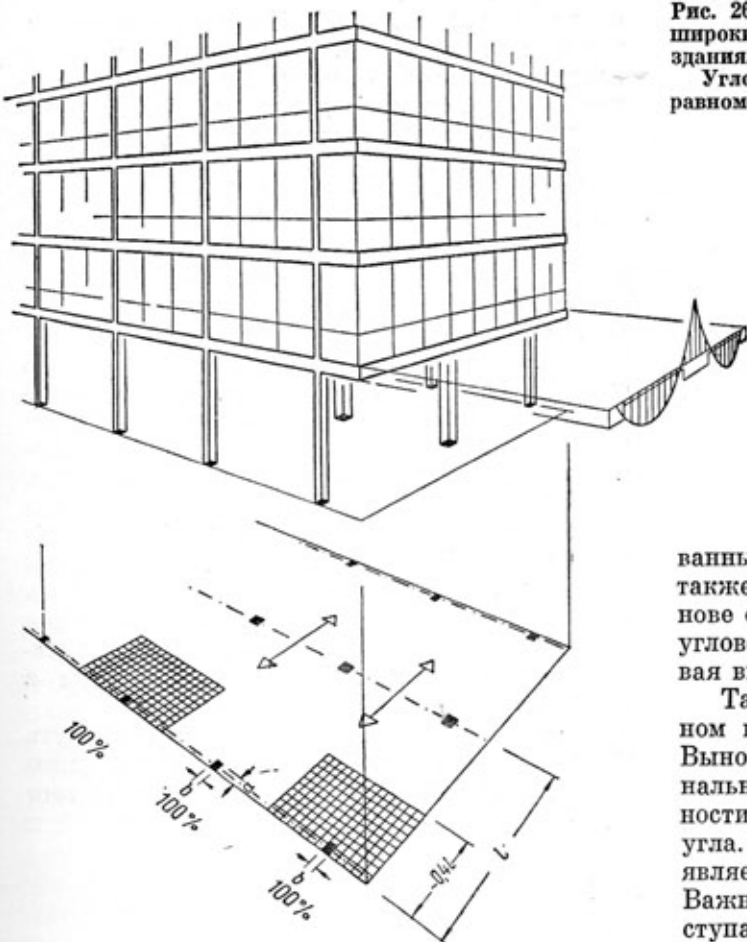


Рис. 26. Схема распределения нагрузок в каркасе с широким шагом при консольном выносе торца здания.

Угловой колонны нет. Нагрузка распределяется равномерно по всем наружным опорам

Начиная наше рассмотрение каркаса под углом зрения законов статики и поставив перед собой цель найти правдивое тектоническое решение угла на основе ясной схемы распределения нагрузок, мы пришли к такому выводу, что правильное тектоническое решение придает каждому фасаду здания специфический характер, т. е. выявляет различную структуру продольной и торцевой стен. Консольный выступ торцевой части здания неизбежно влечет за собой различное решение фасадов длинной и короткой сторон здания. Передовой архитектор, разбирающийся в вопросах тектоники, охотно использует решение, в котором нет угловой колонны и в котором благодаря применению правильной конструкции архитектура фасадов становится еще более разнообразной и живой, чем это могло быть достигнуто декоративными средствами.

Тектоническое мышление помогает архитектору преодолеть скуку и однообразие, являющиеся результатом неправильно унифициро-

ванных элементов фасада. Этому способствует также знание строительной техники. На основе схемы нагрузок можно сделать вывод, что угловой колонной можно пренебречь, устраивая вынос перекрытия в виде консоли.

Таким образом, торцовая стена на консольном выносе не является надуманной формой. Вынос дает возможность правильно и оригинально решить архитектуру здания и, в частности, служит хорошим решением проблемы угла. Консольная балка сама по себе еще не является выразительной тектонической формой. Важно, как она нагружена, в каком месте выступает, какого характера ее опора и соответствует ли вынос консоли несущей способности нижней части здания. Выступающие балки должны быть органически связаны со всем каркасом. Если размеры выноса правильны, то пропорции консольной балки хорошо увязаны с размерами конструкции перекрытий. Консоль и каркас образуют единое целое. На рис. 27 показано несколько консольных конструкций с различным размером выноса при одинаковом шаге колонн и соответствующие им изгибающие моменты. Изгибающие моменты в местах заземления должны находиться в определенном соотношении с изгибающими моментами остальных пролетов балки. Например, в конструкции, показанной на рис. 27.3, сечение консоли в месте ее заземления, т. е. над последней опорой, должно быть усилено соответственно изгибающему моменту или же должно быть усилено сечение всего прогона. В обоих случаях будет излишне подчеркнута консольная конструкция, которая является лишь рациональным завершением данной конструктивной схемы, а не основной архитектурной темой каркаса.

Нарушается ясная структура здания без достаточного на то основания.

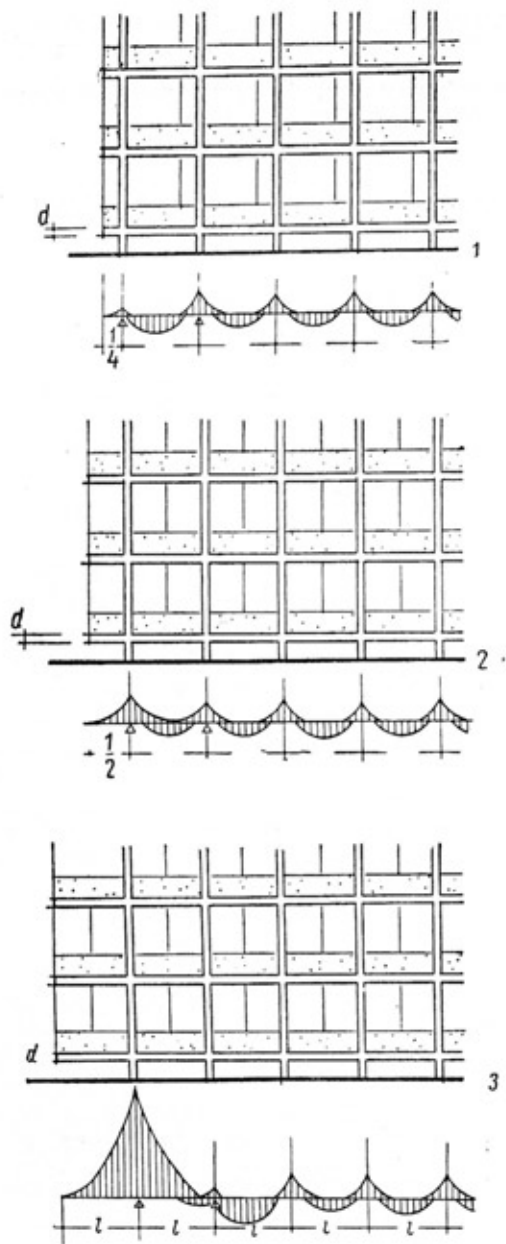


Рис. 27. Оптимальный вынос консоли

1. Нагрузка консоли меньше ее несущей способности
2. Нагрузка консоли приблизительно соответствует ее несущей способности
3. Консоль перегружена, она должна быть усилена

Если при чрезмерно большом выносе консоли размеры балки в месте защемления не меняются, то последняя перенапрягается, и равновесие конструктивной системы нарушается. Заниженные размеры элементов в месте защемления вызывают перенапряжение материала и лишают конструкцию необходимой жесткости. У опытного наблюдателя создается впечатление неустойчивости конструкции.

Если вынос консоли очень мал (что не противоречит условиям работы конструкции с точки зрения статики), то теряется ее художест-

венная выразительность. Конечно, в исключительных случаях (рис. 28) очень малый вынос консоли может быть оправдан в силу своего целевого назначения. В данном случае он определяется толщиной торцевой стенки, опирающейся на консоль.

Несомненно, существуют более или менее «оптимальные» размеры консоли, которые в каждом отдельном случае зависят от отношения между пролетом балки, выносом консоли и величиной нагрузки. Если на конец консоли опирается торцовая стена, которая к тому же передает на консоль давление ветра, то несущая способность даже самой тяжелой консольной балки, по высоте равной подоконной стенке, будет полностью исчерпана. Оптимальные размеры консоли в этом случае весьма невелики. Причем ее пропорции определяются не только исходя из эстетических соображений. Намеченные в проекте размеры должны быть проверены расчетом, после чего в проект должны быть внесены необходимые изменения. Оптимальное тектонически правильное решение находят после сравнения различных вариантов проекта и соответствующих пересчетов.

При узком шаге колонн трудно достигнуть выразительного решения консоли. Даже такое ясное решение, как на рис. 28, не создает того

впечатления завершенности, которое характерно для консольной конструкции. При широком шаге консольная конструкция, наоборот, получает ясное выражение, подчеркнутое различием между несущими и промежуточными колоннами. Тонкие промежуточные ненесущие стойки членият фасад до угла и далее переходят на нависающий торцовый фасад здания. Они являются желательными для контраста с несущими колоннами на фасаде длинной стороны здания. С этой точки зрения широкий шаг является особенно выгодным для консольных решений. Поэтому удивительно, что в каркасных зданиях относительно редко применяются описанные выше торцовые консольные конструкции. Однако те немногие здания, которые построены по данной конструктивной схеме, принадлежат к лучшим образцам современной архитектуры. Но в архитектуре массовых сооружений прием

Двухсторонний консольный вынос фасада

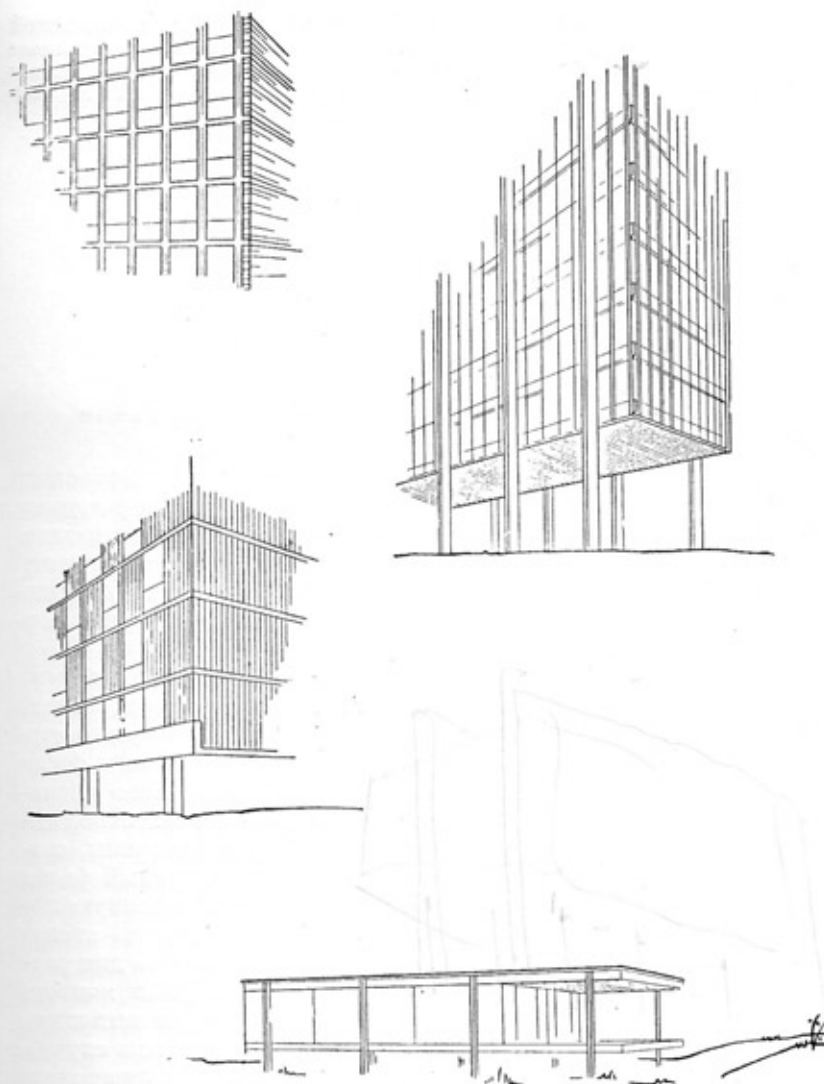


Рис. 28. Примеры консольных решений торцов зданий

консольного выноса торца здания применяется редко, несмотря на простоту и ясность консольной конструкции. Простота и ясность — это понятия редкого достоинства. Овладеть ими в архитектурно-художественном творчестве, по-видимому, труднее, чем заниматься украшательством банальных фасадов.

Еще 25 лет назад Мис ван дер Роэ были созданы прототипы решений каркасного здания и в частности угла, которые в конструктивном и художественном смысле были очень ясны. Это были единичные примеры. Лишь в последние годы появились новые значительные каркасные сооружения с консольным выносом на торцах.

Применение консольной конструкции торцового фасада и отказ от использования угловой колонны привели к правильному решению угла каркасного здания. С конструктивной точки зрения возможно устройство и двухстороннего выноса фасада. Необходимо рассмотреть, как это отразится на архитектуре зданий.

На рис. 29 и фото 3 показано равномерное распределение нагрузки на все опоры каркаса при широком шаге колонн и консольном выносе перекрытия в две стороны. Благодаря консольному выносу перекрытия в поперечном направлении здания наружные колонны в отношении нагрузки существенно не отличаются от внутренних. В результате применения консоли получены почти одинаковые нагрузки и одинаковые размеры всех колонн. Это возможно только при широком шаге. При узком шаге наружных колонн двусторонний выступ неприменим, так как размер этого шага слишком мал для сетки внутренних колонн. При широком шаге немногие колонны, расположенные внутри помещения за наружной продольной стеной здания, легче увязать с планировкой внутреннего пространства. Если это невозможно, следует предпочесть односторонний

вынос фасада, например в тех случаях, когда необходимо установить много поперечных перегородок. Только в больших не разделенных перегородками помещениях колонны, стоящие внутри вдоль длинной стороны здания, не мешают. Решение двустороннего выноса фасада с колоннами, отступающими внутрь помещения, обладает большой тектонической ясностью.

На рис. 30 показаны некоторые здания с выносом фасада на консолях по всему периметру. Каркас, отступает внутрь здания. Нигде каркас не находится в одной плоскости с фасадом. Каркас виден снаружи, только лишь благодаря сплошному остеклению стен.

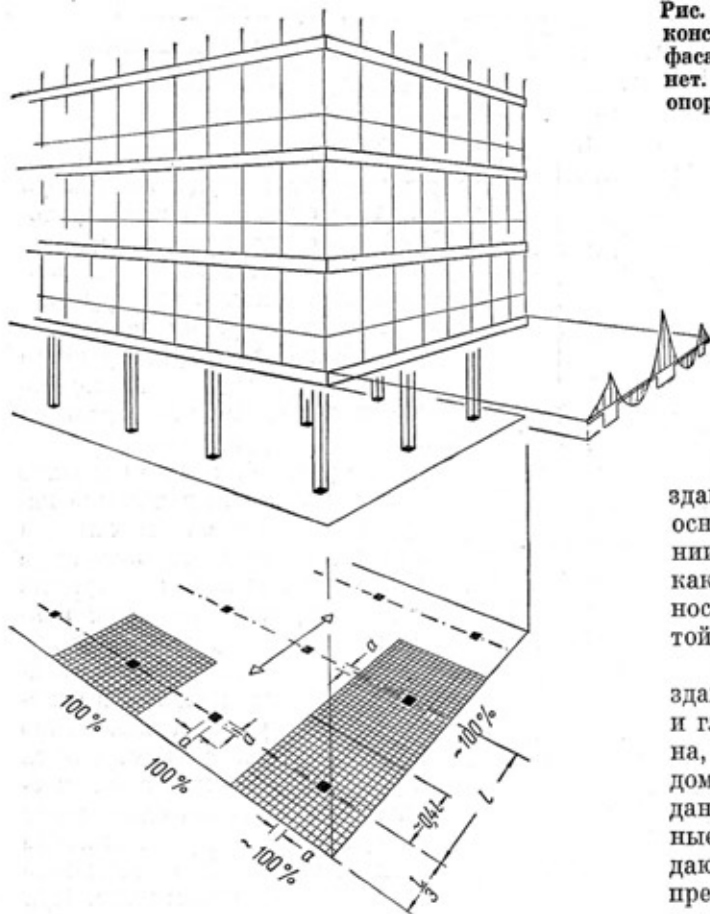


Рис. 29. Схема распределения нагрузок в каркасной конструкции с широким шагом при консольном выносе фасада по всему периметру здания. Угловых колонн нет. Нагрузка равномерно распределяется на все опоры.

Решение угла при глухой торцевой стене

Архитектурные решения угла каркасного здания, рассмотренные в предыдущих разделах, основаны на предпосылке, что при распределении усилий угловая колонна не несет почти никакой нагрузки. Облегченный угол по возможности без колонны становится характерной чертой архитектуры здания.

Совсем иначе обстоит дело, когда на углу здания сопрягаются каркасная система фасада и глухая торцевая стена. Глухая торцевая стена, сопрягающаяся на углу с каркасным фасадом, всегда может быть функционально оправданной. Одинаковые помещения, расположенные в ряд и освещенные с одной стороны, создают тип здания, у которого продольный фасад представляет собой сплошную остекленную поверхность, а торцовый фасад — глухую стену. Этот тип здания с успехом применяется для размещения в нем, например, школ или контор. Предположим, что торцовая стена не выполняет никаких несущих функций. В таком случае она служит лишь ограждением, защищающим помещения от шума, жары и холода. Если же сделать эту стену несущей, в виде массивной каменной или бетонной стены, то в конструктивном отношении ее функции совпадают с функциями продольной наружной стены. Однако эти две части здания столь различны по своим конструктивным свойствам, что не всегда удастся достигнуть общей гармонии. Элементы каркаса имеют максимально напряженные сечения, доведенные до минимальных размеров. Что же касается торцевой стены, то из архитектурных соображений ее толщина несколько увеличена. Кроме того, величина усадки, степень ползучести и осадки стеновой и каркасной конструкций не совпадают. Все эти факторы требуют, чтобы одна конструкция зрительно четко отделялась от другой.

Архитектура лабораторного и административного корпуса научно-исследовательского института Джeneral Моторс в Детройте, фото 4,

Выразительность фасада создается чередованием остекленных полос и глухих поясов наружного ограждения. В этом случае архитектору предоставлена полная свобода. Для решения угла без несущей колонны эта свобода — положительное явление. Однако при членении фасада она может стать недостатком. Фасад из навесных панелей сборной конструкции, даже при высоком качестве деталей, не будет отвечать тектоническим требованиям, если он не увязан с несущей конструкцией, а тем более архитектурным. Все зависит от того, насколько сохранена связь между наружным ограждением и каркасом. Если, однако, проектировщик будет действовать опрометчиво, то может потерять связь между структурой здания и фасадом. Тем самым нарушится единство внутренней и внешней частей здания.

В каркасном здании угол решается одинаково хорошо как при выносе фасадов на консолях по всему периметру, так и при консольном выносе только торцовых фасадов. Однако решение самих фасадов и структуры всего объема здания более ясно в последнем случае.

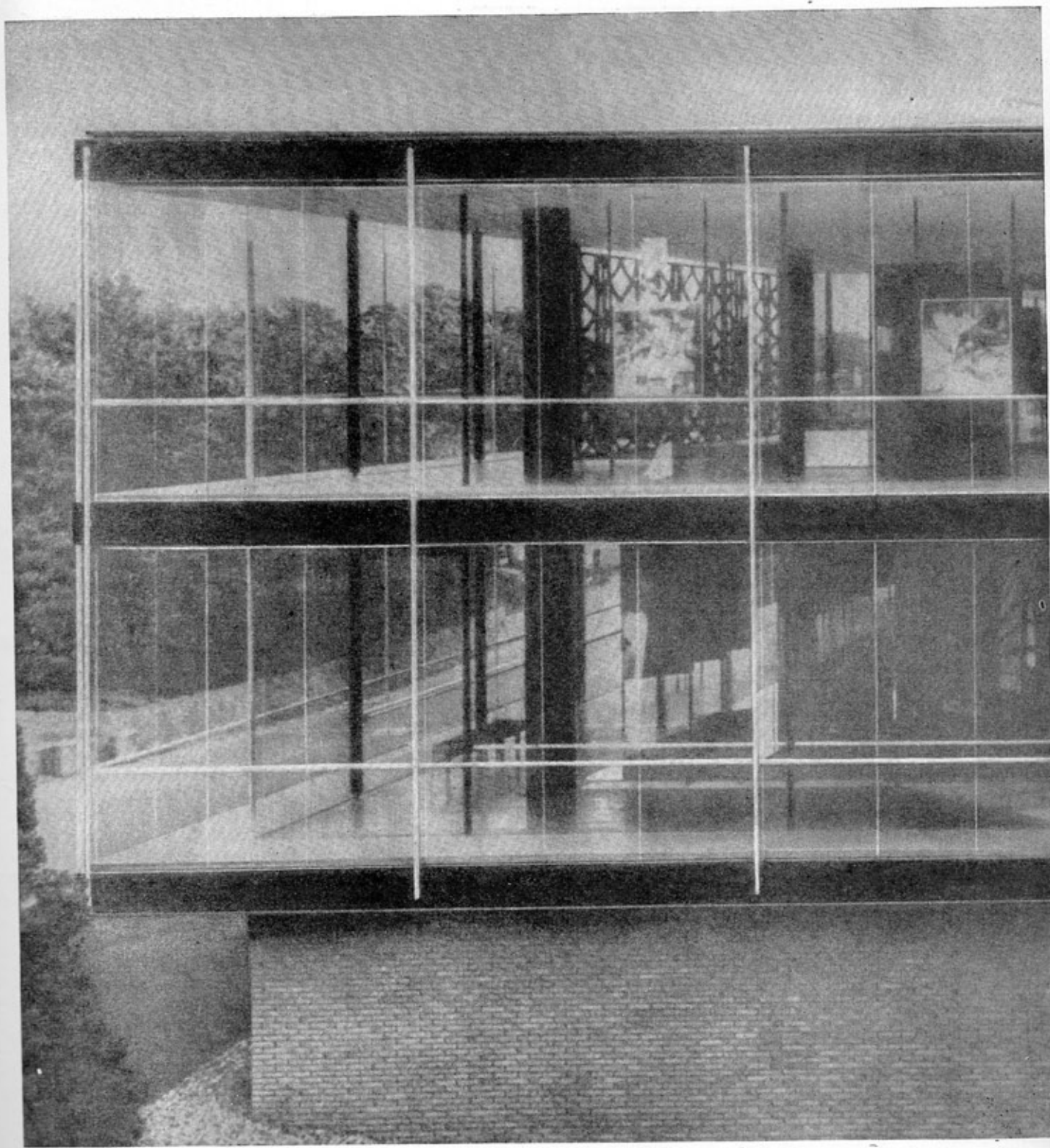


Фото 3. Павильон ФРГ на Всемирной выставке в Брюсселе в 1958 г. Архитекторы
Эгон Айерман и Зеп Руф

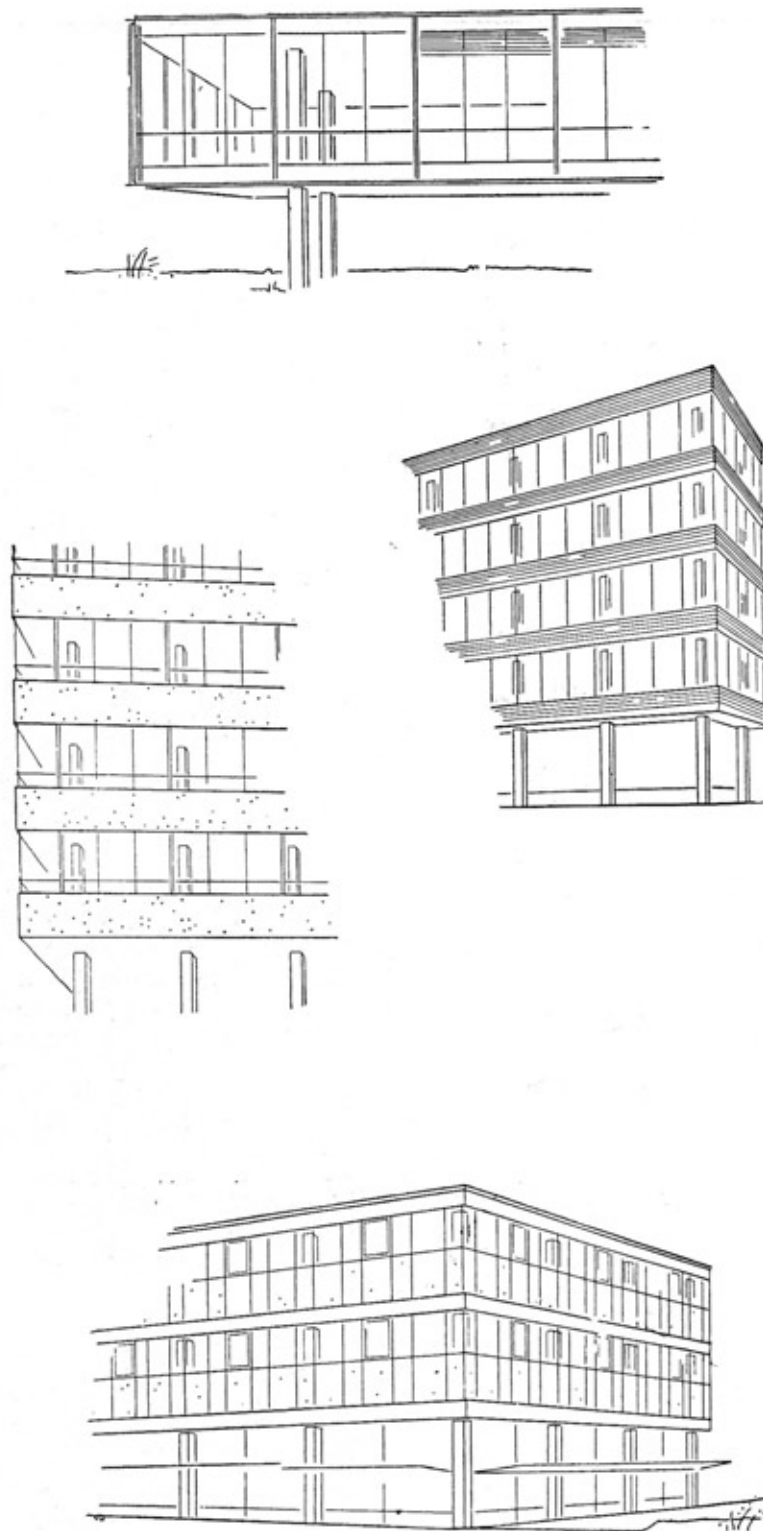


Рис. 30. Углы и фасады каркасных конструкций, консолю выступающих по всему периметру здания

является ярким примером подобного четкого отделения каркаса от стены здания (рис. 31.4). Кирпичная стена плотно примыкает своей узкой торцевой стороной к крайней колонне. Каркас вместе со стеной образует единую конструкцию и в то же время отделен от последней. Крайняя колонна имеет ту же ширину, что и промежуточные колонны, и является органической составной частью главного фасада здания. В данном случае стена несколько загораживает угловую колонну, и поэтому последняя не кажется такой толстой. Стена является самонесущей и крепится к каркасу лишь во избежание бокового опрокидывания.

В многоэтажных зданиях это простое и убедительное архитектурное решение не всегда осуществимо. При большой высоте здания различная степень осадки стены и каркаса отрицательно сказывается на взаимодействии самонесущей стены и каркаса. Кроме того, бывает нецелесообразно доводить глухую торцевую стену до уровня земли, если необходимо раскрыть стены первого этажа. Поэтому лучше, когда стена опирается на перекрытие каждого этажа. На рис. 31.2 показано соответствующее сопряжение стены с каркасом. В данном случае отсутствие стены на первом этаже является вполне оправданным и не вызывает возражений с точки зрения тектоники.

Наконец, следует упомянуть также о простом фахверковом решении каркаса на торцевой стене (рис. 31.3). Стена и каркас находятся в одной плоскости. Только благодаря различной фактуре материала можно отличить их друг от друга. Однако вновь возникают затруднения архитектурного решения угла. Невозможно преодолеть впечатление тяжеловесности угловой колонны, если смотреть на нее с угла. Тем не менее для каркасных зданий система фахверковой стены является весьма приемлемым решением.

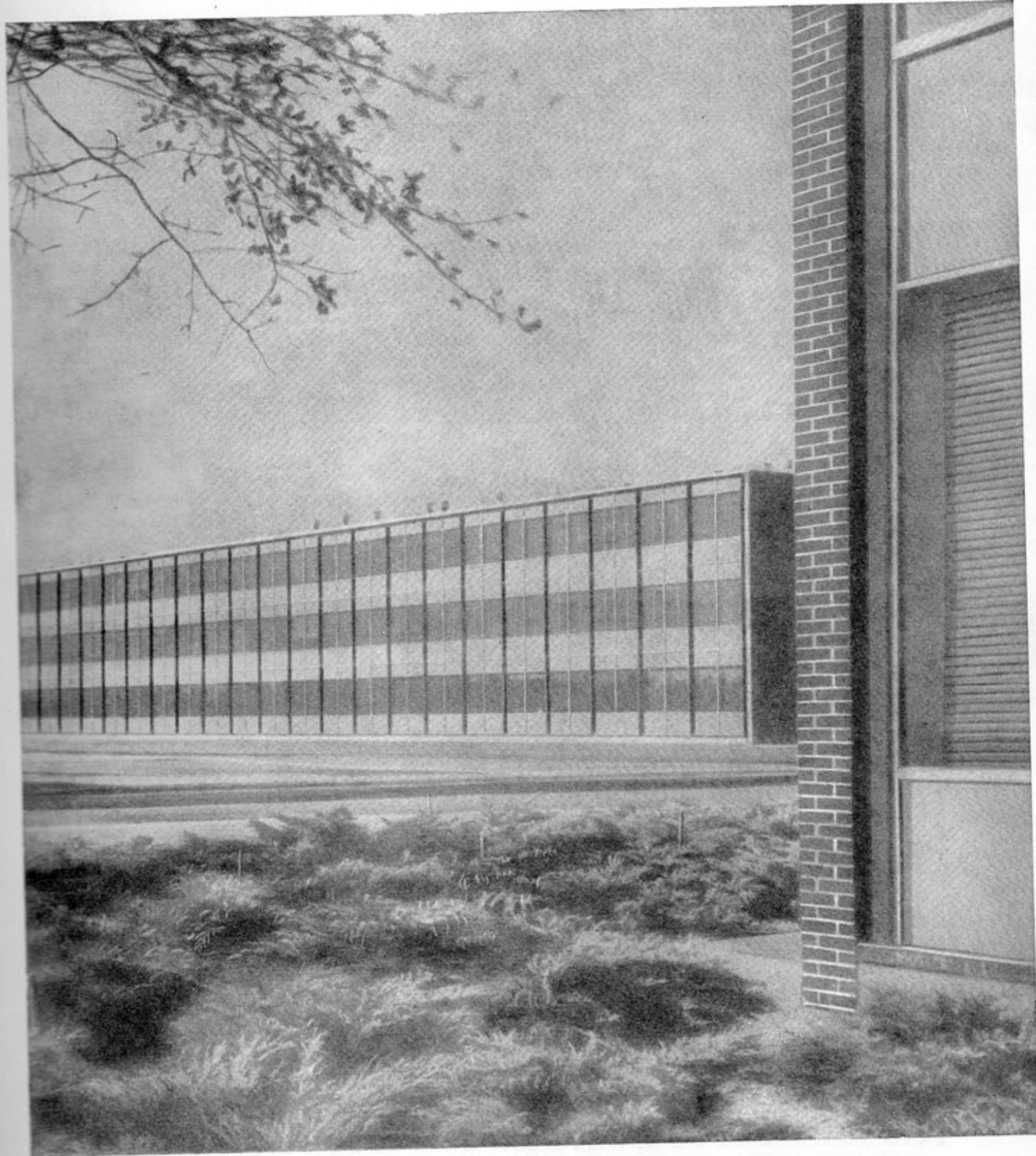
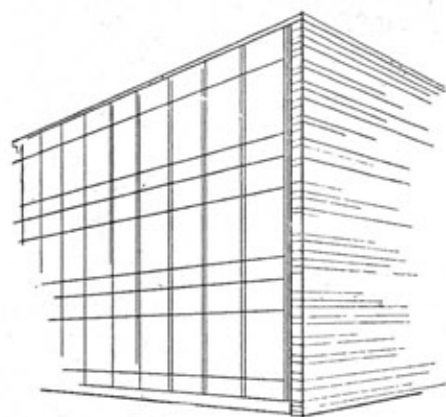
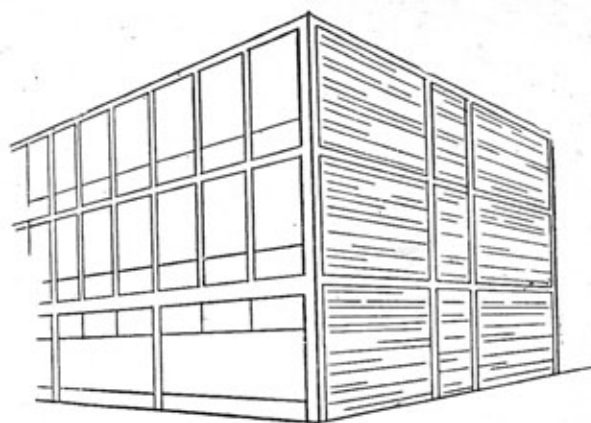


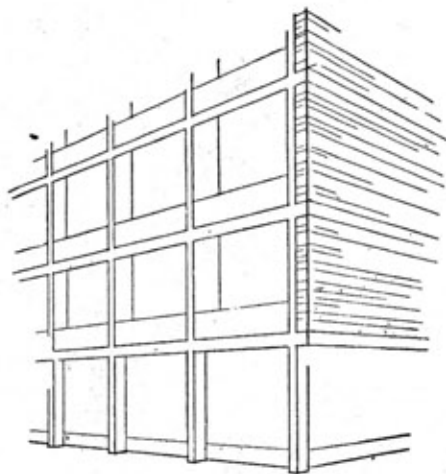
ФОТО 4. Технический центр фирмы Дженерал Моторс в Детройте, арх. Э. Сааринен



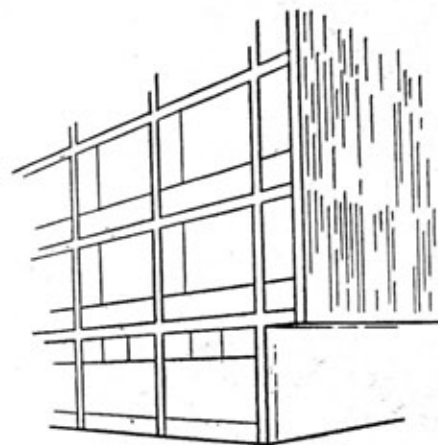
1



3



2



4

Рис. 31. Решение угла при наличии глухой торцевой

стены

1. Кирпичная стена, выложенная рядом с каркасом, не несет никакой нагрузки, кроме нагрузки от собственного веса
2. В многоэтажных сооружениях кирпичная стена в пределах каждого этажа опирается на перекрытие на уровне каждого этажа

3. При заполнении каркаса по торцевой стене угловая колонна будет казаться толстой
4. Тонкая бетонная стена на небольшом выступе консоли не несет никакой вертикальной нагрузки, хотя и воспринимает давление ветра

На многих примерах таких фахверковых каркасных стен доказано, что эта конструкция технически выполнена правильно и судить, конечно, о ней следует не только по тому, как архитектурно решен угол.

В приводимых примерах (рис. 31.1—31.3) стена выполнена из кирпичной кладки или из другого материала, который достаточно четко отличается от материала каркаса. Бетонную стену, особенно если она выполняется одновременно с каркасом, не применяют в рассмотренных выше решениях. При желании применить бетонную стену необходимо искать другие пути для выявления конструктивного и архитектурного различия между каркасом и стеной. Одним из таких путей, например, может быть отделение стены от каркаса и возведение ее на краю консоли (рис. 31.4). Учитывая большой вес бетонной стены, вынос консоли следует сделать небольшим. Только в этом случае форма консоли, с точки зрения статики, становится убедительной.

Благодаря отделению каркаса от стены последняя освобождается от вертикальной нагрузки. Тем не менее стена сохраняет свои функции и придает конструкции жесткость против воздействия горизонтальной ветровой нагрузки. Более подробное рассмотрение этого вопроса выходит за пределы настоящей главы, где речь идет только о каркасных решениях и о вертикальной нагрузке, определяющей тектонику каркасного здания. Тот факт, что при рассмотрении работы каркаса здания можно ограничиться учетом только вертикальных нагрузок, объясняется, как было пояснено в начале главы, влиянием массивных поперечных стен, придающих конструкции жесткость. Они в достаточном количестве имеются почти в каждом каркасном здании. Благодаря этому можно считать, что каркас воспринимает только вертикальную нагрузку.

В приведенных примерах указывается на основные свойства угла каркасного здания при наличии глухой торцевой стены. Без сомнения, можно привести и другие примеры решения угла при сопряжении каркаса и глухой стены торца здания. Однако во всех случаях стена и каркас должны четко отделяться друг от друга. Они могут сопрягаться друг с другом на углу здания. Но в конструктивном и архитектурном отношении они должны сохранять присущее им своеобразие. В противном случае получаются странные и надуманные формы, примеры которых показаны на рис. 32. Для этих форм не находится никакого объяснения ни с точки зрения решения внутреннего пространства здания, ни с точки зрения конструкции каркаса и стены. Сомнительные эстетические достоинства их служат лишь данью моде.

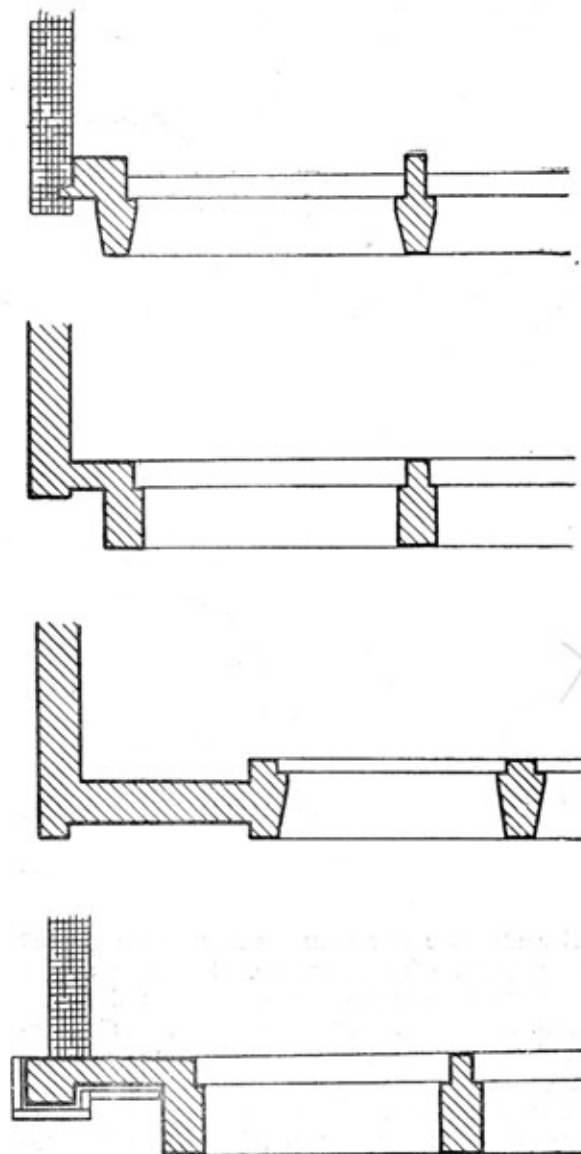


Рис. 32. Тектонически неправильные решения углового сопряжения каркаса и торцевой стены

Завершение каркаса у крыши

Решения угла и нижнего пояса каркасного здания в большой степени определяются требованиями статики. Для этих частей каркаса нагрузка является основным фактором, определяющим размеры конструктивных элементов и их форму. Под крышей нагрузка на каркас относительно невелика, и она незначительно влияет на формообразование элементов.

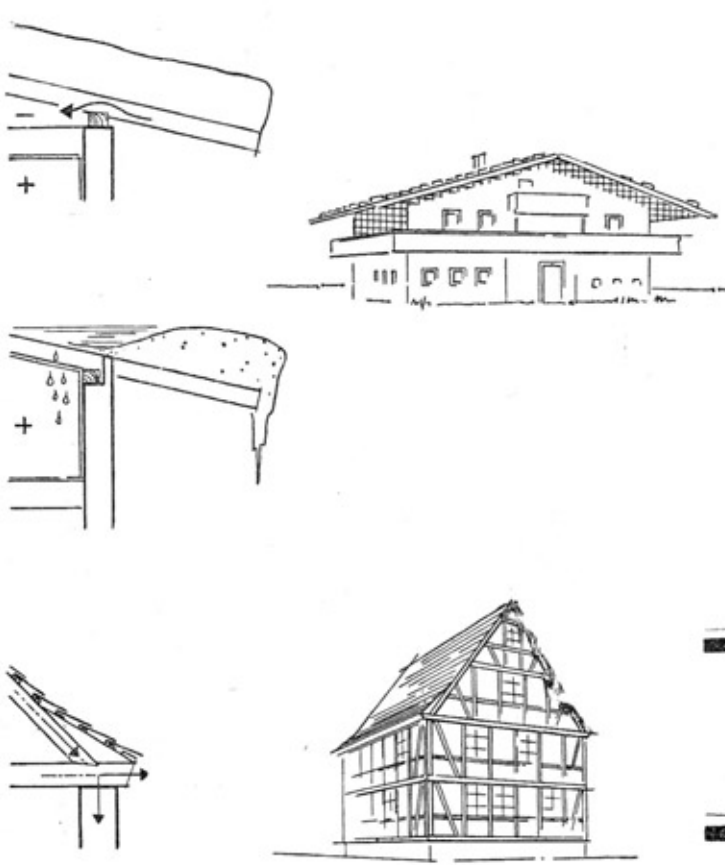


Рис. 33. Конструкции карнизов в старых зданиях имели формы, соответствующие определенным конструктивным и функциональным требованиям

1. Распространенная в альпийских зданиях форма крыши является прототипом плоской кровли со сквозной вентиляцией. Выступающая часть кровли одновременно защищает от атмосферных осадков и разгружает конструкцию кровельного покрытия. При отапливаемом чердачном помещении нависающая часть кровли может явиться причиной порчи конструкции здания.
2. Форма карниза крутой крыши стропильной конструкции определяется направлением внешних нагрузок и конструктивными свойствами дерева.

В зданиях с массивными стенами и крутой крышей дело обстоит иначе. В точках опоры стропильной конструкции действуют большие усилия, которые передаются от тяжелой черепичной кровли на капитальные стены здания. Основные габариты крыши определяются статическими усилиями. Но на ее форму влияют также функции защиты от непогоды. Первоначальная архитектурная форма какой-либо части здания в первую очередь зависит от конструкции и назначения данной части. Более сложные формы карниза городских зданий почти без исключения являются дальнейшим развитием первоначальной формы свеса крыши крестьянского дома.

Как бы различны ни были архитектурные формы на высших стадиях развития, в начале они всегда представляли рациональную форму, определяемую конструкцией и функциональным назначением сооружения.

Альпийская пологая форма крыши является прототипом современной плоской крыши, которая благодаря сквозному проветриванию лучше всего отвечает задачам строительной физики (рис. 33.1).

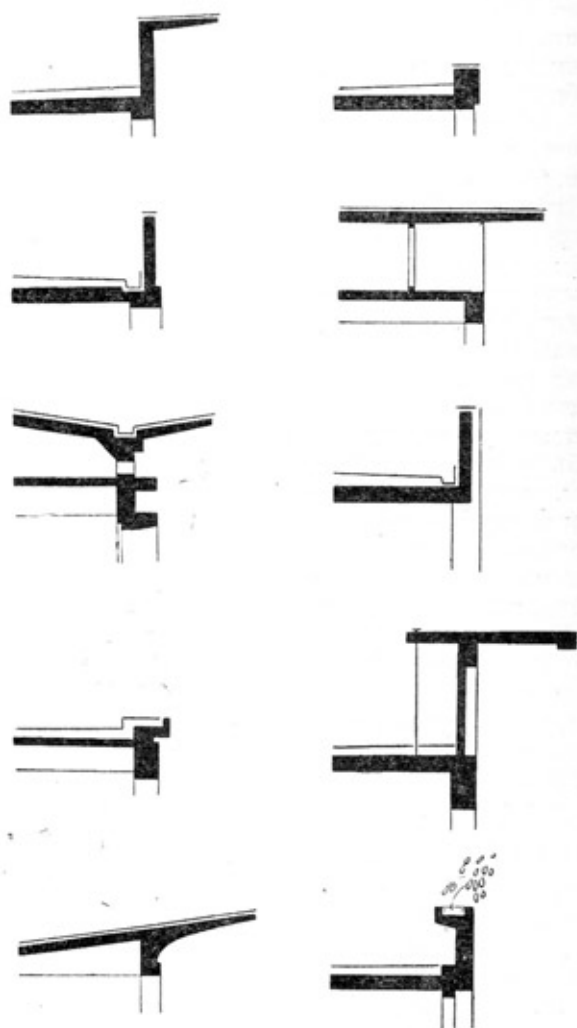


Рис. 34. В настоящее время применяется много различных форм карнизов, которые тектонически не увязаны с конструктивной схемой здания

При пологом уклоне крыши и вентиляции ее внутреннего пространства снег остается на крыше в течение зимы. При более крутом уклоне снег скорее соскальзывает с крыши, а если снизу чердачное помещение отапливается, то снег тает и около свеса вода задерживается и затекает внутрь. Большой свес кровли также является конструктивной формой, обусловленной целевым назначением. Он защищает здание от непогоды и значительно разгружает конструкцию крыши, которая должна выдержать нагрузку больших снежных масс. В целом получается вполне зрелое архитектурное решение как в конструктивном отношении, так и в отношении формы.

Совершенно иная конструктивная схема заложена в конструкции среднегерманской крыши, состоящей из наслонных стропил; ей соответствует столь же логичная форма (рис. 33.2). Круто наклоненные стропила опираются друг на друга и вызывают усилия среза, характерные для шпренгельной системы. Нижние части стропил должны быть крепко заделаны в концы балок. Длина концевой части балки определяется горизонтальным усилием и сопротивлением материала срезу. Концевая часть балки является такой же неотъемлемой частью конструкции, как и типичная для данного типа карниза кобылка, выравнивающая скат крыши над концом балки. Другие функциональные требования, климатические условия и конструктивные методы вызывают к жизни другую тектоническую форму, которая является не менее цельной и законченной.

Современная плоская кровля не имеет таких ясно обусловленных форм, определяемых функциональными и конструктивными причинами. Восприятие небольших нагрузок крыши не является проблемой при железобетонном каркасе, поэтому узел карниза может быть выполнен любой формы.

Схематическое изображение карнизов, применяемых в настоящее время, показывает многообразие их форм. Однако среди них едва ли можно найти формы (рис. 34), обусловленные требованиями тектоники. Если учесть все требования защиты от влияния атмосферных усло-

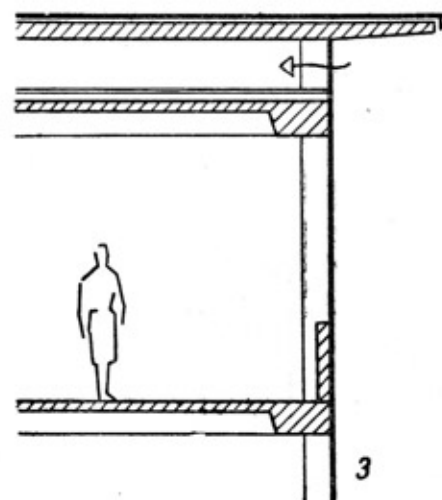
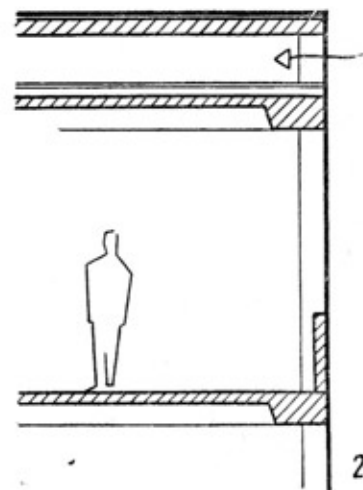
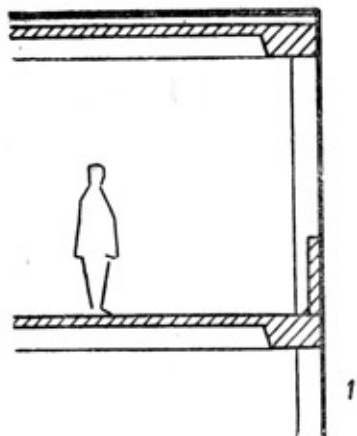


Рис. 35. Конструкция и функциональное назначение плоской кровли каркасной конструкции

1. Невентилируемая совмещенная кровля. Конструкция и теплоизоляция образуются в плоскости наружных стен сооружения
2. Кровля, вентилируемая в поперечном направлении. Несущая конструкция, слой теплоизоляции и кровельная плита, как и в первом случае, образуются заподлицо с наружной стенкой
3. Нет никакой необходимости в устройстве свеса кровли. У высоких зданий свес кровли является лишь иллюзорной защитой стен

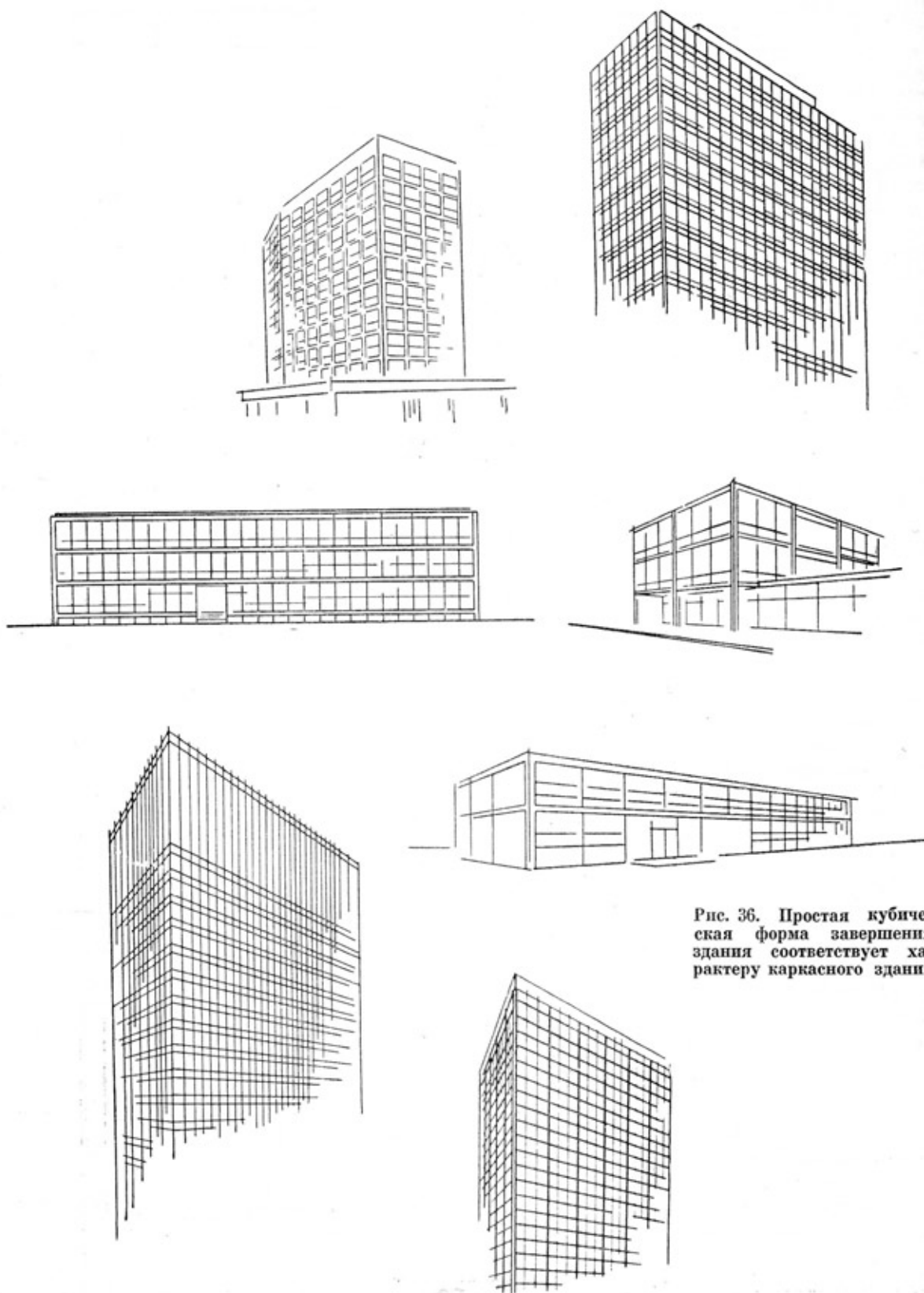


Рис. 36. Простая кубическая форма завершения здания соответствует характеру каркасного здания

вий зимой и летом, а также мероприятия против образования конденсата и трещин в тех частях конструкции, которые находятся вне отапливаемой среды, и, наконец, если задаться целью придать карнизу минимальные необходимые размеры, то наиболее простой и рациональной формой завершения здания остается кубическая, показанная на рис. 35.1 и 35.2. Свес кровли, показанный на рис. 35.3, не обязателен. Выступающие карнизы у высоких зданий фактически не защищают фасады от дождя. Кубическая форма зданий становится все более распространенной. Среди особенно значительных архитектурных сооружений последнего десятилетия очень мало примеров зданий с выступающим карнизом (рис. 36).

В качестве элементов архитектурного оформления верха здания часто используются проемы для сквозного проветривания чердачного пространства, открытые террасы на крыше или технические надстройки, как, например, помещения для установок по кондиционированию воздуха, машинные отделения лифтов и т. п. В большинстве случаев архитектура этих элементов функционально оправдана, но часто встречаются ложные «мотивы» (рис. 37), вызванные одними только композиционными соображениями и лишенные связи с функциональным содержанием и тектоникой здания.

Излюбленной темой в архитектуре является монументальный венчающий этаж, создаваемый путем увеличения высоты чердачного этажа или слияния двух последних этажей в один. Приемы установки декоративных наружных подоконных решеток, вытянутые по вертикали окна, отличающиеся своими пропорциями от других окон, устройство аттика, прорезанного окошками, — все это как и другие известные варианты псевдоклассических форм, стали чаще встречаться в современной архитектуре каркасных зданий. Это свидетельствует о том, что и в настоящее время популярны «модернизированные» классические формы, которые, конечно, далеки от того, что мы сегодня называем тектоническими формами.

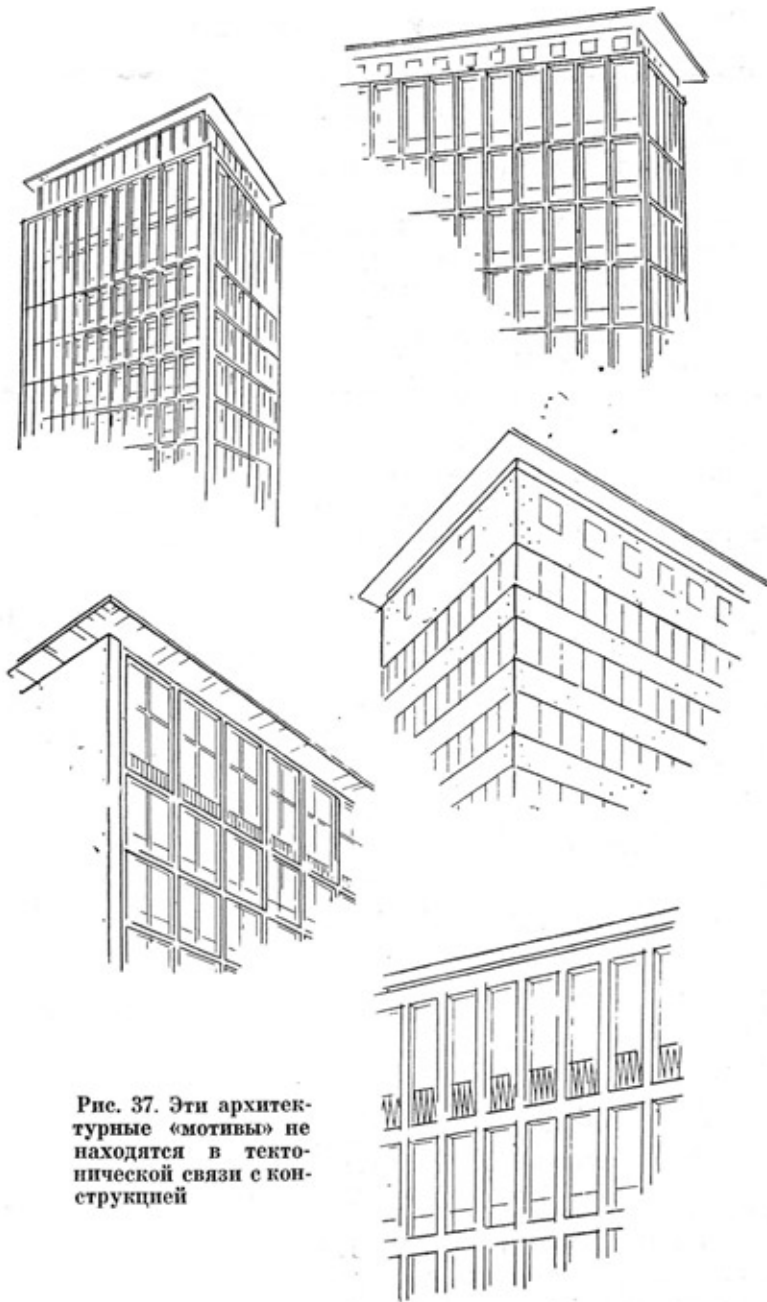


Рис. 37. Эти архитектурные «мотивы» не находятся в тектонической связи с конструкцией

Найти правильное в тектоническом отношении решение венчающей части каркасного здания значительно труднее, чем решить архитектуру угла или нижней части здания. Поэтому очень важно выявить, что, собственно, функционально и конструктивно определяет верхнюю часть каркасного здания. Искусство архитектора состоит в том, чтобы наиболее лаконичными средствами достигнуть тектонически правильного решения.

Фасад первого этажа с отступом

Стремление четко отделить верхние этажи многоэтажного здания от нижнего привело к решениям, когда фасад первого этажа отступает по отношению к остальной плоскости фасада. Это достигается смещением несущих колонн здания по отношению друг к другу. Возникает новая конструктивная схема, которая рассматривается ниже (см. главу 2). В такой схеме вертикальная ось колонн не доходит до земли, а действующие усилия передаются на специальную конструкцию V-образной формы. На рис. 82 (глава 2) показана зависимость между величиной допускаемого смещения и величиной нагрузки; чем выше здание и чем больше сосредоточена нагрузка в колоннах, тем менее целесообразно сильное смещение колонн над первым этажом, в котором более всего сосредоточены усилия. Архитектуре каркасного здания с четким горизонтальным и вертикальным членением фасада наилучшим образом соответствует решение, при котором несущие колонны не смещены, а установлены по одной вертикальной оси и упираются прямо в фундамент. Фасад первого этажа с отступом может быть решен двумя способами без смещения несущих колонн.

При использовании любой из консольных конструкций, описанных в предыдущих разделах, получается выступ фасада верхних этажей по отношению к фасаду первого этажа. На рис. 38.1 показан фасад без смещения несущих колонн. Единственным недостатком данного решения, если вообще считать это недостатком, является внутреннее расположение колонн. Иногда оно может оказаться неудобным в вышерасположенных этажах.

В тех случаях, когда междуэтажные перекрытия не выступают в виде консоли, эффект смещения создается благодаря тому, что наружная плоскость фасада верхних этажей совпадает с наружной стороной колонн, а наружная плоскость фасада нижнего этажа совпадает с внутренней стороной колонн, т. е. размер смещения плоскостей фасадов точно соответствует глубине колонн. При колоннах с небольшим сечением размеры выступа фасада относительно невелики. В высоких зданиях, в которых нагрузка и соответственно сечение колонн боль-

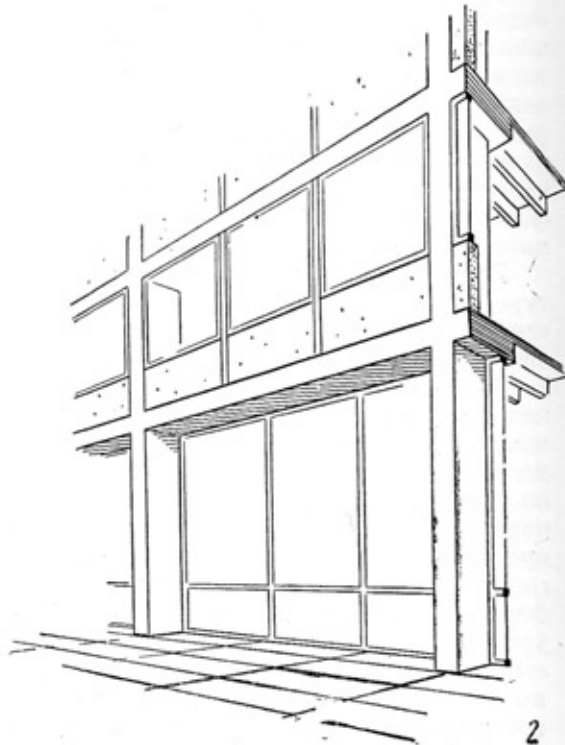
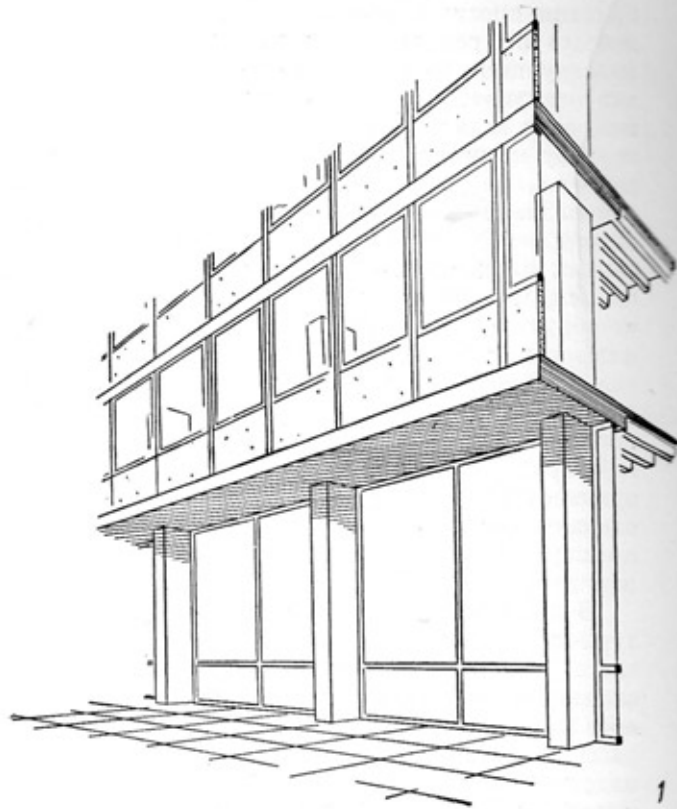


Рис. 38. Отступающий внутрь фасад первого этажа

1. Впечатление отступа фасада первого этажа создается вследствие консольного нависания вышележащих этажей
2. Заглубление фасада первого этажа достигнуто благодаря тому, что поверхность наружной стены верхних этажей расположена заподлицо с наружной стороной колонн, а ограждение первого этажа — заподлицо с их внутренней стороной

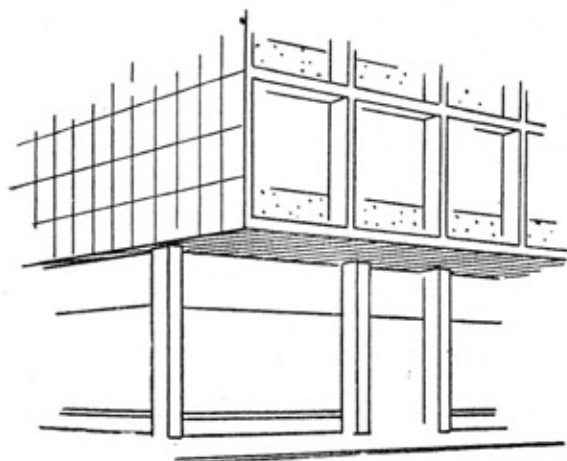
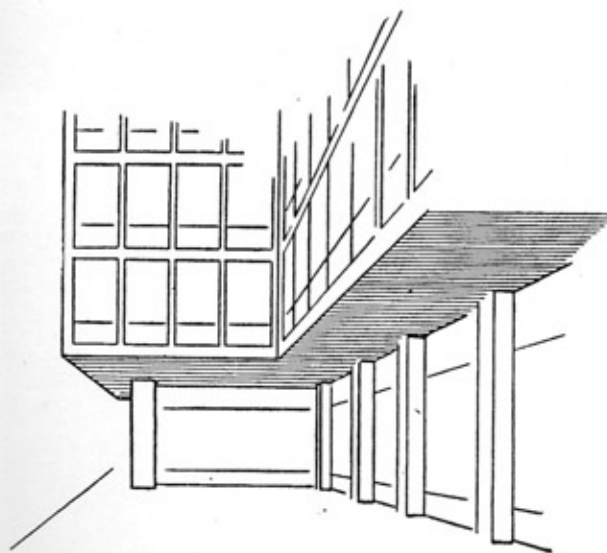
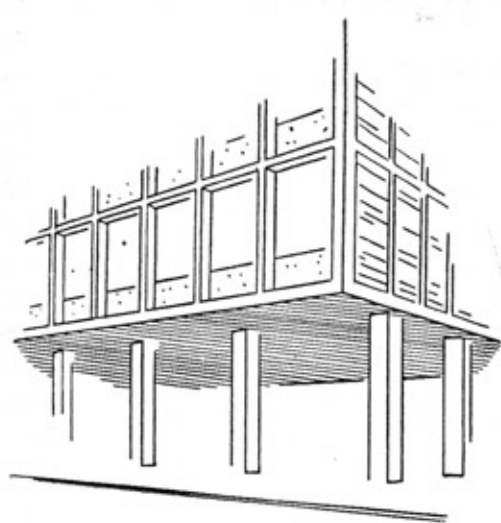
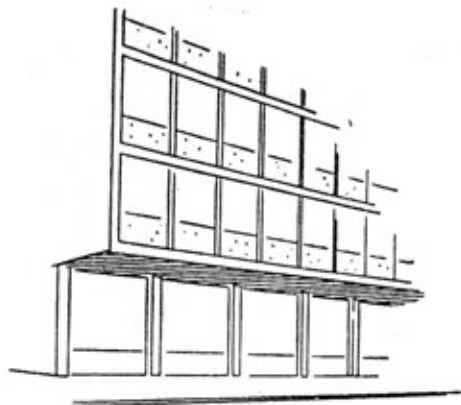


Рис. 39. Примеры зданий с произвольным отступом ограждения первого этажа без тектонической связи с конструктивным решением каркаса

шие, смещенные фасады приобретают большую выразительность и большую тектоническую ясность (рис. 38.2).

К сожалению, во многих случаях архитектурные решения зданий с западающим фасадом первого этажа не отличаются нужной ясностью и часто являются результатом насилия над конструкцией в угоду проходящей моде (рис. 39).

Каркасная конструкция и стена из навесных панелей

Как говорит само название, стена из навесных панелей висит на несущей конструкции здания. Такое решение является результатом отделения несущего остова от ограждающей стены. Сама стена из навесных панелей не выполняет никакой несущей функции. Она только

Рис. 40. Примеры фасадов из навесных стеновых панелей

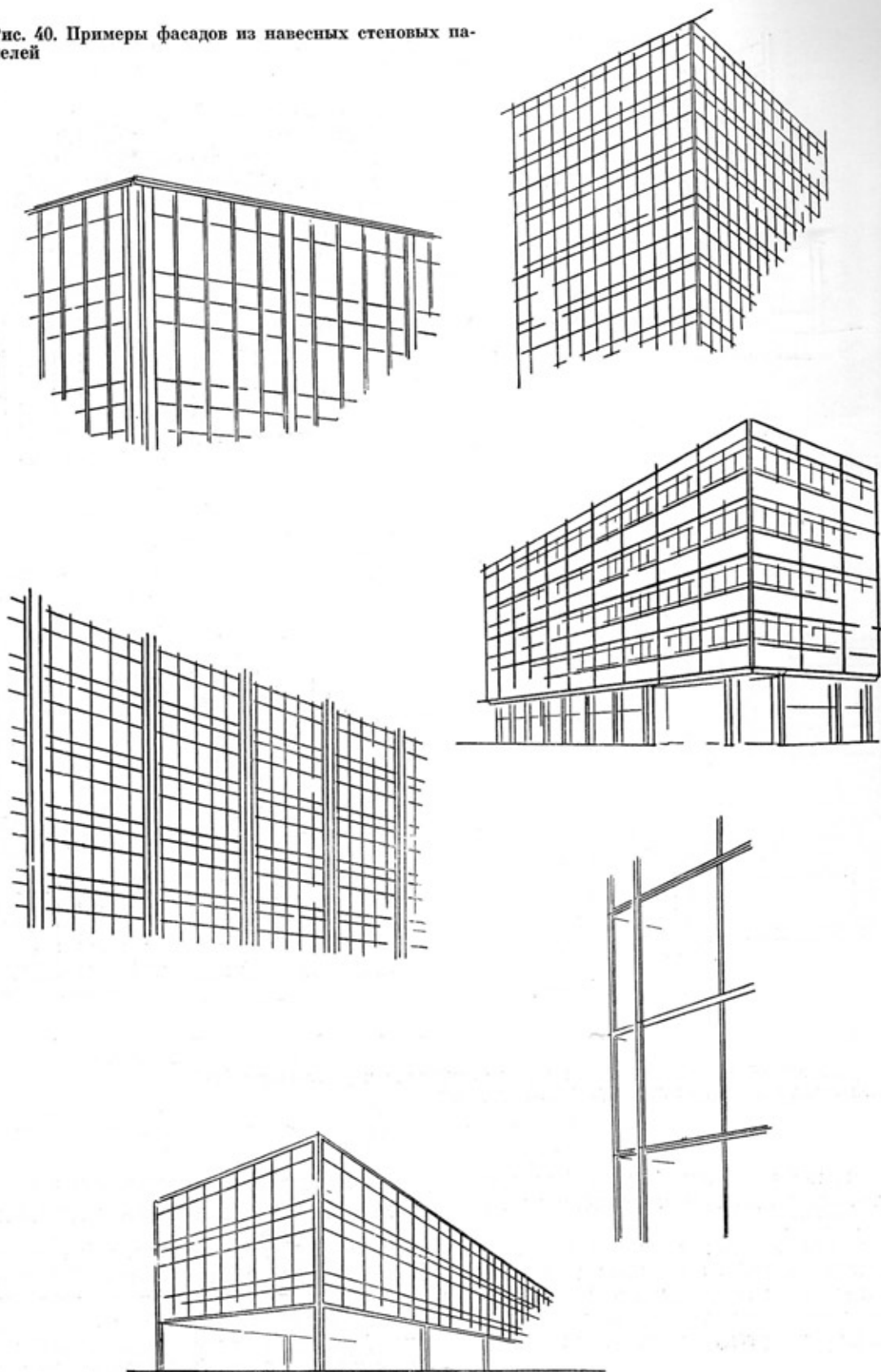




Фото 5. Конторское здание в Лондоне. Архитекторы Коллинс, Мельвин, Уорд и др.

отделяет внутреннее пространство здания от внешней среды. Для навесных стен стремятся применять легкие панели, которые должны удовлетворять только требованиям строительной физики. Для того чтобы навесная стена отвечала всем предъявляемым к ней требованиям, она должна пропускать достаточное количество дневного света через окна, в которых иногда должно быть предусмотрено устройство для вентиляции, обеспечивать необходимую защиту от холода, жары и влаги; кроме того, стена должна быть легкой, быстро монтироваться и отличаться атмосфероустойчивостью (рис. 40 и фото 5).

Стена из навесных панелей передает свой вес на каждый этаж в отдельности, а воспринимаемое ею давление ветра передается на соответствующие точки крепления. Для крепления навесных панелей используют преимущественно края междуэтажных перекрытий. Тем самым шаг горизонтальной разрезки стены определяется высотой этажа. Промежуточное горизонтальное членение фасада зависит от толщины перекрытия, высоты окон и подоконных стенок. При этом неважно, как в деталях выглядит конструкция стены из навесных панелей: состоит ли она из витражей или плит, монтируемых на самой постройке, из крупноразмерных штампованных листов металла, или из отдельных деталей, которые собирают в укрупненные элементы и только после этого устанавливают на место.

Ритм членения фасада по вертикали, как правило, определяется высотой этажа. Тем самым устанавливается определенная связь между ритмом членения фасада и структурой каркаса (рис. 41). Эта связь может быть использована в архитектурно-художественном замысле, но пренебрежение ею всегда будет в ущерб тектонике.

Вертикальная разрезка стены и членение навесных панелей ничем не связаны. Следует

только стремиться к тому, чтобы каждый элемент не был слишком громоздким и тяжелым и чтобы его габариты были увязаны с шагом вертикальных опор каркаса. Хотя и существуют примеры построенных зданий, у которых вертикальная разрезка стены из навесных панелей произвольно отклоняется от шага опор, но это весьма нежелательное отступление от принципов тектонической связи между фасадом стены и каркасом.

Применяемые размеры вертикальной разрезки фасада колеблются в пределах между 1,25 и 2 м. Большие размеры применяют в исключительных случаях. По внешнему виду такой фасад напоминает фасад с узким шагом колонн, хотя стена из навесных панелей представляет собой в конструктивном отношении нечто другое. Если фасад состоит из элементов навесных панелей одинаковой величины, за которыми скрывается структура каркаса, то его внешний облик получается весьма однообразным (рис. 42.1), не видно связи с каркасом. Внутри помещений между колоннами и остекленным ограждением образуются мертвые углы. Колонны загораживают свет и производят впечатление чего-то случайного. Нет ощущения композиционного замысла. Для композиции фасада из навесных панелей существуют те же правила, что и для композиции каркасных фасадов.

Громоздкая угловая колонна либо еще больше бросается в глаза, чем при видимом каркасе (рис. 42.2), либо полностью закрывается стеклом (рис. 42.3). В первом случае она является единственной несущей опорой, видимой на фасаде, и поэтому находится в резком контрасте с изящным переплетом остекленных навесных панелей. Во втором случае внутри помещения между стеклом и угловой опорой создаются те же мертвые углы.

На рис. 42.4 угловая колонна менее заметна, так как она достаточно далеко отодвинута от

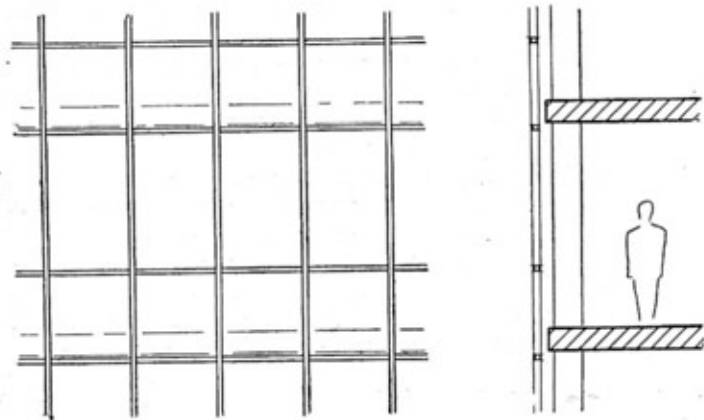


Рис. 41. Горизонтальное членение фасада из навесных панелей увязано с высотой этажей



Фото 6. Здание фирмы «Ингленд Стил», Чикаго. Архитекторы Скидмор, Оуингс и Меррил

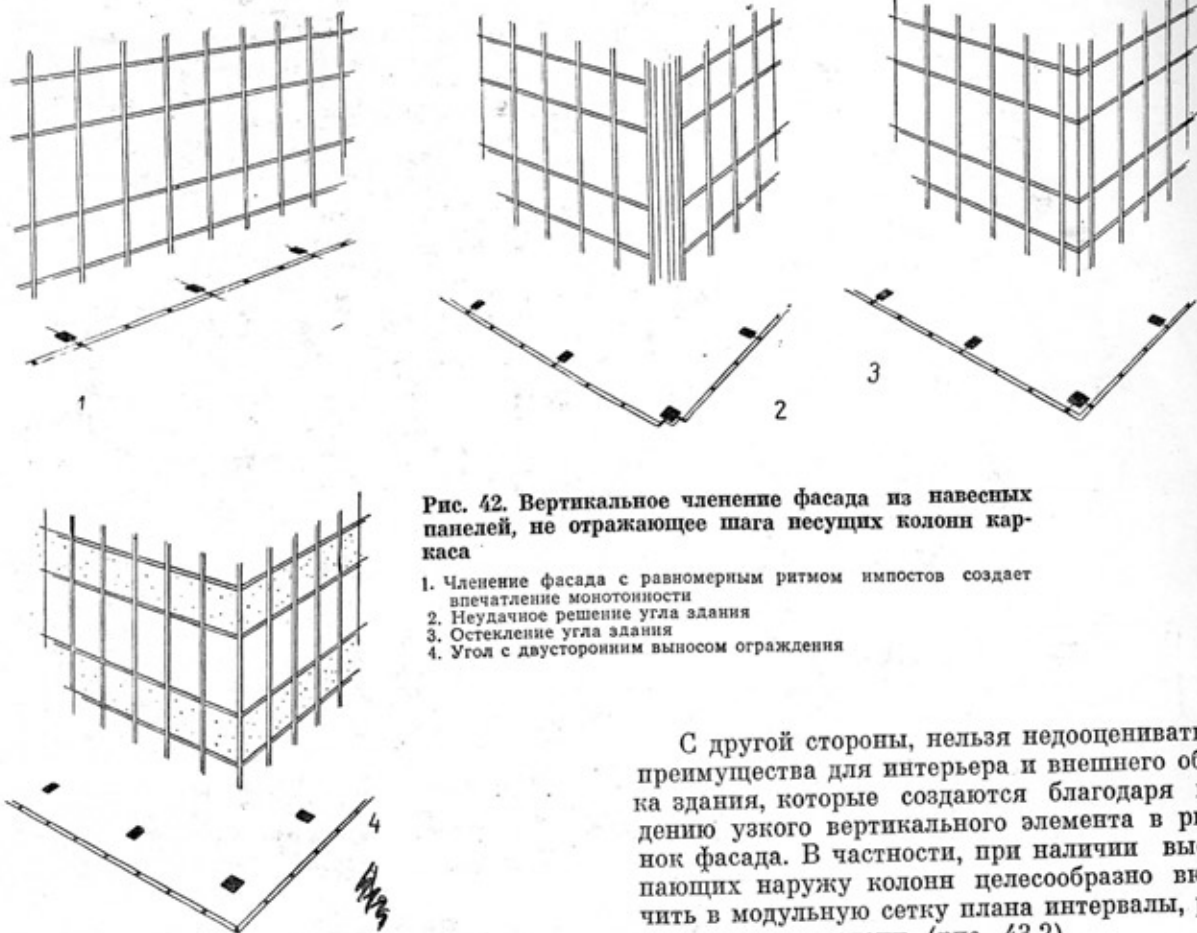


Рис. 42. Вертикальное членение фасада из навесных панелей, не отражающее шага несущих колонн каркаса

1. Членение фасада с равномерным ритмом импостов создает впечатление монотонности
2. Неудачное решение угла здания
3. Остекление угла здания
4. Угол с двусторонним выносом ограждения

С другой стороны, нельзя недооценивать те преимущества для интерьера и внешнего облика здания, которые создаются благодаря введению узкого вертикального элемента в рисунок фасада. В частности, при наличии выступающих наружу колонн целесообразно включить в модульную сетку плана интервалы, равные ширине колонн (рис. 43.2).

При равномерной модульной сетке в плане (без узкого интервала у колонны) и при колоннах, расположенных снаружи, общая ширина навесных панелей не совпадает с расстоянием в свету между колоннами. Остекленные части стены, находящиеся за колоннами, затеняются ими и тем самым сводится на нет смысл остекления. Во избежание этого и для соблюдения равномерности модульной сетки в плане в ряде американских зданий, заслуживающих внимания с архитектурной и конструктивной точек зрения, стена из навесных остекленных панелей, расположенных между опорами, разделяется неравномерно (рис. 43.3). Элементы стены

наружного ограждения из навесных панелей и не загораживает свет. При данном решении фасада теряется связь между внутренней конструкцией и внешним обликом здания.

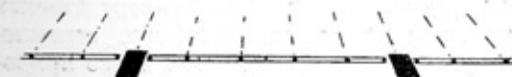
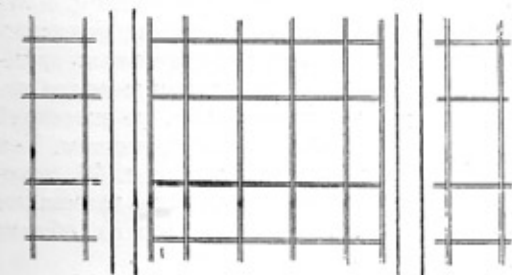
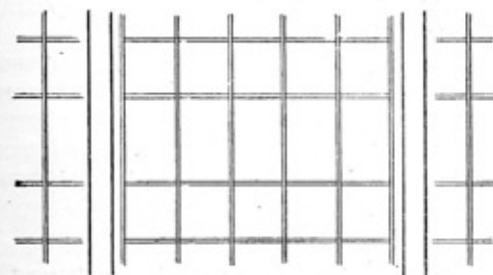
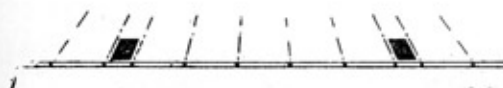
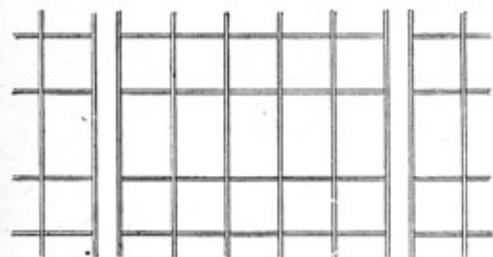
Имеются, однако, решения, при которых связь между стеной из навесных панелей и каркасом ясно выражена на фасаде. На рис. 43.1 показан такой пример. Ровная плоскость фасада расчленена специальными элементами, расположенными непосредственно перед колоннами, причем ширина этих элементов точно соответствует ширине колонны. Мертвых углов между ограждением и колоннами нет. Структура каркаса читается на фасаде. Вертикальная разрезка фасада совпадает с шагом несущего каркаса. Но при этом решении возникает одно неудобство: равномерность модульной сетки, лежащей в основе внутренней планировки, неизбежно нарушается в местах колонн, где модуль равен ширине колонны. Это не позволяет пользоваться одинаковыми по размеру стеновыми элементами для монтажа внутренних поперечных перегородок.

Рис. 43. Членение фасада из навесных панелей, отражающее шаг колонн каркаса

1. Плоскость ограждения заподлицо с наружной стороной колонн
2. Равномерное членение элементов фасада, расположенных между выступающими колоннами
3. Неравномерное членение элементов фасада между выступающими колоннами

Рис. 44. Фасад из навесных плит

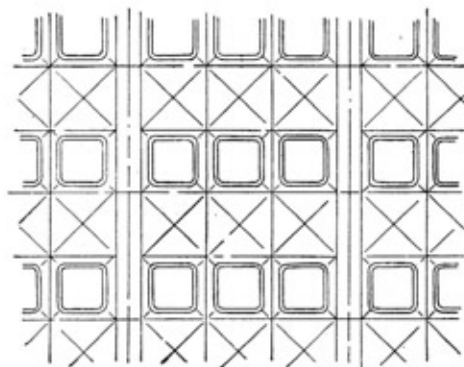
1. Монотонное равномерное членение стеновых плит
2. На фасаде административного здания Алькоа в Питтсбурге отражена внутренняя конструктивная схема здания. Решение окна с закругленными углами может быть оправдано в стенах из навесных тонких плит
3. Неудачное решение угла
4. В структуре фасада выявлена каркасная схема конструкции и использованы для облицовки пресованные пространственные жесткие плиты



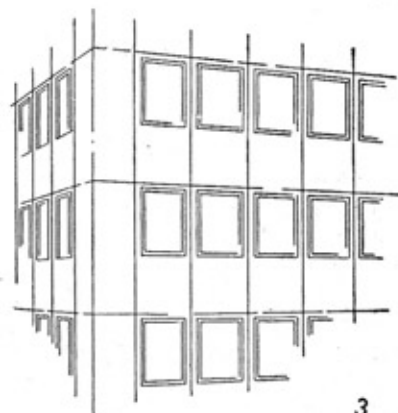
3



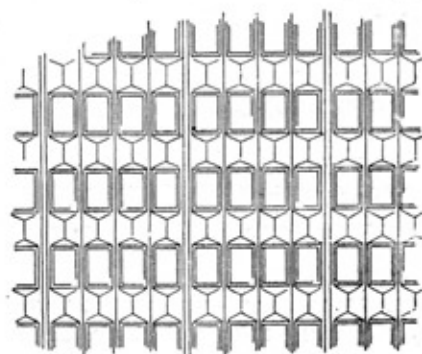
1



2



3



4

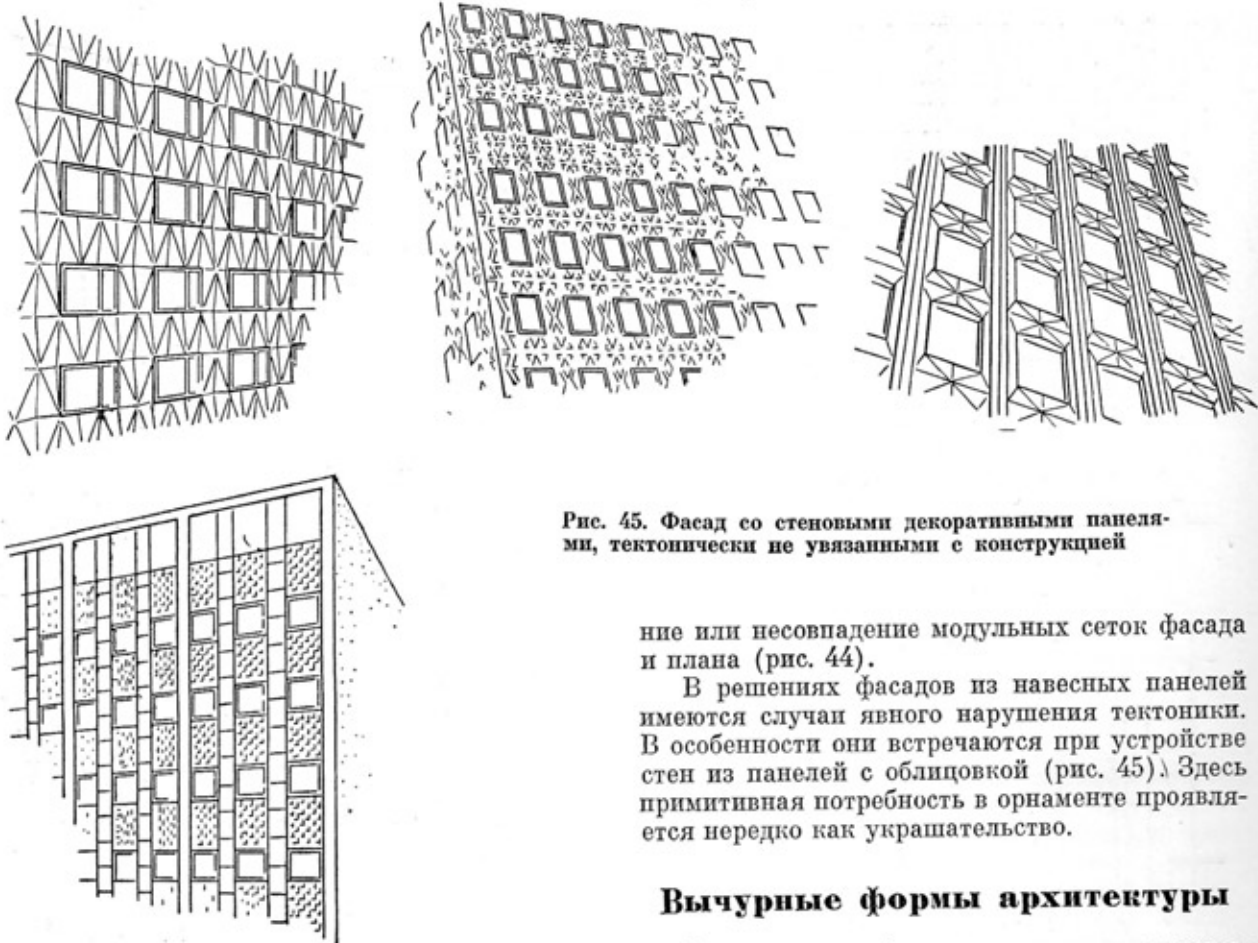


Рис. 45. Фасад со стеновыми декоративными панелями, тектонически не увязанными с конструкцией

ние или несовпадение модульных сеток фасада и плана (рис. 44).

В решениях фасадов из навесных панелей имеются случаи явного нарушения тектоники. В особенности они встречаются при устройстве стен из панелей с облицовкой (рис. 45). Здесь примитивная потребность в орнаменте проявляется нередко как украшательство.

Вычурные формы архитектуры

В этом разделе будут рассмотрены некоторые своеобразные разновидности архитектурных форм, в которых нарушены правила тектоники.

Они настолько часто встречаются, что стали типичными. Их возникновение объясняется неправильным пониманием законов тектоники.

Украшательство

«Обогащение» фасада каркасного здания путем дробного его членения, применения облицовки из дорогостоящих материалов, использования световых эффектов, декоративных решеток и профилированного листового металла является своего рода «косметикой», не имеющей ничего общего с тектоническим решением. Тем не менее фасады, показанные на рис. 46, находят широкое применение, хотя они не выражают взаимосвязи конструкции и внешнего облика здания.

Неуместное применение конструктивных форм, примитивное украшательство, стремление к монументальности в дурном вкусе приводят к перегрузке плоскости фасада.

рядом с колонной имеют ширину, которая меньше остальных элементов на половину ширины колонны. Создается нерегулярный ритм, который в своей основе имеет модульное членение внутренней структуры здания и поэтому не должен рассматриваться как произвольный или беспорядочный ритм. Например, членение фасадов административного здания фирмы «Ингленд Стил» в Чикаго (фото 6) осуществлено по этому принципу. Отсюда следует, что стена из навесных панелей может выражать определенную внутреннюю структуру.

До сих пор речь шла только о стенах со сплошным остеклением. Описание стен из навесных панелей будет неполным, если не упомянуть о стенах-экранах из глухих облицованных панелей. При возведении таких стен, как и стен со сплошным остеклением, возникают аналогичные проблемы тектоники: степень дробности элементов, маскировка внутренней структуры здания или, наоборот, ее выявление, непропорциональность элементов угла, совпаде-

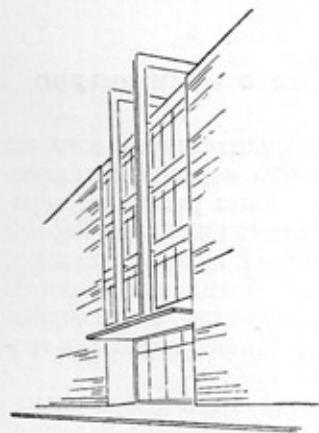
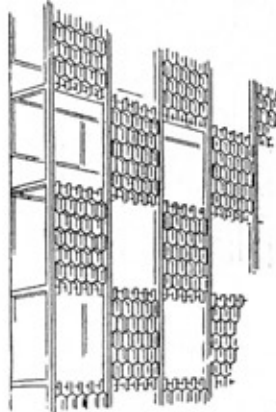
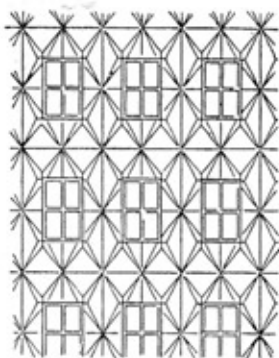
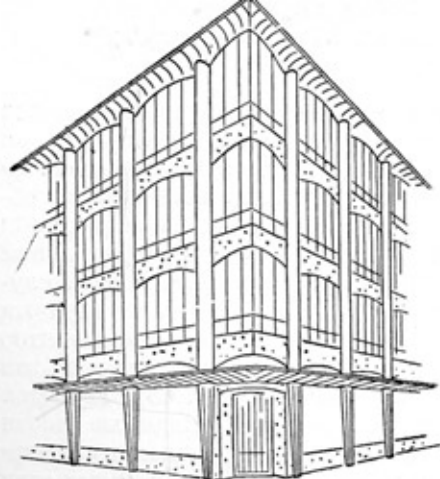


Рис. 46. Формы «украшения» фасада, не имеющие ничего общего с тектоникой здания

„Глухие“ углы

Трудности архитектурного решения угла каркасного здания часто приводят к тому, что проектировщик стремится скрыть угол каркаса за глухой стеной. В результате этого угол становится массивным (рис. 47). При каменной кладке применение такого архитектурного приема вполне обосновано (см. главу 2, рис. 54.2). Сводчатые оконные перемычки создают горизонтальные усилия сдвига, которые в углах сооружения могут быть восприняты лишь тяжелой каменной стеной, а угловая перевязка кладки имеет решающее значение для устойчивости каменного сооружения. Совсем

иное дело у каркасного здания. В нем нет горизонтальных усилий. На угловые колонны передаются только вертикальные усилия, поэтому нет никакого основания делать угол массивным. Хотя преднамеренно введенные глухие плоскости стен дают возможность на углах здания скрыть каркас и тем самым избежать трудности его архитектурного решения, все же общая композиция теряет свою тектоническую цельность. Такая «композиция» построена на ложном «контрасте» между решетчатой плоскостью остекления и произвольно созданной глухой поверхностью фасада. Этот прием заимствован из архитектуры зданий с каменными стенами и поэтому здесь неприменим.

Сетка каркаса, поставленная в „паспарту“

В архитектуре каркасных зданий наиболее сложные проблемы тектоники возникают при решении углов. Удобнее не доводить каркас до угла, чем трудиться над тектоническим его решением. Аналогичные вынужденные решения применяют при архитектурном оформлении верхней и нижней частей каркаса. В этих случаях каркас со всех сторон окружают глухими полосами стен, пропорции которых архитектор определяет интуитивно. Гарт метко назвал это «архитектурой в паспарту» (рис. 48). Теряется всякая связь с конструкцией. Видимые части каркаса, как символы конструктивного содержания, обрамлены глухими поверхностями стен произвольных размеров. Фасад решен как графика, вставленная в паспарту. Нередко такие обрамления выполнены в виде штукатурных лепных наличников или выступающих ребер, облицованных искусственным камнем. Все эти приемы оформления фасада не являются тектоничными.

„Ящичные“ формы в архитектуре

«Ящичные формы в архитектуре» того же происхождения, что и сетка каркаса, вставленная в «паспарту». При данных решениях теряется ясность завершающих элементов. Фасады здания обрамлены ложными конструктивными элементами. «Ящичное» обрамление является чисто оформительским элементом, освобождающим архитектора от детальной разработки граней здания.

«Ящичная архитектура» является результатом чисто формалистических приемов в композиции, которые не поддаются анализу с точки зрения тектоники (рис. 49). Используя в архитектуре зданий формы ящика и рамки, авторы грубо нарушают требования масштабности. Ящик и рамка являются формами, типичными для мебели и бытовых предметов, но не для архитектуры. Здания, показанные на рис. 49, с виду напоминают комоды и телевизоры. Ящичная архитектура — это результат неосмысленного заимствования чуждых конструктивных форм. Одинаковые размеры обрамления, вне зависимости от того, обрамляют ли они верхнюю, нижнюю или боковую часть здания, являются результатом бездумной нивелировки конструктивных элементов, пренебрежения их конструктивным содержанием. Использование внешнего сходства различных по существу форм не может привести к созданию истинно художественных произведений. Фасады здания — это

Рис. 47. Глухой «мясистый» угол здания является не-
тектоничным, вынужденным решением

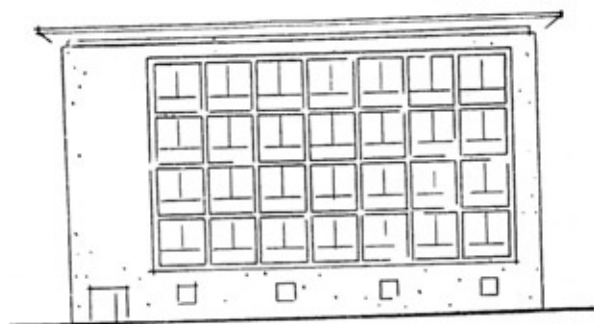
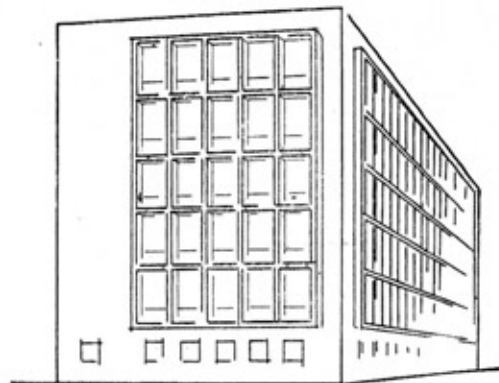
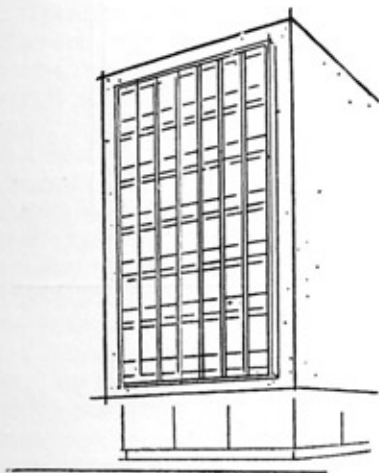


Рис. 48. Сетка окон, вставленная в рамку — «паспарту». Каркасная структура стены не является несущей конструкцией и как бы «плавает» на плоскости стены

не графика, которую можно поставить в рамку. Они воспринимаются не только как плоскость. Недопустимо придавать элементам угла здания и карниза одинаковые формы и размеры. Такие приемы нарушают всякую масштабность и тектонику здания.

В связи с этим уместно сделать небольшой экскурс в область масштабов. Часто говорят о «правильном масштабе» и приводят его в качестве неопровержимого аргумента. Однако что собой представляет правильный масштаб? Чаще всего отвечают на этот вопрос чисто интуитивно. Только немногие знают, что «правильный масштаб», а можно сказать, и «правильные пропорции» здания или сооружения следуют законам строительной механики; в известной степени они могут быть определены и даже доказаны математически.

Рассмотрим для примера предметы мебели (рис. 50). Для верхней доски этажерки длиной 1 м толщина 2 см вполне достаточна; эта пропорция является для всех вполне убедительной. Под действием собственного веса доска практи-

чески не прогибается. Дополнительная нагрузка книгами, посудой и прочими домашними предметами, вес которых во много раз превышает собственный вес доски, вызывает едва заметную деформацию. Это можно доказать расчетами и экспериментально. Если представить себе пластину из такого же дерева, размеры которой в 100 раз больше, т. е. если она имела бы толщину 2 м и длину 100 м, то она прогибалась бы в середине приблизительно на 5 м под действием одного лишь собственного веса. Такой прогиб составляет 5% пролета. У этажерки 5% составляют 5 см, но такой прогиб не реален. Если большую пластину поставить под нагрузку, равную двойному значению ее собственного веса, то она разломится, в то время как полка этажерки выдерживает нагрузку, равную многократному значению ее собственного веса.

Возьмем другой пример. В районах, где имеется слоистый камень, крестьяне часто используют его для строительства различных сооружений. Имеются плиты толщиной 10 см и длиной 2 м и более, служащие мостиками через ка-

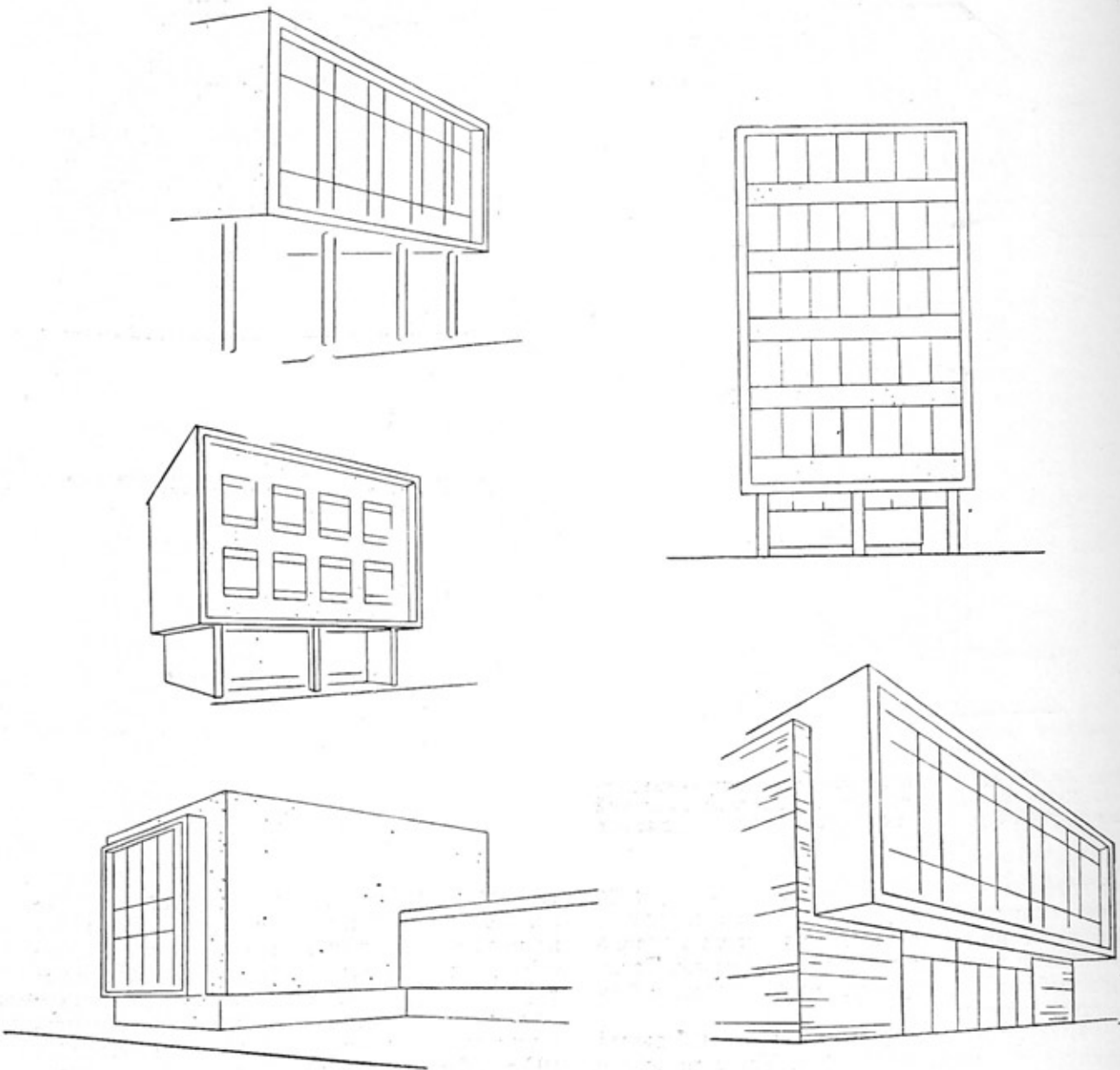


Рис. 49. «Яичные» формы архитектуры заимствованы у форм мебели. Обрамление фасадов немасштабно и нетектонично

навы и ручки. Такого рода плита отличается большой прочностью. При нагрузке, приблизительно равной собственному весу плиты, последняя подвергается напряжению, соответствующему десятой доле ее разрушающего напряжения на изгиб. Представим себе, что размеры плиты увеличены в 100 раз, т. е. она имеет толщину 10 и длину 200 м. В этом случае она будет находиться под напряжением на изгиб, вы-

званным собственным весом плиты, которое в 3 раза больше прочности на изгиб материала плиты; поэтому плита ломается.

Таким образом, правильная форма и соответственно правильные пропорции конструкций, подвергающихся изгибу, не всегда одинаковы. Они зависят от абсолютной величины конструкции, которая поддается точному определению.

Чем объяснить наблюдаемые явления?

1. Напряжение материала (напряжение на изгиб) каждой описанной ранее конструкции зависит не только от формы (отношение толщины доски к пролету), но и от абсолютной величины конструкции. Несмотря на то, что форма конструкции остается прежней, напряжение в материале увеличивается в линейной зависимости от ее абсолютной величины. Следовательно, существует предельный пролет конструкций, работающих на изгиб, который нельзя увеличивать, не изменяя формы.

2. Прогиб конструкций одинаковой формы (отношение толщины плиты к пролету), подвергающихся изгибу, зависит от квадрата их абсолютной величины. Таким образом, прогиб изменяется в зависимости от абсолютной величины в еще большей степени, чем от напряжения материала.

Какой вывод следует из этого сделать? Всякая конструкция, подвергающаяся изгибу, имеет при определенной абсолютной величине и соответствующем материале «правильную» форму. Иначе говоря, отношение конструктивной высоты к пролету, т. е. правильная форма конструкции, не постоянна. При небольшом пролете она является иной, чем при большом. При этом предполагается, что принцип экономического использования материала имеет решающее значение. Но этот принцип, как известно, служит основной предпосылкой всякого конструирования. И наоборот, определенное соотношение между конструктивной высотой и пролетом конструкции, подвергающейся изгибу, является «правильным» только при определенной абсолютной величине и определенном материале. Нельзя произвольно переносить это соотношение размеров на другие материалы. Именно так часто бывает в архитектуре при абстрагировании законов пропорций, модульного членения и «золотого сечения», которые имеют якобы всеобщую силу. Выводимые таким путем закономерности окружаются магической таинственностью и пропагандируются как некие архитектурные рецепты. С точки зрения тектоники архитектурных форм такого рода подход является, как было доказано выше, неправильным.

Там, где создаются полноценные произведения зодчества, где, следовательно, архитектурный замысел воплощается с учетом свойств материала, а не является только плодом творчества рисовальщика или графическим произведением, там сохраняют свою силу зависящие от тектоники законы пропорций и формы, которые невозможно абстрагировать. Как сказано выше, они зависят от свойств материалов, законов механики и гравитационного поля, в котором они действуют, а следовательно, они зависят также

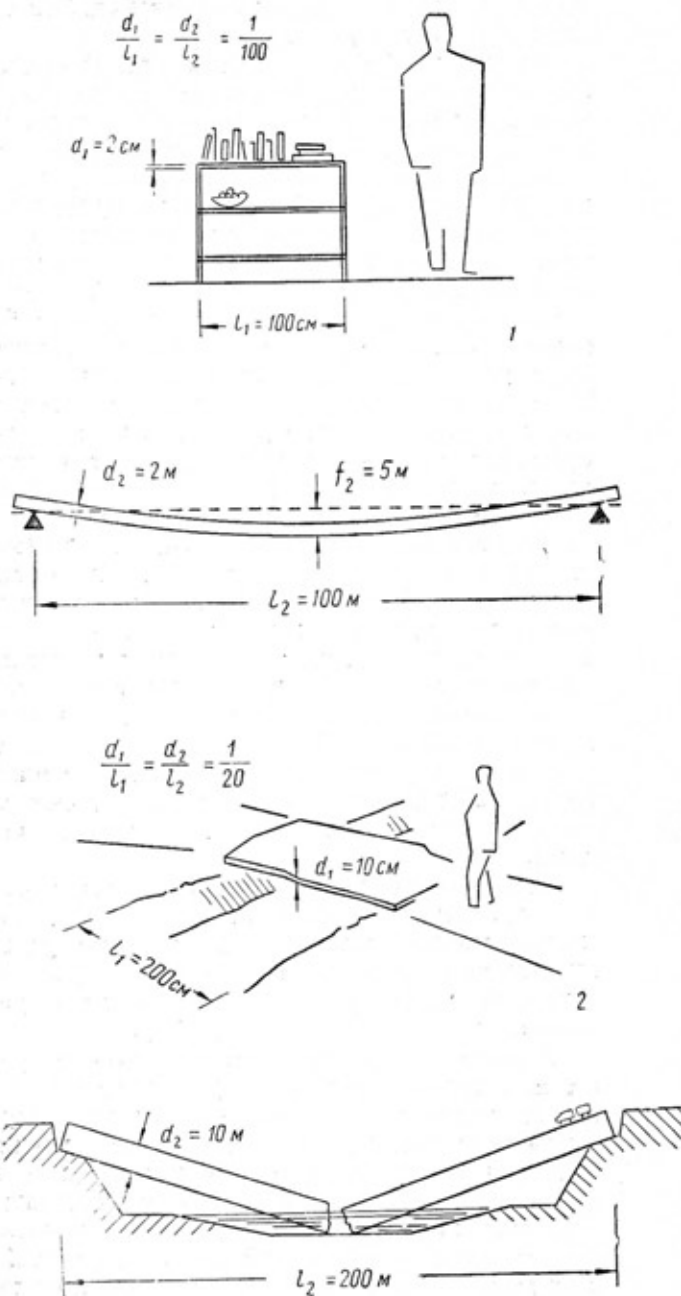


Рис. 50. Оптимальная форма конструкции в каждом отдельном случае зависит от абсолютных размеров предмета или сооружения

1. Две деревянные доски одинаковых пропорций, но абсолютные размеры которых различны, прогибаются по-разному. Прогибом при малых размерах доски можно пренебречь, прогиб при больших размерах доски делает конструкцию негодной.
2. Две каменные плиты одинаковых пропорций, но различной величины. Меньшая плита выдерживает нагрузку собственного веса и дополнительного полезного груза, большая под действием собственного веса разламывается.

и от абсолютной величины сооружения. Эти зависимости легко доказуемы.

На многочисленных примерах самой природы можно проследить то влияние, какое оказывают абсолютные размеры на форму конструкции. Материал небольших тонких и гибких травянок относительно мягкий. Большие деревья, чтобы противостоять усилиям ветра, нуждаются в твердой древесине и конструкции повышенной внутренней прочности. Небольшие зверьки являются самыми большими прыгунами. По чисто механическим причинам природа не сумела бы сделать слона прыгуном, если бы вопреки здравому смыслу существовала такая тенденция. Тигр является лучшим прыгуном среди современных зверей. Однако длина его прыжка не превосходит двух-трехкратной длины его туловища, в то время как высота прыжка блохи более чем в 100 раз превосходит длину ее тела. Только насекомые и очень маленькие птицы (колибри) летают с жужжанием. Чем крупнее птицы, тем спокойнее движение их крыльев. Вероятно, можно доказать, что у самых больших птиц, т. е. у сотворенных человеком летательных аппаратов, колебательное движение крыльев осуществлять трудно. Учитывая зависимость формы от абсолютной величины конструкции, следует быть осторожным при использовании выводов абстрактных исследований о пропорциях по отношению к строительным конструкциям.

Таким образом, напрашивается вывод, что конструкция (вернее, архитектура) межпланетных станций, которые не находятся в гравитационном поле земли, бесспорно будет иметь совсем иные формы, чем те, к которым мы привыкли.

В данном труде не рассматривается вопрос о том, в какой степени наряду с существующими на земле эстетическими оценками будут иметь силу еще и другие эстетические оценки. Можно лишь утверждать, что приведенные в книге оценки сохраняют свою силу по отношению к реальным произведениям зодчества. Эти оценки являются предпосылкой для всех дальнейших рассуждений. Область применения математических доказательств этих положений распространяется только на пропорции, а тем самым и на формы материальных конструкций. Но архитектура тоже ведь является материальной конструкцией. Поэтому мало вероятно, что хорошая архитектурная форма находится в противоречии с хорошей формой конструкции. Более вероятно, что обе эти формы родственны, что они дополняют друг друга, оказывают воздействие друг на друга. Практически это означает, что Эйфелева башня, уменьшенная во сто крат, теряет всякую художественную ценность. Ее

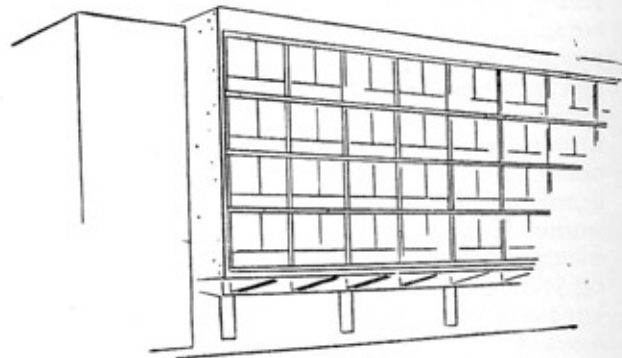
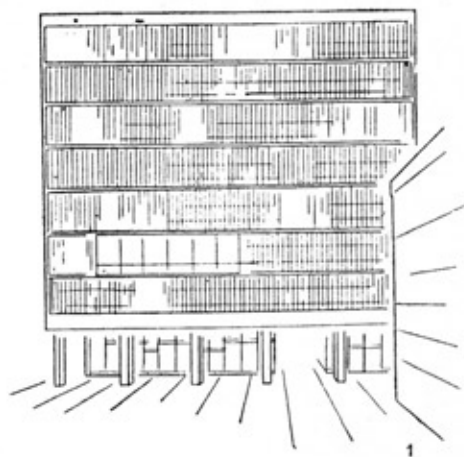


Рис. 51. Фасады этих каркасных конструкций, в отличие от сооружений с «ящичным» оформлением (рис. 49), представляют собой цельную гармоничную композицию, благодаря тому, что ширина обрамляющих элементов внизу, по бокам и наверху различна

1. Административное здание Оливетти в Милане
2. Ремесленное училище в Берне (Швейцария)

пропорции более не являются правильными. Она лишается своей эстетической значимости и становится изящной безделушкой.

Другой пример. Парфенон, увеличенный в x раз или перенесенный из гравитационного поля земли в x раз более сильное гравитационное поле Юпитера, в обоих случаях больше не будет иметь правильных пропорций, несмотря на то, что геометрические отношения всех частей остаются прежними. Масштаб сооружения с точки зрения механики нагрузок и свойств материалов уже не будет правильным. Мрамор-

ные балки, которые при одних условиях сохраняли свою несущую способность в течение 2000 лет, в других условиях разрушатся. Без учета механики нагрузок даже Парфенон лишится своего архитектурного значения. Тектоническая цельность пропадет, исчезнет и эстетическая ценность данного сооружения.

Настоящий экскурс в область масштабов был вызван анализом «ящичной» архитектуры. Учитывая размеры, применяемые в строительстве, нельзя пропорции мебели переносить в архитектуру. На рис. 51 показано правильное обрамление фасада каркасного здания.

В данном случае обрамление состоит из различных элементов, пропорции которых зависят от их местоположения. Вполне сознательно уст-

ранена немасштабная и скучная унификация четырех окаймляющих сторон фасада.

Таким образом, насильственная унификация форм, примененная к элементам, которые по существу не являются равными, нарушает масштаб и приводит к обеднению архитектурного облика сооружения. Подчеркивание функционально и конструктивно обоснованных различий оживляет архитектуру здания. Дифференциация частей здания в зависимости от их назначения создает правильный масштаб целого. В каркасной конструкции больше, чем в какой-либо другой, дифференциация диктуется закономерностями самой конструкции. Осуществление этой дифференциации приводит к тектонически правильным формам.

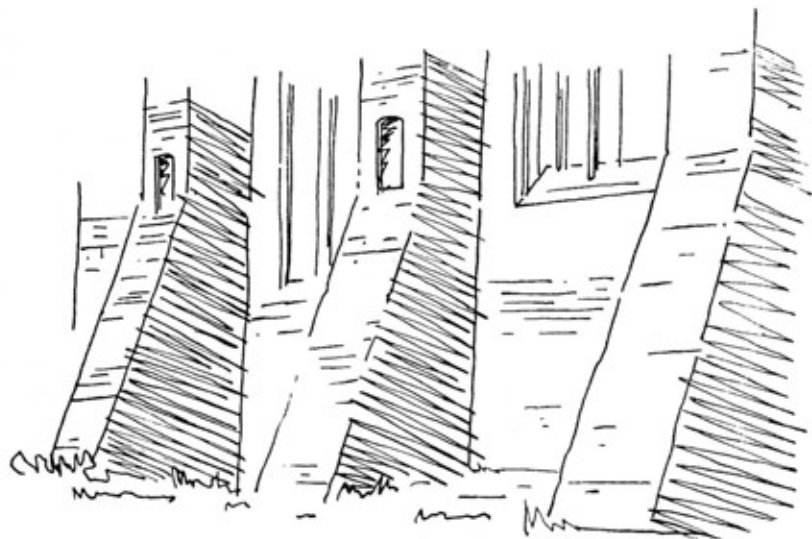
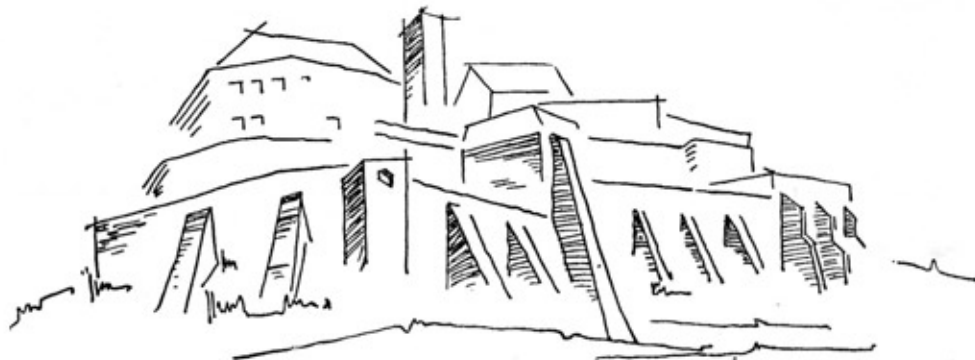
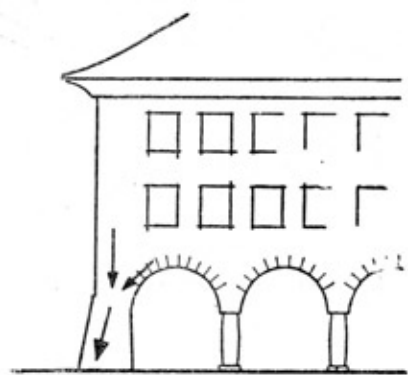
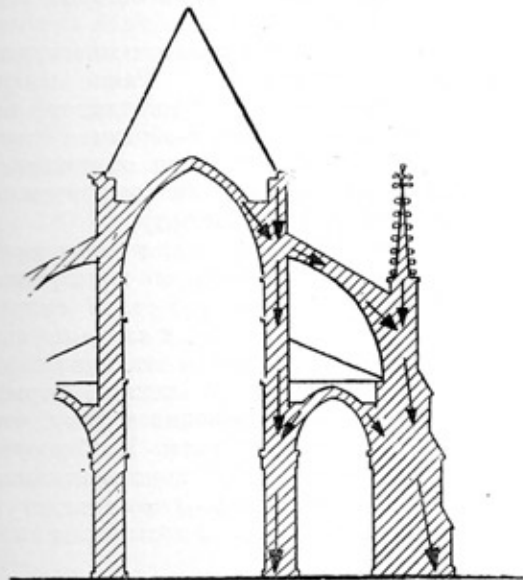


Рис. 52. Древние контфорсы являются перевернутыми V-образными опорами



Рис. 53. Контфорсы в форме перевернутой буквы V в апсиде аббатской церкви в Хейстербахе



2

Рис. 54. 1. В готической архитектуре опоры в форме перевернутой буквы V являются логическим следствием статики сооружения

2. Чисто утилитарная форма контрфорсов характеризует архитектуру зданий с аркадами в старой части города Берна (Швейцария)

дов и без ее влияния на все детали дух готики не проявился бы с такой силой в архитектуре.

Существенным и неперменным элементом всякой высоко поднятой сводчатой конструкции являются поддерживающие ее опоры. Они воспринимают сдвигающие усилия распора сводчатой конструкции. Их форма напоминает перевернутую букву V с утолщением книзу. Этого требует распределение действующих сил. В каменном сооружении только путем использования такой формы можно решить поставленную техническую задачу. Не только в средневековых соборах, но и в гражданских сооружениях применялась форма контрфорса. Она весьма характерна, например, для архитектуры домов в Берне (Швейцария) (рис. 54.2).

В рассмотренных выше примерах из истории архитектуры верхний конец столба или контрфорса воспринимает боковые усилия. В качестве сравнения можно привести мачту с подкосом, воспринимающую натяжение проводов (рис. 55). Такие опоры встречаются в линиях связи и на пастбищах, огороженных электрозабором. Существует также некоторое сходство форм рассматриваемых опор с формой деревьев. Ствол дерева органически приспосабливается к возрастающему книзу напряжению на изгиб.

Все эти сходные формы, встречающиеся в природе и истории строительного искусства, подчиняются следующим закономерностям.

1. Каждый опорный элемент, жестко заделанный у основания и воспринимающий в вер-

хней части горизонтальные усилия, подвергается изгибу.

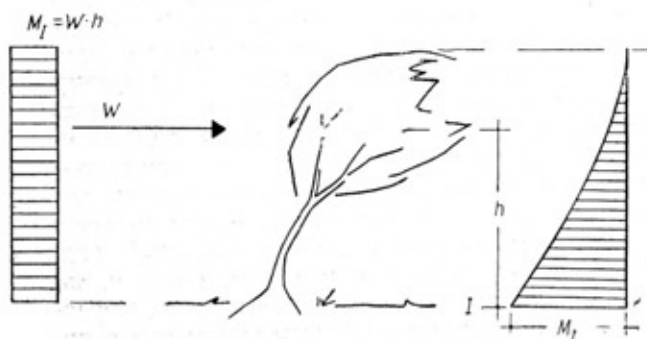
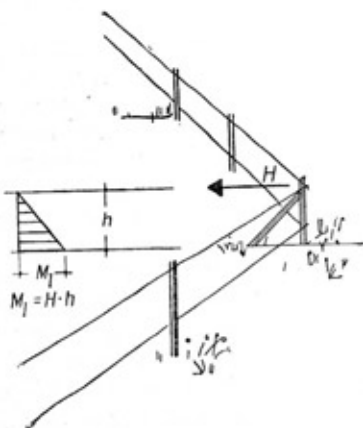
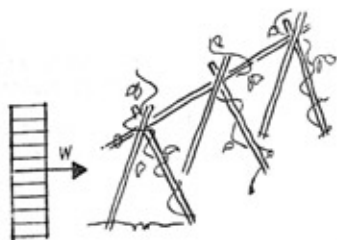
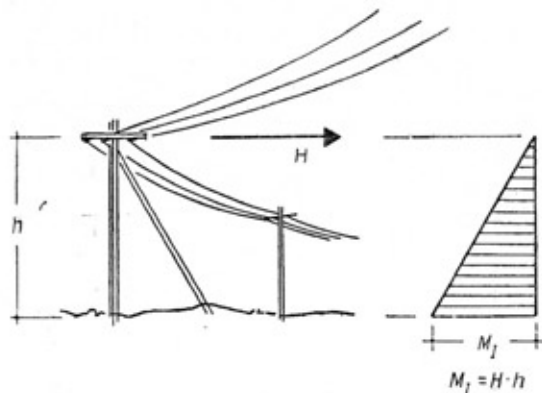
2. Величина изгибающих усилий увеличивается по направлению книзу.

3. Напряжение на изгиб достигает своего максимального значения у пяты опоры.

4. Расширяющаяся книзу форма опоры приспособляется к действию изгибающих усилий.

Все сказанное служит доказательством правильности с точки зрения статики и разумной эстетической ясности формы каменных контрфорсов, известной нам с древних времен. Жесткая заделка основания требует увеличения сечения контрфорса только книзу.

Современная форма V-образной опоры, сужающейся книзу, казалось, противоречит законам статики. В известных архитектурных стилях едва ли можно найти прототип такой колонны, но в течение нескольких последних десятилетий V-образная опора нашла широкое распространение. До начала XX столетия только немногие инженеры, открывшие эту новую форму опоры, осмеливались ее применять. В настоящее время она уверенно используется многими архитекторами. Не все правильно поняли новую архитектурную форму: некоторые используют только ее внешние очертания, чтобы придать возводимым сооружениям современный вид. Человек, не опытный в вопросах статики, на первых порах будет оспаривать целесообразность применения этой формы опоры при сопоставлении ее с общепризнанными и привычны-



ми формами, знакомыми ему из истории зодчества.

В настоящее время встречается много разновидностей V-образных опор. Такие опоры встречаются в мебельном производстве, так же как и в строительстве мостов. V-образная опора служит декоративным целям при оформлении витрин и является лаконичным выражением конструктивной формы в архитектуре.

В специальной литературе при характеристике современной архитектуры пользуются такими выражениями, как «точечное опирание», «плавающая опора». Но эти слова не выражают глубокого смысла новой тектонической формы. Поверхностная оценка внешней формы V-образной опоры легко приводит к тому, что причина подменяется следствием. Необходимо основательно разобраться в конструктивном содержании такого вида опор. Это приведет к неожиданным выводам, весьма достойным внимания.

Всякая опора конической формы, будь то готический контрфорс перевернутой V-образной формы или V-образная опора современной рамной конструкции, создана для выполнения определенных конструктивных задач. Форма ее соответствует изгибающему напряжению, возрастающему от нуля до максимума. Для начала такие опоры должны рассматриваться только с этой точки зрения. У V-образной опоры из стали или железобетона конструктивная функция и тектоника являются несколько более сложными, чем в готическом контрфорсе или в подпорной стенке. Сразу и чисто интуитивно их понять нельзя. Только с помощью инженерной логики и непредубежденного анализа конструктивных данных можно по настоящему понять исследуемые явления.

Только так можно развенчать те формалистические ложные формы, которые лишены всякого внутреннего содержания и лишь своим внешним видом напоминают истинную конструкцию. Целью настоящего труда является показать различие между ними и подлинными тектоническими формами.

Конструктивная идея, заложенная в структуре опоры конической формы, с точки зрения художественной выразительности кажется на первый взгляд столь примитивной, что углубленное ее изучение представляется ненужным. По сравнению, например, с капителью греческой колонны, которая в течение двух тысяч

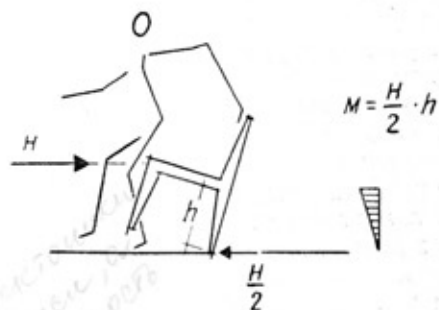
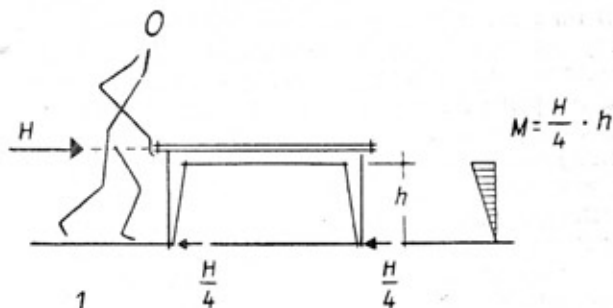
Рис. 55. Прimitивная форма V-образной опоры встречается у всякого столба с подкосом. Естественная форма дерева органически развивается под действием ветровых усилий

лет служит плодотворной темой для художественных вариаций, форма конической опоры кажется бессодержательной и бедной. Конечно, между ними существует коренное различие. Капитель благодаря своим красивым формам непосредственно воздействует на каждого, кто обладает эстетическим чутьем. Даже если капитель помимо этого выполняет еще и конструктивные функции, как промежуточное звено, передающее нагрузку архитрава на колонну, все же решающее значение имеет не функциональное содержание ее, а просто красота формы.

Совсем по-иному мы смотрим на опору V-образной формы. Сама по себе V-образная форма ничего не говорит. Она нас не волнует. Она лишена также какого бы то ни было символического содержания. Но зато V-образная опора, являясь конструкцией, обладает тектонической выразительностью. Именно такой она и должна быть. V-образная опора ничего не изображает, она «есть». Эти совершенно иные характерные черты современной тектонической формы необходимо познать, чтобы почувствовать ее эстетическую привлекательность. Без признания конструктивного содержания этой формы, т. е. существа, а не символического образа, эстетическое восприятие ее тектоники невозможно. Поэтому мы и говорим о «правильности» современной тектонической формы как о необходимой предпосылке эстетического достоинства.

V-образная опора как геометрическая форма несколько не красивее, чем две параллельные линии или пирамида. Только конструктивные функции, пропорции и местоположение V-образной опоры придают ей эстетическую выразительность. Поэтому следует с большей осторожностью относиться к формалистическому применению современных архитектурных форм, чем к применению античной капители. Благодаря красоте своей формы античная капитель, даже отдельно взятая, всегда сохраняет свое значение, тектоническая же форма, находящаяся вне целевой связи с остальной частью сооружения, теряет свое значение. Тем самым она лишается своей эстетической выразительности. Наоборот, если форма конструктивного элемента соответствует целевому назначению всей структуры сооружения и органически с ней связана, то она оживляется и становится составной частью подлинного произведения искусства.

В отличие от архитектуры, где V-образная опора почти не применялась в прошлом, в мебельном деле она применяется уже давно. Так, например, ножки стола и стульев также подвергаются боковым изгибающим усилиям, но последние действуют на них не вверх, а у основания (рис. 56). Таким образом, изгибающее



2

Рис. 56. 1. V-образная форма ножек стола и стула соответствует нарастанию усилий, которые являются наибольшими вверх в местах крепления ножек

2. Ножки стола, расширяющиеся книзу, затрудняют его перемещение

напряжение нарастает вверх. Оно становится максимальным в месте укрепления ножки в раме и уменьшается до нуля по направлению к точке опоры. Поэтому еще в древние времена мастера-мебельщики придавали ножкам стола и стула коническую форму, сужающуюся книзу.

Почему же ножкам стула, стола и скамейки по аналогии с формой дерева или контрфорса не придавалась коническая форма с утолщением

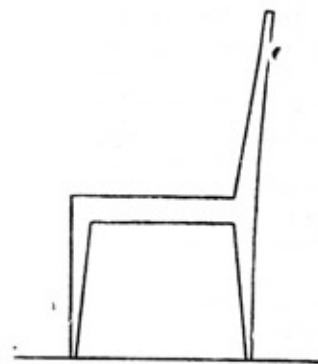
книзу? Ведь плита стола может также покоиться на козлах, которые благодаря нижним распоркам приобретают устойчивость (рис. 56.2). Если бы такой стол был неподвижным и козлы заанкерены в грунте, то можно было бы провести полную аналогию с формой контрфорса. Но ввиду того что мебель представляет собой передвигаемые предметы, здесь имеет место другой конструктивный принцип, согласно которому прочное соединение ножек с рамой и свободное точечное соприкосновение с полом оказывается лучшим. Отсюда — уменьшение толщины ножки книзу, как и в V-образной опоре.

В последнее время современные рамные конструкции строят по тому же принципу, что и стул. Верхняя обвязка в мебели соответствует ригелю в раме, а ножкам мебели соответствуют стойки рамы. Жесткий узел соединения стойки с ригелем требует V-образной формы стойки. Хотя вопрос транспортабельности больших рамных конструкций, конечно, не является определяющим, все же подсознательно нашему вкусу отвечает все легкое и подвижное, а не то, что прочно приросло к земле. Конструкция, которая опирается на кажущиеся легкими V-образные опоры, значительно больше соответствует нашему вкусу, чем расширяющиеся книзу контрфорсы сводчатых строений Средневековья.

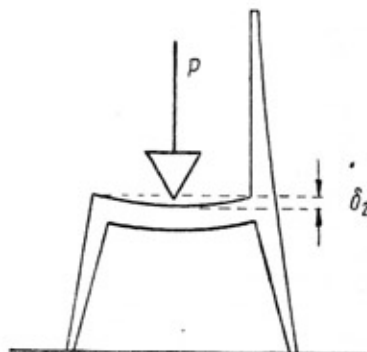
Таким образом, современные эстетические запросы могут быть удовлетворены с появлением новых строительных материалов. Применение рамных конструкций открыло целый мир новых форм. Оно привело к созданию современной V-образной опоры, которая и является основным предметом, рассматриваемым в настоящей главе.

V-образная опора в качестве стойки рамы

V-образная опора, установленная острием вниз, впервые была применена в современных рамных конструкциях. Прототипом рамной конструкции служит двухшарнирная рама. Конструкция ее становится понятной при сравнении двухшарнирной рамы с конструкцией стула (рис. 57). Ножки стула недостаточно жесткой конструкции под нагрузкой раздвигаются на гладком полу. Если при помощи упоров удерживать распор ножек стула, то благодаря их прочности на изгиб происходит изгиб концов в обратную сторону, вследствие чего рама разгружается. Разгрузку можно измерить по уменьшению прогиба.

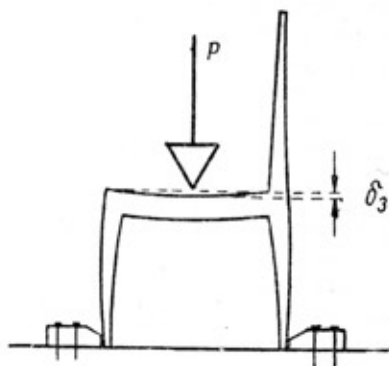


1



2

$$\delta_2 > \delta_3$$



3

Рис. 57. Стул в качестве рамной конструкции

1. Ненагруженный стул
2. При нагрузке возникают усилия, раздвигающие ножки стула
3. Ножки стула, которые не могут раздвигаться, разгружают раму сиденья. Упругий прогиб его меньше, чем в случае 2

На рис. 58 показаны упругий прогиб и соответствующие изгибающие моменты двухшарнирной рамы под действием равномерно распределенной вертикальной нагрузки. Изгибающие моменты характеризуют степень напряжения изгиба, которому подвержена конструкция в любом сечении. Эпюра отражает величину изгибающих моментов, вызывающих растягивающие усилия. В том месте, где изгиб меняет свое направление снизу вверх, находится нулевая точка, в которой нет изгибающих моментов. Одновременно нулевая точка является точкой поворота линии прогиба, т. е. местом, где направление кривизны деформирующейся рамы меняется.

Предпосылками эффективной работы рамной конструкции такого рода являются: применение материала, прочного на изгиб; жесткие соединения узлов; устойчивые шарнирно укрепленные пяты стоек. В каменной кладке швы из раствора не обладают прочностью на растяжение. Поэтому каменную кладку не применяют для рамных конструкций. Хотя дерево и обладает исключительно высоким сопротивлением на сжатие и растяжение, возможности создания из него жестких узлов очень ограничены. Столярные соединения элементов мебели достаточно эффективны, но для больших строительных конструкций они не пригодны. Рамные конструкции из дерева возможны только при выполнении их в виде клееных или гнутых конструкций с применением соединительных стальных деталей.

В строительном деле деревянные рамные конструкции имеют незначительное распространение. Только лишь при внедрении стали и железобетона были созданы условия для широкого применения рамных конструкций. Эти материалы обладают прочностью на растяжение при изгибе. Они дают возможность создавать жесткие узлы и эффективные шарнирные опоры (рис. 59).

Конструктивная особенность двухшарнирной рамы видна на ряде эскизов, представленных на рис. 60. На них показаны простая балка, опирающаяся на две опоры, ее упругая деформация, вызванная равномерно распределенной нагрузкой, и соответствующий изгибающий момент (рис. 60.1). Рядом представлена та же балка, но с двумя консолями и с дополнительными сосредоточенными нагрузками на ее концах (рис. 60.2). Величина этой сосредоточенной нагрузки такова, что концы консолей прогибаются точно до уровня недеформированной оси балки. В результате балка в точках опоры отгибается кверху; ее середина разгружается. В точках опоры касательная к деформированной оси балки образует с горизонтальной линией

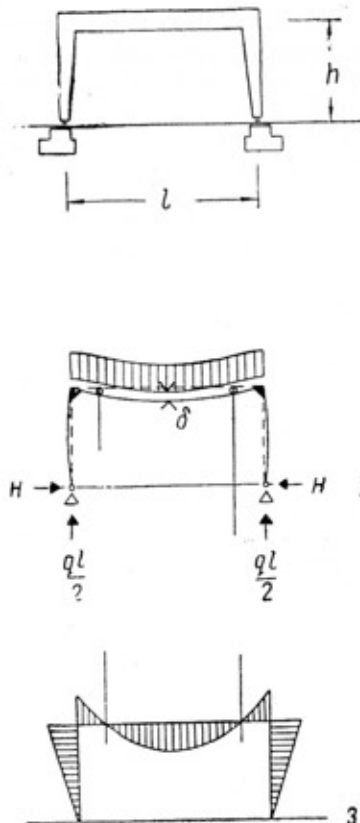


Рис. 58. Двухшарнирная рама

1. Двухшарнирную раму можно сравнить со стулом, ножки которого жестко защемлены
2. Упругая деформация рамы под действием вертикальной нагрузки аналогична деформации стула, показанной на рис. 57.3
3. Эпюра изгибающих моментов отражает интенсивность изгибающих усилий. Точки нулевого момента совпадают с точками поворотов линии упругой деформации (см. рис. 58.2)

угол поворота τ_2 , который меньше, чем угол τ_1 у балки без консоли. Прогиб на середине δ_2 также меньше, чем δ_1 , и максимальные величины изгибающих моментов в данном случае равны только половине тех величин, которых достигают моменты у простой балки. Нагруженные консоли разгружают балку.

Стойки рамы (рис. 60.3) имеют такую же длину, как и консоли на рис. 60.2. Их пяты соответствуют концам консолей. Подобно тому как консоли удерживались в исходном положении вертикальной нагрузкой P , так и пяты обеспечены против бокового сдвига устойчивостью фундамента. Сопротивление, которое оказывают фундаменты горизонтальной деформации рамы, характеризуется горизонтальной силой

Н. Она равна нагрузке P у балки с консолью. Прогиб в середине рамы δ_3 , угол поворота τ_3 , а также напряжение ригеля рамы на изгиб такие же, как у балки с разгрузочными консолями. Величина напряжения ригеля равна половине величины напряжения на изгиб у балки без консолей, показанной на рис. 60.1.

Стойки рамы не являются лишь дополнительными элементами, а одновременно служат опорами для междуэтажных перекрытий, что делает двухшарнирную раму экономичной и рациональной конструкцией. Целесообразность применения V-образной формы для стоек обоснована эпюрой изгибающих моментов, которые являются максимальными у узлов рамы и равны нулю в точках опоры. Интересно отметить, что эта конструктивная форма стоек рамы является не только результатом расчетов.

На рис. 61 показано два случая возможного оформления стоек рамы. В первом случае стойка имеет подчеркнуто V-образную форму; по

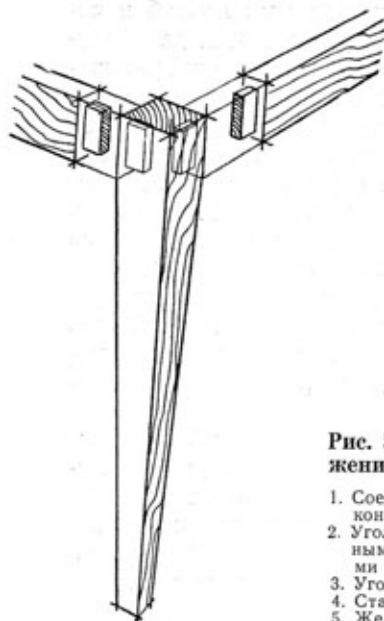
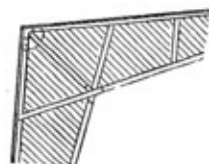
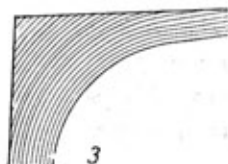


Рис. 59. Жесткий узел сопряжения деталей угла

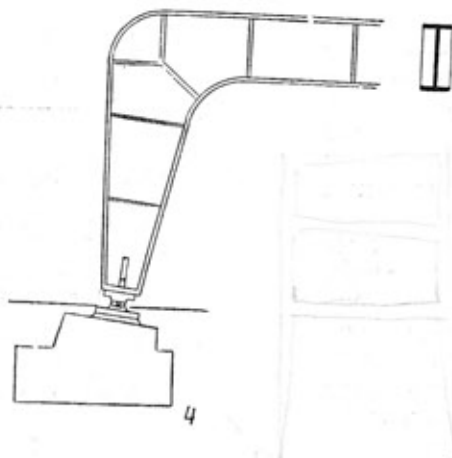
1. Соединение в шип в мебельных конструкциях
2. Угол деревянной рамы со стальными соединительными элементами
3. Угол деревянной клееной рамы
4. Стальная рама
5. Железобетонная рама



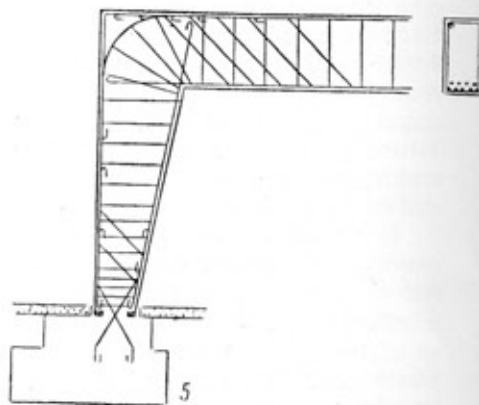
2



3



4



5

сравнению с ригелем она слишком жестка. В другом случае стойки слишком тонки и гибки. Изгибающие моменты зависят от заранее заданной формы. Они перемещаются туда, где конструктивные элементы являются наиболее жесткими и оказывают максимальное сопротивление. Чем жестче и устойчивее стойки, тем больше нагрузки они могут принять и тем сильнее препятствуют повороту осей. Чем жестче узел рамы, тем сильнее происходит разгрузка ригеля (рис. 61.1). Наоборот, чем податливее стойки, тем меньше сказывается роль рамы и тем больше работа ригеля рамы приближается к работе простой балки на изгиб. Рама теряет свойства жестко связанной конструкции; она рас-

падается на балку и стойки, работающие до некоторой степени каждая в отдельности.

Оптимальная форма рамы выявляется двумя путями. Тот, кто руководствуется только интуитивным восприятием, сразу оценит эстетические достоинства рамы, показанной на рис. 61.1, и неполноценность конструкции, показанной на рис. 61.2. Инженер, для которого эстетика имеет меньшее значение, к тому же выводу приходит другим путем. До начала расчета рамы он должен принять ее ориентировочные размеры. Только лишь к концу исследования ему становится ясно, соответствуют ли принятые размеры действующим усилиям или же придется начать все с начала. Интересно отметить, что на проч-

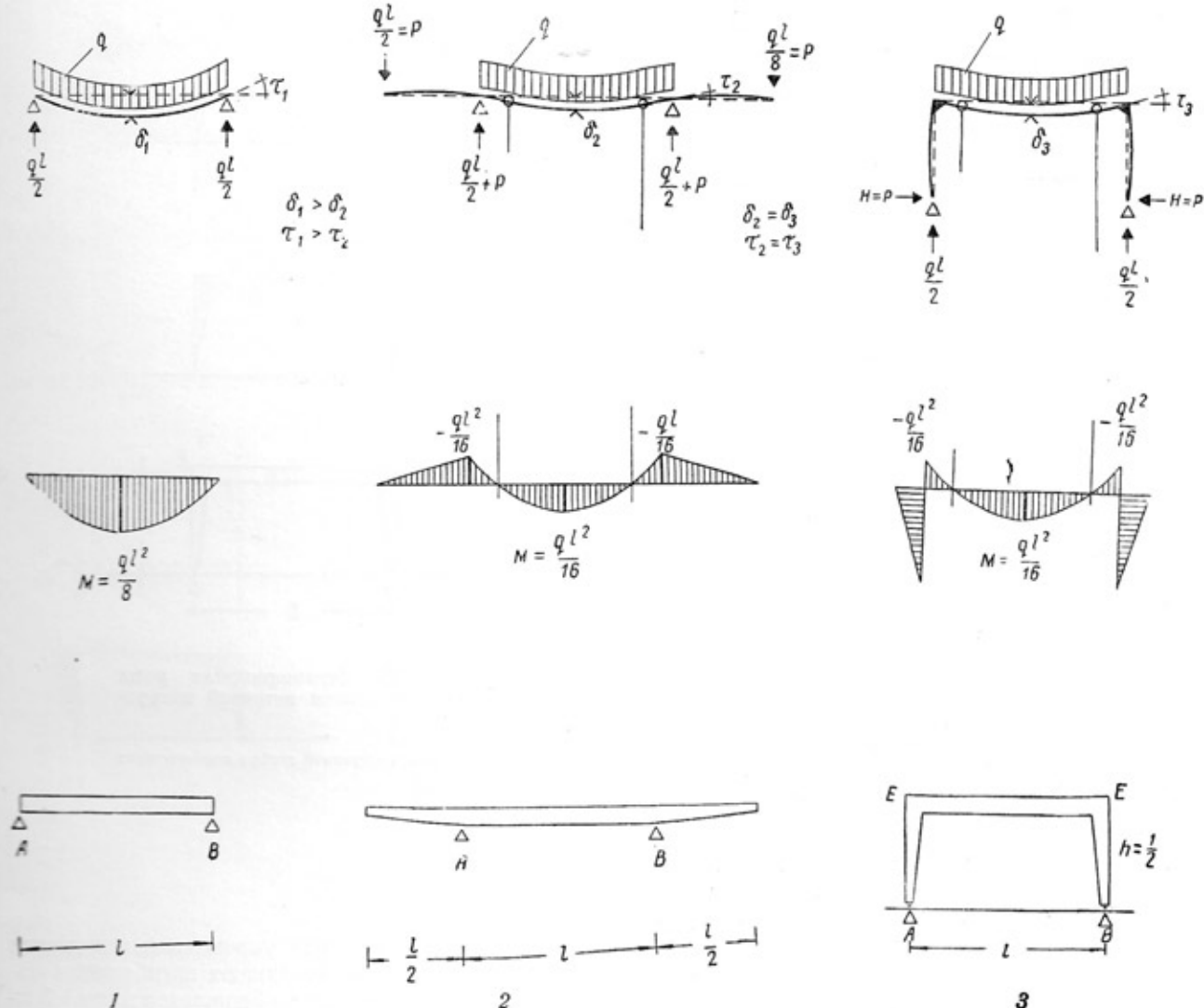


Рис. 60. Аналогичные свойства балки и рамы

1. Деформация и изгибающие усилия балки на двух опорах от равномерно распределенной нагрузки
2. Нагрузка консолей разгружает балку
3. Закрепленные против бокового смещения стойки двухшарнирной рамы разгружают ригель так же, как и консоли

ность рамы с жесткими стойками ошибки в предварительных расчетах и неточности выполнения оказывают меньше влияния, чем на раму с тонкими стойками. Поэтому во избежание неправильных повторных оценок и расчетов двухшарнирной рамы, а также для того, чтобы надежность конструкции не уменьшилась вследствие неточного ее выполнения, инженер обычно предпочитает такие формы рамной конструкции, которые отличаются большей степенью жесткости стоек. Таким образом, как для опытного инженера, так и для

того, кто подходит с чисто эстетических позиций, оказывается «правильной» одна и та же форма рамы.

Помимо вертикальной нагрузки, состоящей из собственного веса рамы и нагрузок от перекрытия или крыши, на сооружение действует также горизонтальная нагрузка от давления ветра (см. рис. 62). В этом случае напряжения, вызываемые изгибом в стойках, уменьшаются книзу до нуля. Поэтому напряжения в стойках лучше всего воспринимаются стойкой V-образной формы. Для окончательного определения

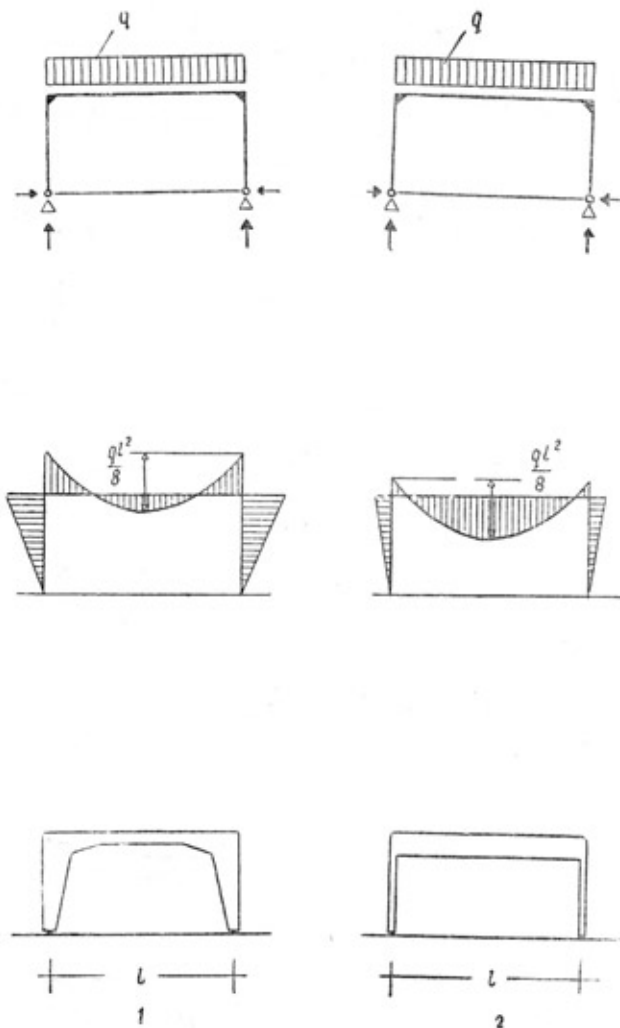


Рис. 61. Различные степени жесткости у двухшарнирной рамы

1. Жесткие вертикальные стойки исключают возможность кручения узлов и разгружают ригель.
2. Гибкие стойки мало противодействуют кручению узлов. Усилия, возникающие в ригеле рамы, примерно соответствуют усилиям в балке на двух опорах. Система не работает как рама.

формы опор двухшарнирной рамы решающее значение имеют одновременно действующие вертикальная и ветровая нагрузки. Совместное действие обеих нагрузок вызывает в стойках треугольное распределение изгибающих моментов. Таким образом, в обоих случаях V-образная форма опоры является правильной.

V-образная опора подходит и для трехшарнирной рамы (рис. 63.1), и для так называемой полурамы (рис. 63.2). Во всех случаях, когда рамные стойки вверху жестко связаны с риге-

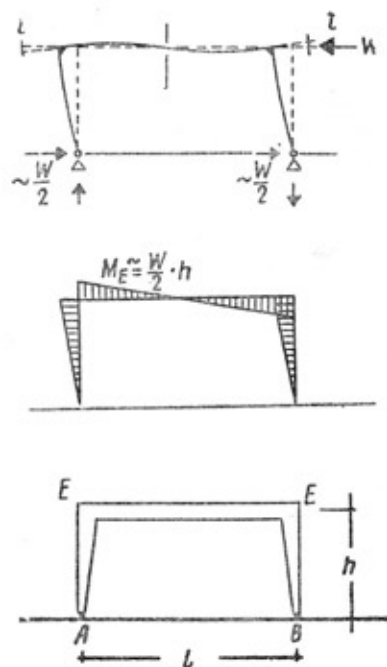


Рис. 62. Двухшарнирная рама под действием ветровой нагрузки

Форма V-образной стойки соответствует эпюре

лем, а внизу шарнирно укреплены, вследствие нагрузок в стойках возникают изгибающие моменты, эпюра которых изображается в виде буквы V. Они достигают максимума в углах и уменьшаются до нуля в пяте, т. е. для их восприятия требуется V-образная опора, установленная сужающимся концом вниз.

Совсем иначе работает рама без шарнирной опоры. В этом случае стойки ее жестко заделаны в фундаменте. В пяте стойки возникают изгибающие моменты и напряжения изгиба. Для их восприятия требуются такие же сечения, как и сечения узлов рамы. На рис. 64 показаны распределение изгибающих моментов и соответствующая упругая деформация несущей системы. В этом случае нет никакого смысла применять V-образные опоры.

На рис. 65 приведены типичные примеры использования двухшарнирной рамы. В конструкции моста (рис. 65.1) расход материала доведен до минимума. Чем тоньше мостовая балка, тем больше просвет под мостом и тем меньше мертвый груз конструкции. Большая изящ-

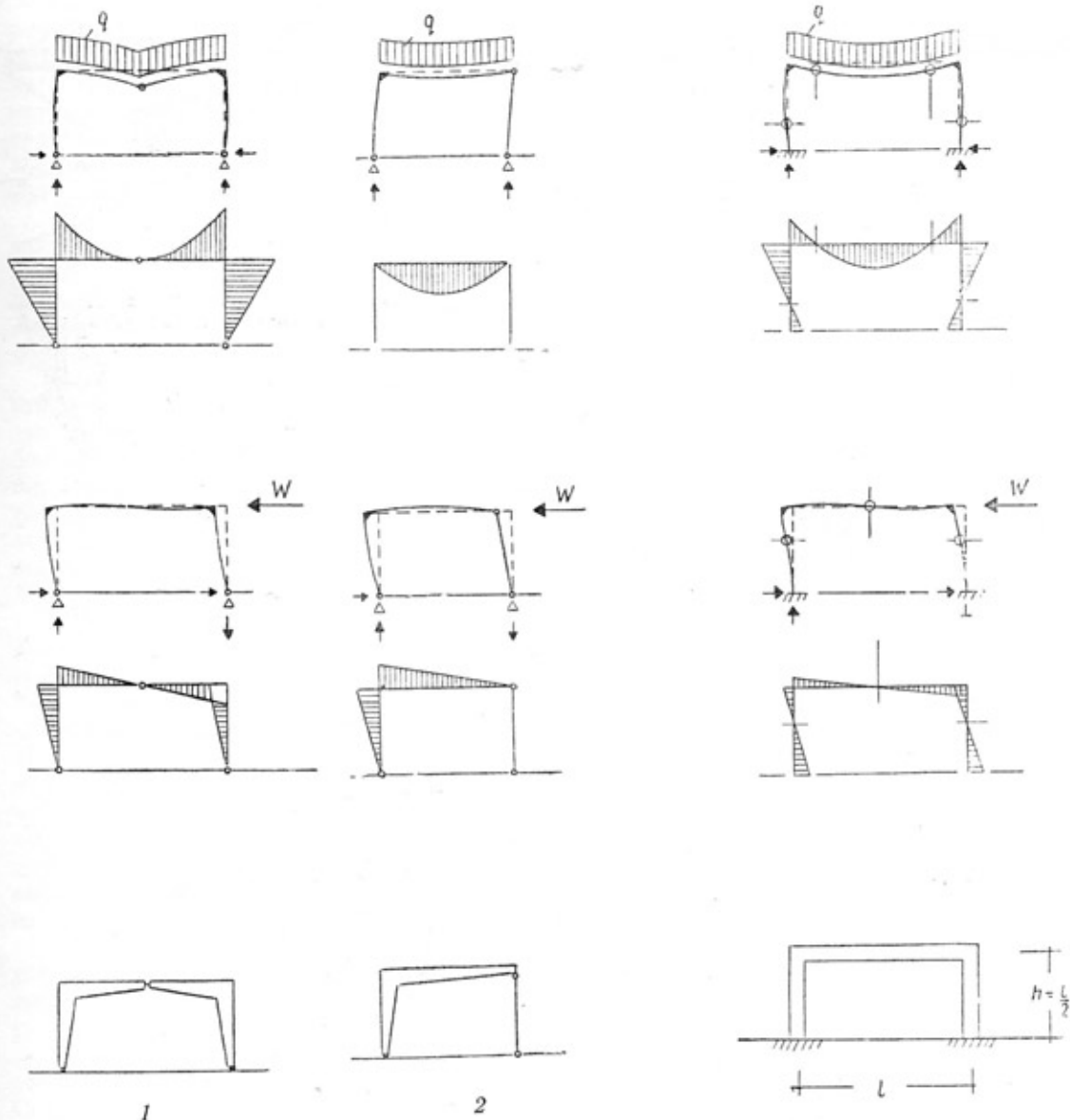


Рис. 63. Трехшарнирная рама и полурама при основных видах нагрузки имеют треугольные эпюры изгибающих моментов, которым соответствуют V-образные стойки

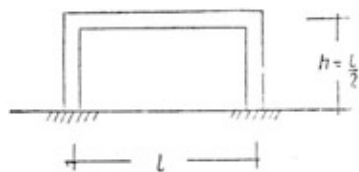


Рис. 64. Для стоек, защемленных в опоре, V-образная форма не подходит

ность мостовых балок достигается не в последней степени за счет жестких узловых соединений с тяжелыми толстыми и короткими устоями рамы. Если бы не действие, оказываемое рамной конструкцией, изгибающий момент в середине пролета был бы значительно большим и балка должна была бы иметь значительно большую конструктивную высоту. Хотя идея, заложенная

в конструкции, не сразу читается из-за того, что рамные опоры скрыты в земляных откосах, все же чувствуется, какая несущая способность заложена в этом жестком соединении мостовых балок с массивными устоями рамы. Последние представляют собой V-образные стойки двухшарнирной рамы.

В соборе паломников в Лурде массивные

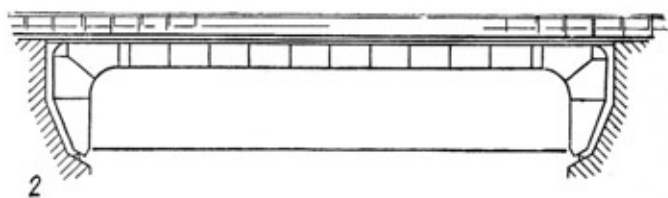
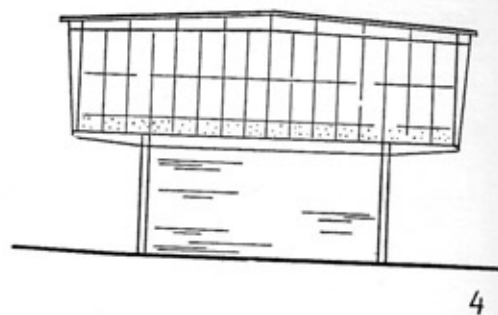
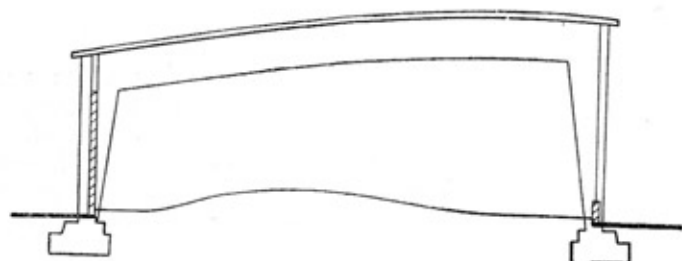
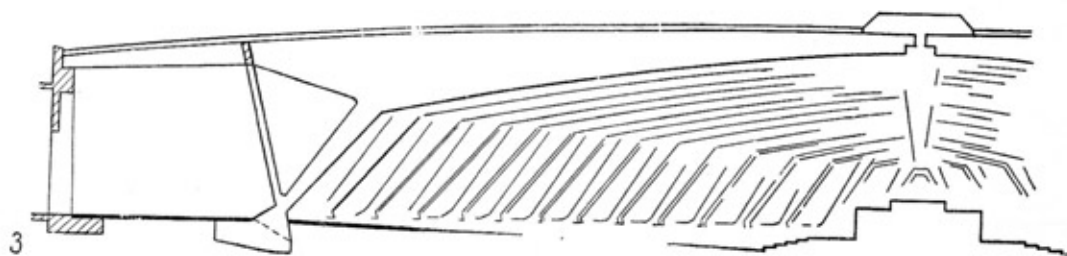


Рис. 65. Применение двухшарнирной рамы

1. Мост из железобетона
2. Железнодорожный путепровод
3. Здание церкви в Лурде (разрез)
4. Выставочный зал
5. Спортивный зал



рамные стойки подразделены на стержни растяжения и сжатия (рис. 65.3). Общее действие их такое же, как у V-образных опор двухшарнирной рамы. Форма V-образной опоры сварной рамной конструкции путепровода при вокзале в Дуйсбурге также ясно отражает функции рамы (рис. 65.2).

Два последних примера (рис. 65.4 и 65.5) взяты из практики гражданского строительства. В этих примерах размеры конструкций меньше, чем у мостов, но тем не менее у них ясно выражены конструктивные функции V-образных опор.

Возможности применения рамных конструкций имеются во всех областях строительства и архитектуры. Всюду, где необходимо перекрыть большое помещение без промежуточных опор или придать высокому строению поперечную жесткость, рекомендуется применение рамных конструкций с жесткими узлами. И, если рама имеет шарнирные опоры, стойки приобретают V-образную форму.

В первых этажах многоэтажных зданий с успехом применяются рамные конструкции. В противоположность верхним этажам, функции которых обычно одинаковы и объемы которых образуют замкнутый параллелепипед, первый этаж остается открытым. Он используется для транспорта и коммуникаций. В таких случаях напрашивается конструкция, позволяющая раскрыть здание в первом этаже и способная одновременно воспринять вертикальные и ветровые нагрузки. Такая конструкция должна иметь и соответствующую выразительную архитектурную форму. Во многих выдающихся творениях современной архитектуры в первом этаже применяется рамная конструкция с явно выраженными опорами V-образной формы.

Одним из наиболее интересных решений этого рода является многоэтажное здание ЮНЕСКО в Париже, арх. Нерви (рис. 66). Мощная V-образная форма опор подчеркивает специальную функцию первого этажа.

Для всех этажей выше первого Нерви предусмотрел только два ряда внутренних опор, с которых нагрузка передается прямо на углы двухшарнирных рам первого этажа. Благодаря сосредоточению нагрузок в этих местах не возникают какие-либо значительные изгибающие моменты. Ригели воспринимают вертикальную нагрузку от перекрытия первого этажа, равную нагрузке каждого вышележащего перекрытия и не имеющую определяющего значения для формы рамы. Форма и функция рамы первого этажа обусловлены ветровой нагрузкой и поперечной жесткостью сооружения. При этом важное значение имеет точное направление вертикальной нагрузки верхних этажей на узлы рамы.

Другая важная функция опор рамы состоит в том, что они в продольном направлении здания служат элементами жесткости, противодействующими усилиям ветра. Об этом речь будет идти подробнее в дальнейшем.

На рис. 66.1 показаны разрез здания и эпюры моментов, вызванных давлением ветра. Сообразно величине этих моментов строится и форма опор. Нерви говорит, что у него любой эскиз конструкции является результатом знания распределения действующих усилий и поисков форм, в которых самым экономичным и простым образом учтено взаимодействие всех усилий. Правильно замечено! Такие формы не создаются в результате одних только расчетов. Они являются плодом творческих исканий при проектировании. Расчетом проверяют только соответствие формы действующим в материале напряжениям. Этим напряжениям могут соответствовать и другие формы. Соответствие этих форм действующим усилиям тоже доказуемо, но из всех форм только одна является лучшей. Как говорит Нерви, только одна форма является в тектоническом отношении «правильной», а именно та, в которой ярче всего проявляется принцип экономичности. Нахождение этой формы является творческим процессом, который на первых порах ничего общего не имеет с расчетами. Под экономичностью следует понимать нечто большее, чем «дешево». Как определенное комплексное понятие, экономика накладывает свою печать на весь процесс творчества. Принцип, который во всех областях творческой деятельности, технической или художественной, сохраняет свою силу и который наблюдается также в природе, — это наиболее экономичными средствами достигнуть максимального эффекта, учитывая и эстетический эффект.

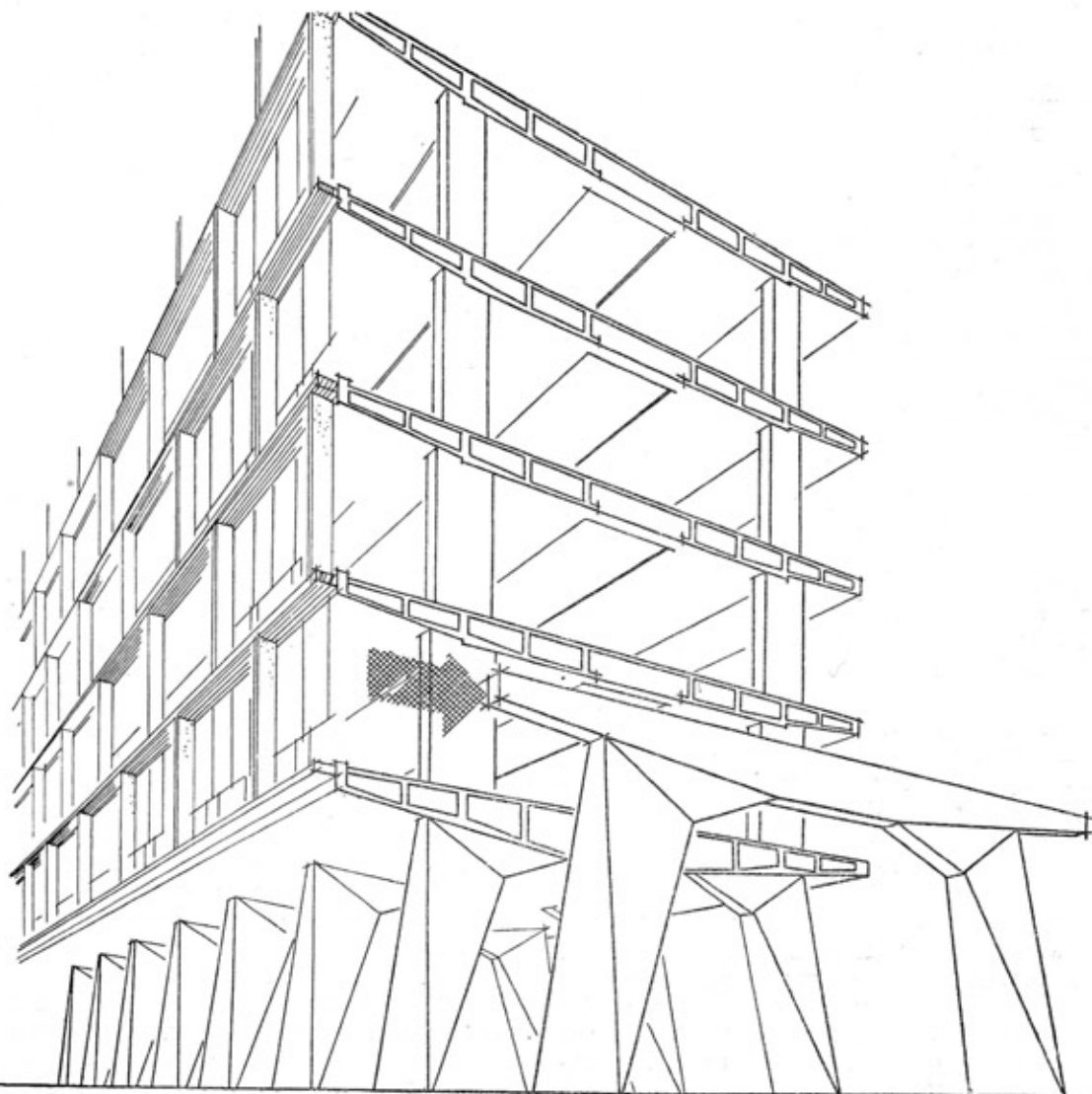
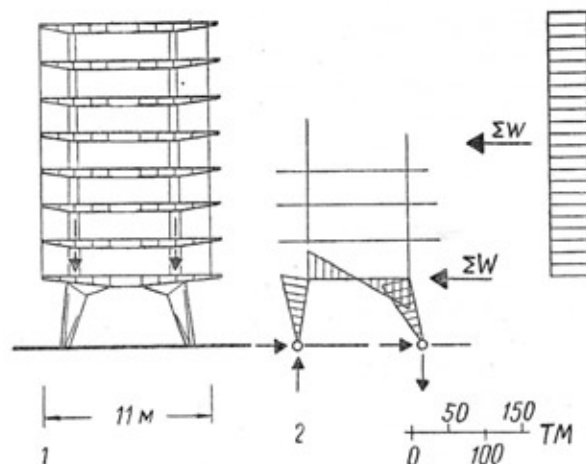
Как мало общего это имеет с тем, что называется «дешево», видно из фразы, приписываемой Мис ван дер Роз: «Делайте возможно проще, сколько бы это ни стоило!».

Другим замечательным примером здания с рамой и V-образными опорами в первом этаже является жилой дом в Марселе, построенный по проекту Ле Корбюзье (рис. 67). С первого взгляда кажется, что функция V-образной опоры выражена здесь не с такой убедительностью и не так определенно, как в здании ЮНЕСКО, но и в данном случае архитектурно-конструктивная тема определила тектонику здания.

Более высокая степень инженерного благоустройства этого жилого дома создала множество технических осложнений. Сравнительно узкий шаг поперечных стен потребовал опоры для каждой второй стены. Технический этаж над первым этажом отведен для санитарно-технических установок и горизонтальных рас-

Рис. 66. Здание ЮНЕСКО в Париже

1. Разрез здания. Видна двухшарнирная рама со стойками V-образной формы в первом этаже
2. Изгибающие моменты от ветровых нагрузок
3. Перспектива



пределительных магистралей. Для установки вертикальных трубопроводов служат специальные пустоты в стойках рам первого этажа.

На рис. 67.4 показано внутреннее расположение санитарно-технических устройств и конструкций, а также ясно и отчетливо отражены несущие функции стоек рамы в первом этаже. И в этом случае вертикальная нагрузка сосредотачивается в стойках рамы. Часть вертикальных сил передается непосредственно на стойки, а часть через продольные ригели. И здесь мы видим, что факторами, определяющими функцию рамы, являются ветровая нагрузка и необходимость обеспечить поперечную жесткость сооружения, а форму V-образной опоры — эпюры моментов ветровых нагрузок.

При больших нагрузках в подобных зданиях трудно выполнить шарнирные опоры рам. При железобетонной конструкции нагрузку большой величины проще передать через жесткие опоры. Ширина выемки подошвы, в которой устанавливается опора, даже при минимальных ее размерах обеспечивает определенное защемление опоры (рис. 67.2).

Оба примера — здание ЮНЕСКО и жилой дом в Марселе — показывают, как в многоэтажных сооружениях сила ветра определяет форму рамы первого этажа. В случае двухшарнирной рамы получается форма V-образной опоры. Чем выше здание, тем лучше V-образная форма стойки обеспечивает его устойчивость в поперечном направлении.

Существуют и другие способы обеспечения жесткости сооружений. Не всегда обязательно применять рамную конструкцию. Для этой цели часто используют массивные стены, лифтовые шахты и жесткие лестничные клетки, в результате чего создаются четкие конструктивные системы, приводящие к ясным, тектоническим формам. Но эти решения ничего общего не имеют с формой рамной конструкции и V-образными опорами. Однако многие архитекторы, увлеченные V-образной формой стоек, используют ее даже там, где нельзя найти никакого конструктивного обоснования для ее применения. В таких случаях законы статики не применены в качестве формирующего принципа и поэтому, как правило, соответствующая конструкция получается как жалкое подражание не понятой по существу тектонической форме.

На рис. 68 показана конструктивная схема, которую довольно часто можно встретить в практике строительства. Однако в ней применение V-образной опоры тектонически ничем не оправдано. Жесткость сооружения обеспечена лестничной клеткой и лифтовой шахтой, которые соединены с монолитными плитами перекрытий. Никакие горизонтальные силы ветро-

вой нагрузки не передаются на ложную раму. Нет никаких изгибающих моментов, согласно которым необходимо применение V-образных опор. Последние воспринимают только вертикальную нагрузку и должны быть простой прямоугольной формы. Если же представить себе, что силы ветра действительно передаются на раму, то сразу видно, что последняя слишком высока. Наличие санитарно-технических каналов в самом теле «ригеля» показывает, что данная рама является ложной, а V-образная форма опор носит чисто формалистический характер. Конструктивно они не связаны с ригелем, жесткость которого нарушена.

Предположение, что расширение опор кверху, возможно, является переходом к соответствующим широким колоннам в вышележащих этажах, также оказывается ошибочным. V-образная опора во втором этаже не продолжается колонной соответствующей толщины. Стойка рамы работает впустую. К тому же плоское подвесное перекрытие, снизу не выявляющее форму ригеля, подчеркивает необоснованность применения V-образной формы для данной опоры. Сравнивая это сооружение со зданием ЮНЕСКО в Париже или с жилым домом в Марселе, мы находим у последних мощные тектонические формы, являющиеся следствием конструктивных функций, в то время как в последнем примере представлена бесцветная ложная архитектура, возникшая в результате неправильного понимания законов статики и увлечения эффектным модернизмом.

Нетрудно понять тектоническую непоследовательность в примере, приведенном на рис. 68, которая привела к созданию слабой, невыразительной формы. Но не всегда так бывает. Фальшь структуры иногда скрывается за мощными на вид формами. Претенциозное формотворчество, с пафосом выдаваемое за «большую архитектуру», не приводит к подлинной тектонике. Первое впечатление, производимое рамой, показанной на рис. 69, это тектоничность формы. Не сразу бросается в глаза, что оно вызвано не статическим расчетом. Создается впечатление, что перед нами мощная рама, воспринимающая давление ветра, обеспечивающая поперечную устойчивость здания в первом этаже и одновременно передающая нагрузку всех вышележащих этажей на фундамент. Это первое впечатление усиливается соблюдением пропорций, которые с точки зрения статических расчетов кажутся достоверными и свидетельствуют об умении автора создавать конструктивные формы. Тем сильнее разочарование, когда убеждаешься, что давление ветра воспринимается не рамой, а массивными внутренними стенами, являющимися как бы стержнем здания.

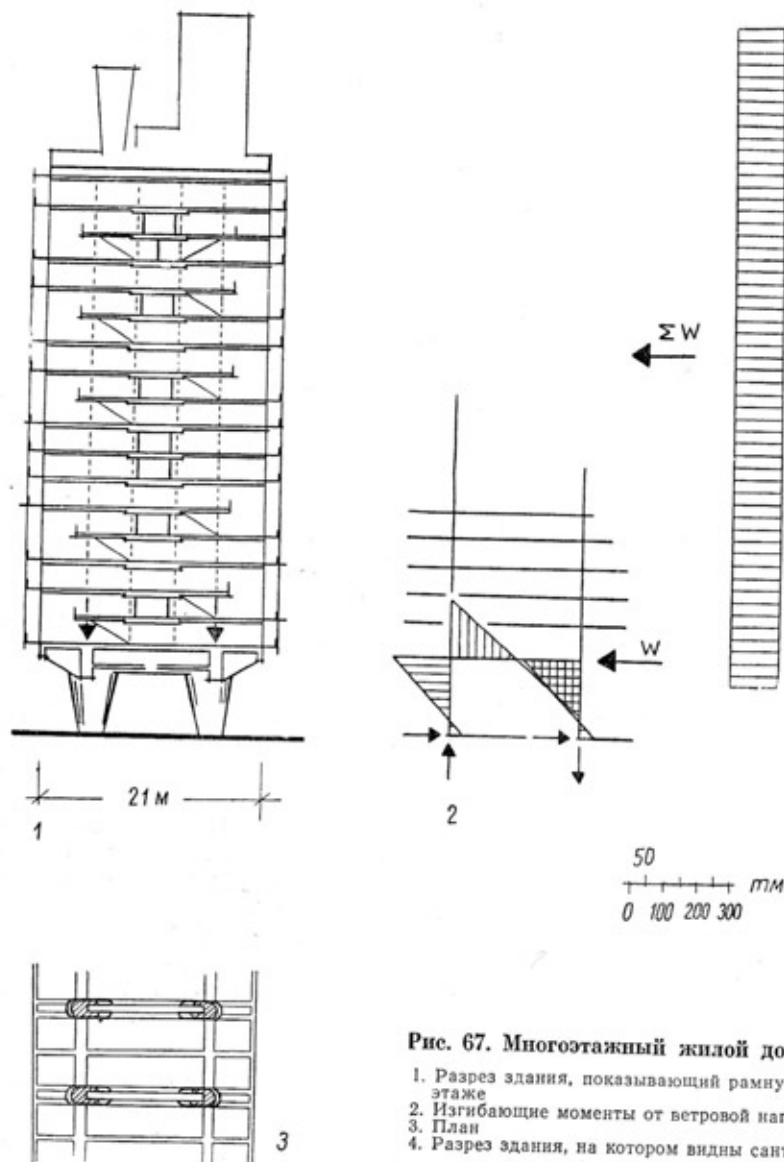


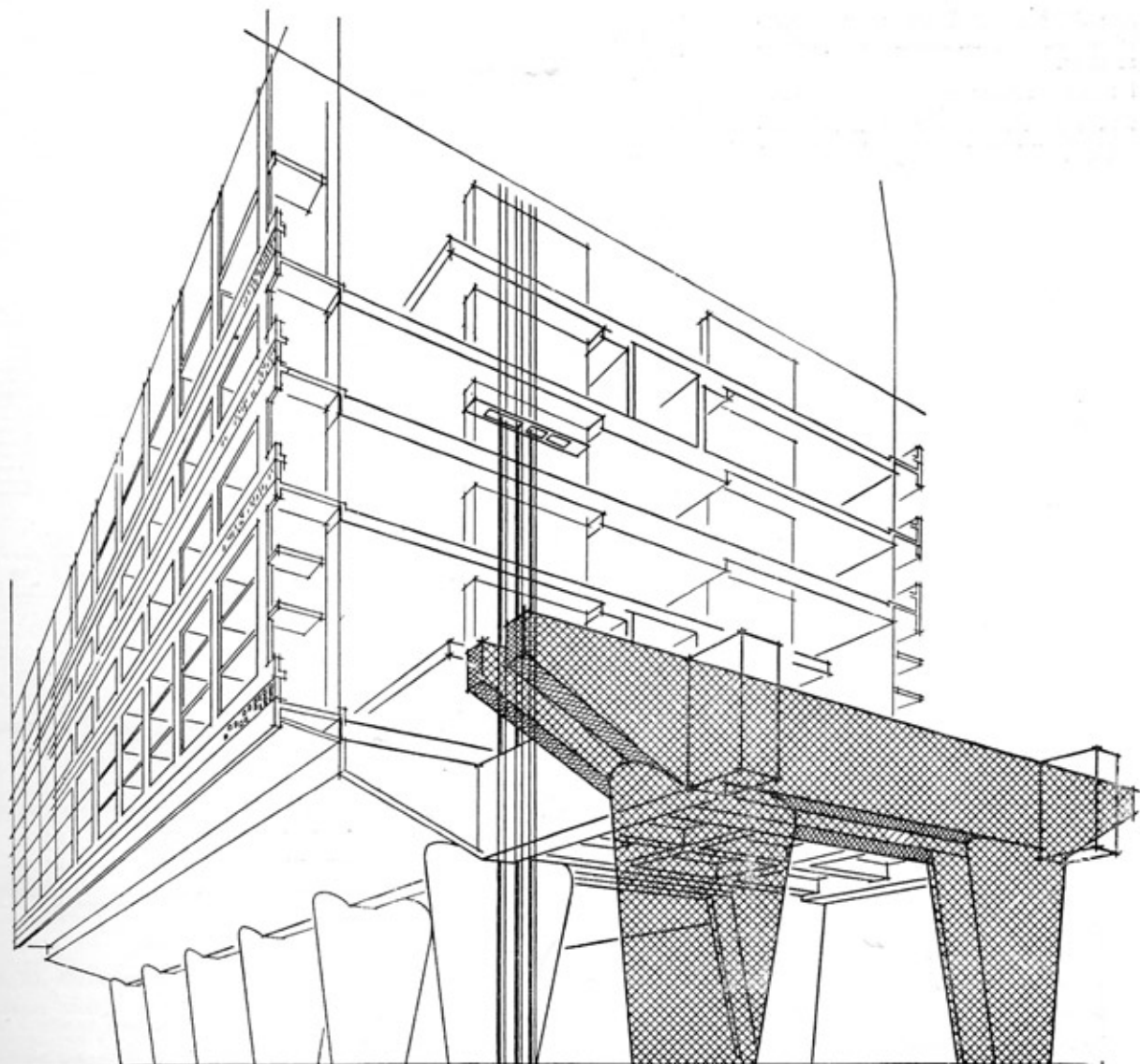
Рис. 67. Многоэтажный жилой дом в Марселе. Арх. Ле Корбюзье

1. Разрез здания, показывающий рамную конструкцию и V-образные стойки в первом этаже
2. Изгибающие моменты от ветровой нагрузки
3. План
4. Разрез здания, на котором видны сантехнические стойки

Уже одно это рассеивает много иллюзий. Но это еще не все. Наклон стоек рамы определяется точками сосредоточения нагрузки от вышележащих этажей (сравни в этом отношении здание ЮНЕСКО в Париже, рис. 66, и жилой дом в Марселе, рис. 67). Между тем нагрузка верхних этажей сосредоточивается совсем не в этих точках, а передается через ряд наружных колонн на тяжелую ранд-балку, опирающуюся на конец консоли; с внутренней стороны нагрузка передается непосредственно на стены внутреннего ядра здания.

Узлы рамы, предназначенные для восприя-

тия нагрузки наружных колонн, на деле не воспринимают вертикальной нагрузки. Ни V-образная форма стоек, ни их наклонное положение, ни их мощные размеры, ни претенциозная форма рамы в целом не вызваны необходимостью. Все эти формы вводят лишь в заблуждение, так как в действительности такая конструкция не работает как настоящая рама. Инженеру остается обеспечить передачу нагрузки всех вышележащих этажей, сосредоточенные на концах консолей, трудными окольными путями через эти консоли и наклонные стойки на фундаменты. Абсурдность такого неестественного рас-



4

пределения усилий становится очевидной из эшюры моментов (рис. 69.3).

Рассматриваемая конструктивная система ничего общего не имеет с подлинной рамой. Максимальные напряжения концентрируются в консоли, размеры которой занижены, в то время как размеры мощных стоек чрезмерно завышены. «Ригель» рамы на деле не выполняет функций подлинного ригеля.

Поддельные конструкции рам с применением V-образных стоек встречаются не только в больших уникальных сооружениях. Их применяют также для решения малых форм в массо-

вом строительстве. В этих случаях очень часто наблюдается чисто формалистическое применение V-образной стойки.

Ниже рассмотрены некоторые типичные примеры, имеющие довольно большое распространение. Выше была доказана необходимость жесткого соединения стоек с ригелем рамы. Это является основным условием, диктуемым статикой рамы и V-образной формой стойки. Однако если ригель рамы не обладает жесткостью, которая приблизительно соответствует жесткости стоек, или вообще сконструирован не как ригель (рис. 70.1), тогда ни при каких условиях

Рис. 68. Высотный дом на конструктивно не оправданных V-образных стойках

1. Пустоты в ригеле свидетельствуют о том, что здесь нет рамной конструкции
2. Момент от ветровой нагрузки воспринимается лестничной клеткой и шахтой лифта

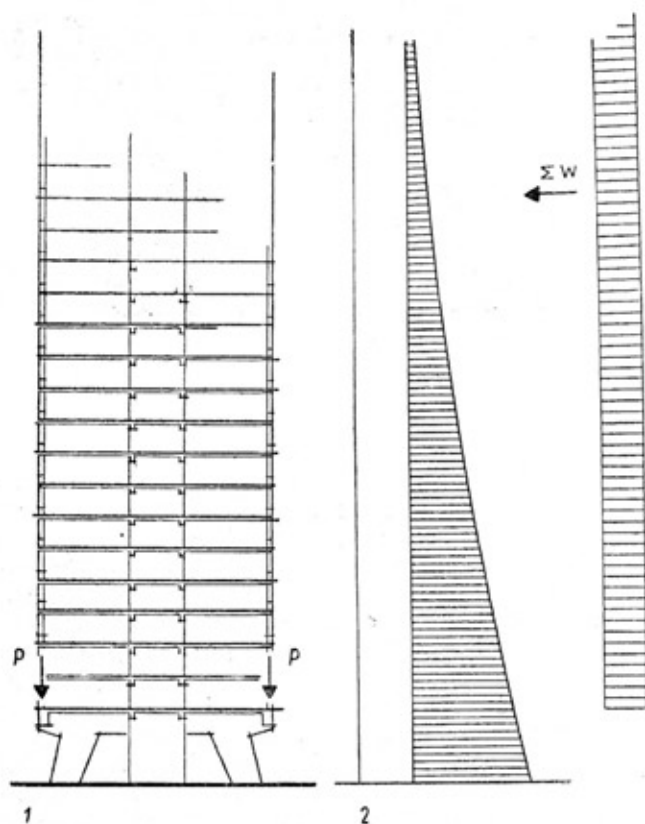
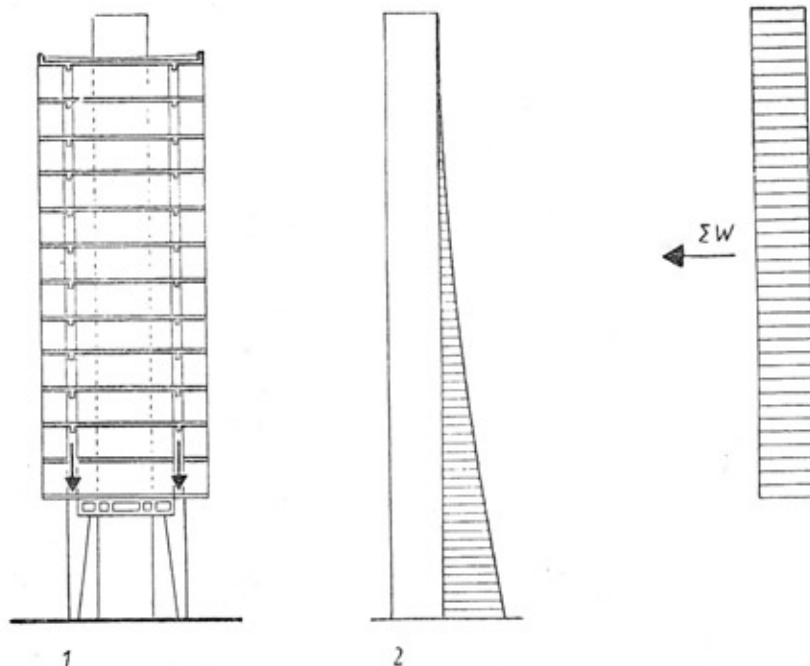


Рис. 69. Высотный дом на раме, которая якобы воспринимает ветровую нагрузку

1. Вертикальные силы не передаются на узлы рамы, как можно было бы предположить по наклонному положению стоек рамы. Они воспринимаются концами консолей и стволом шахты
2. Моменты от горизонтальной ветровой нагрузки воспринимаются шахтой лифта
3. Эпюры моментов и конструктивная схема показывают, что формы рамы и V-образных стоек конструктивно неоправданы

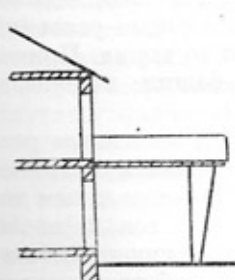
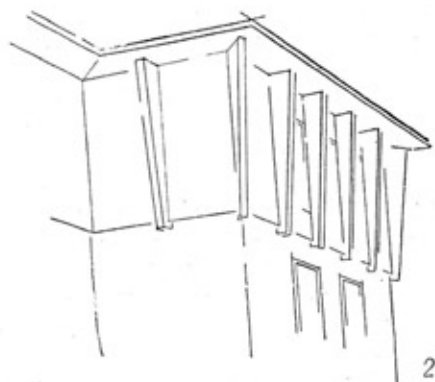
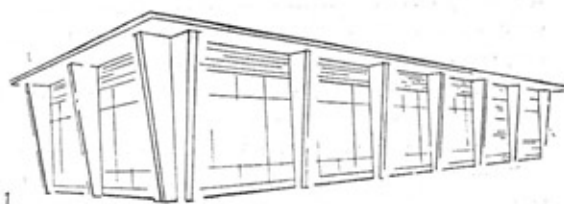
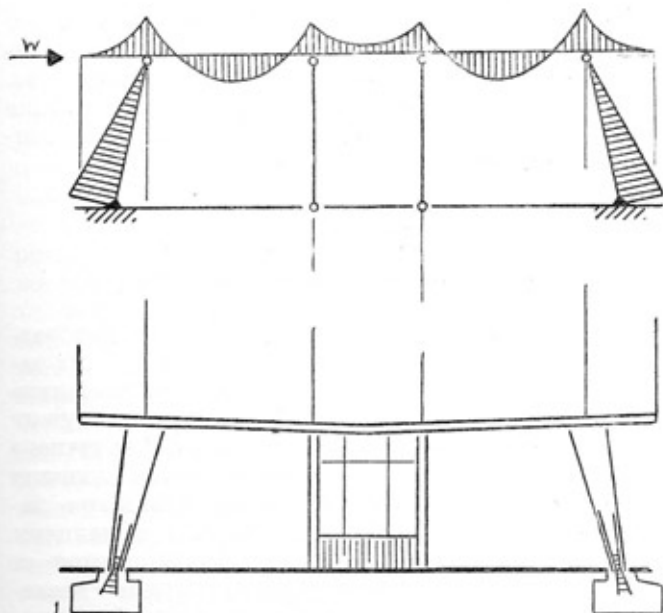


Рис. 70. Фальшивые V-образные стойки

1. Тонкая плита покрытия не может быть жестко сопряжена со стойками, имеющими V-образную форму. Стойки жестко защемлены в опоре, их форма не соответствует назначению.
2. V-образная стойка, нагруженная тонкой балконной плитой, является конструктивной бессмыслицей.

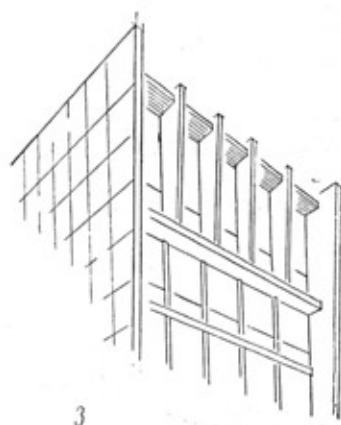
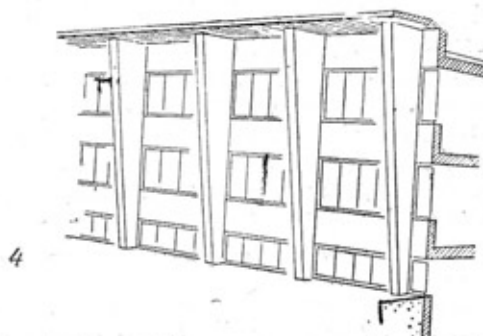


Рис. 71. V-образные опоры в качестве украшения фасада

1. При настоящей рамной конструкции V-образные стойки потребовались бы только с двух сторон здания, а не со всех четырех сторон, как показано на рисунке.
2. V-образные стойки на углах здания свидетельствуют о якобы установленной диагональной раме, что было бы бессмыслицей при наличии рамных конструкций, перпендикулярных наружным стенам.
3. V-образная стойка, как выражение ложной монументальности.
4. Пример излишества в архитектуре, V-образные стойки здесь не к месту.



не получится рамной конструкции, даже если стойка имеет V-образную форму, V-образная форма стойки свидетельствует о наличии рамы и шарнирных опор. Однако это впечатление здесь обманчиво. Стойка жестко закреплена в фундаменте, благодаря чему обеспечивается устойчивость конструкции. Тонкая плита покрытия не в состоянии выполнять функции ригеля рамы. Форма и конструкция находятся в противоречии друг с другом.

Столь же фальшивой является форма V-образных стоек, поддерживающих балкон (на рис. 70.2). Жесткость конструкции обеспечена заделыванием плиты балкона в стене. Между стойкой и балконной плитой нет узлового соединения, требуемого для рамной конструкции, так как плита слишком тонка, чтобы воспринять изгибающие усилия от значительно более жесткой стойки. В тонкой плите нельзя даже уложить толстое арматурное железо необходимого сечения. V-образная стойка в данном случае лишена конструктивного смысла.

В тектоническом отношении она является фальшивой и должна расцениваться только лишь как заблуждение.

Показанное на рис. 71.1 здание зала имеет V-образные опоры, которые выглядят как стойки рамы. Однако сомнительно, чтобы они на самом деле были бы стойками, так как подлинная рамная конструкция должна была бы перекрывать зал в одном направлении, а именно — в более коротком. В таком случае опоры могли бы быть установлены только на длинной стороне здания. Короткие стороны здания могли бы быть без опор. V-образные опоры вокруг всего здания свидетельствуют лишь о формалистическом решении. Архитектор не разобрался в истинном смысле рамной конструкции, использовал V-образные стойки в качестве декоративного элемента и распределил их равномерно по всем фасадам.

В практике встречаются также V-образные угловые опоры, имеющие чисто декоративный характер (рис. 71.2). Абсурдность установки такой угловой опоры ясна, поскольку помещение не может быть перекрыто по диагонали рамой со стойками, поставленными под углом к стене. V-образная стойка, поставленная по диагонали на углу здания, является украшательством, характерным для конструктивизма.

На рис. 71.3 показана скошенная торцовая стена, проходящая по всем этажам здания. Она является результатом неправильно понятых функций V-образных стоек и в данном случае служит образцом фальшивой монументальности.

Скромное двухэтажное здание, показанное на рис. 71.4, не делается более внушительным

от того, что по его фасаду установлены V-образные опоры. Абсурдность этого конструктивистского приема особенно ясно видна на разрезе. Широкие верхние концы опор выступают выше верхнего уровня покрытия и несут только тонкий карниз.

V-образная отдельно стоящая опора

В предыдущем разделе речь шла о V-образных опорах, форма которых определяется их работой в качестве стоек рамы. Эпюра моментов стоек рамы с шарнирным опиранием служит объяснением их V-образной формы и точечного опирания. Однако свободно стоящая колонна может быть устойчивой только благодаря заделыванию ее у основания. Лишь при наличии массивной подземной части обеспечивается ее устойчивость. Боковые усилия, например давящие ветра, создают напряжения изгиба, которые у основания достигают наибольшей величины. Наиболее простым методом приспособления свободно стоящей колонны к этим условиям является утолщение ее нижнего конца. Примером могут служить мачты, башни, пилоны и фабричные трубы (рис. 72).

У растущего дерева природа полностью разрешила эту «конструктивную проблему». Инженер старается ей подражать. Замечательным достижением в данной области является Эйфелева башня или Штуттгартская телевизионная башня. Сравнивая их формы с эпюрой изгибающих напряжений, вызываемых ветром, мы уясняем себе закон, породивший эту форму. В высотном доме Пирелли в Милане вся внутренняя структура подчинена той же идее. Об этом говорит и разрез здания. Следовательно, в таких случаях целесообразно применять V-образную опору, установленную не острием вниз, а на широком основании, заделанную прочно в грунте. Нельзя не признать некоторого сходства этой V-образной формы с формой контрфорса (см. рис. 52—54).

На этом можно было бы закончить разговор о простой стойке, если бы не было много примеров, находящихся в резком противоречии с закономерностью ее формообразования. Навесы на перронах железнодорожных станций и у бензоколонок часто опираются на V-образные стойки, установленные острием вниз, несмотря на то, что они представляют собой простые стойки. Несколько простых опор, поставленных в ряд, — это еще не рамная конструкция. На рис. 73.1 показано, что такого рода опоры в плоскости, образуемой сторонами угла V, не работают как рамная система, а являются свободно

стоящими простыми опорами. Даже тогда, когда опоры связаны друг с другом рамообразной конструкцией в продольном направлении навеса, это не придает опорам устойчивости в плоскости, поперечной к длинной стороне навеса. В этой плоскости устойчивость может быть обеспечена только путем заземления ее нижнего конца.

V-образные опоры, показанные на рис. 73.2—73.3, являются простыми опорами, которые не устойчивы, если их пята укреплена шарнирно. Если конструкция фактически не опрокидывается, то это происходит только от того, что предполагаемые шарниры не являются шарнирами. Наоборот, нижние более слабые сечения опор напряжены в максимальной степени. На практике необходимая жесткость и устойчивость конструкции в этих местах обеспечивается путем укладки дополнительной арматуры при железобетонных конструкциях или специального усиления профильным железом, если конструкция стальная.

Однако в этих примерах внешняя форма противоречит несущей функции конструкции. Она не является подлинно тектонической формой. Об этом свидетельствует ряд конструкций, показанных на рис. 74. Двух- и трехшарнирные рамы обычного типа являются устойчивыми. Две двухконсольные стойки благодаря шарнирному соединению становятся трехшарнирной рамой. Если же применяется одна консольная стойка, то она нуждается в дополнительном опирании. Качающаяся опора придает навесу устойчивость, так как она совместно со стойкой образует полураму. Анкеровка при помощи тяжелой на задней стороне консольной стойки может заменить качающуюся опору. Но если нет никакой опоры, то консольная конструкция с шарнирно укрепленной пятой опрокинется. Даже наличие ряда простых опор, на которые опирается длинное покрытие навеса, ничего не меняет в отношении неустойчивости этой конструкции (рис. 75.1). Только тогда вся конструкция вновь становится устойчивой, когда покрытие в виде горизонтальной жесткой плиты так прикреплено к торцовым устойчивым стенам или другой жесткой конструкции, что любое горизонтальное движение исключено. В этом случае речь идет уже не о единичной опоре, жесткость которой определяется только ей одной присущими свой-

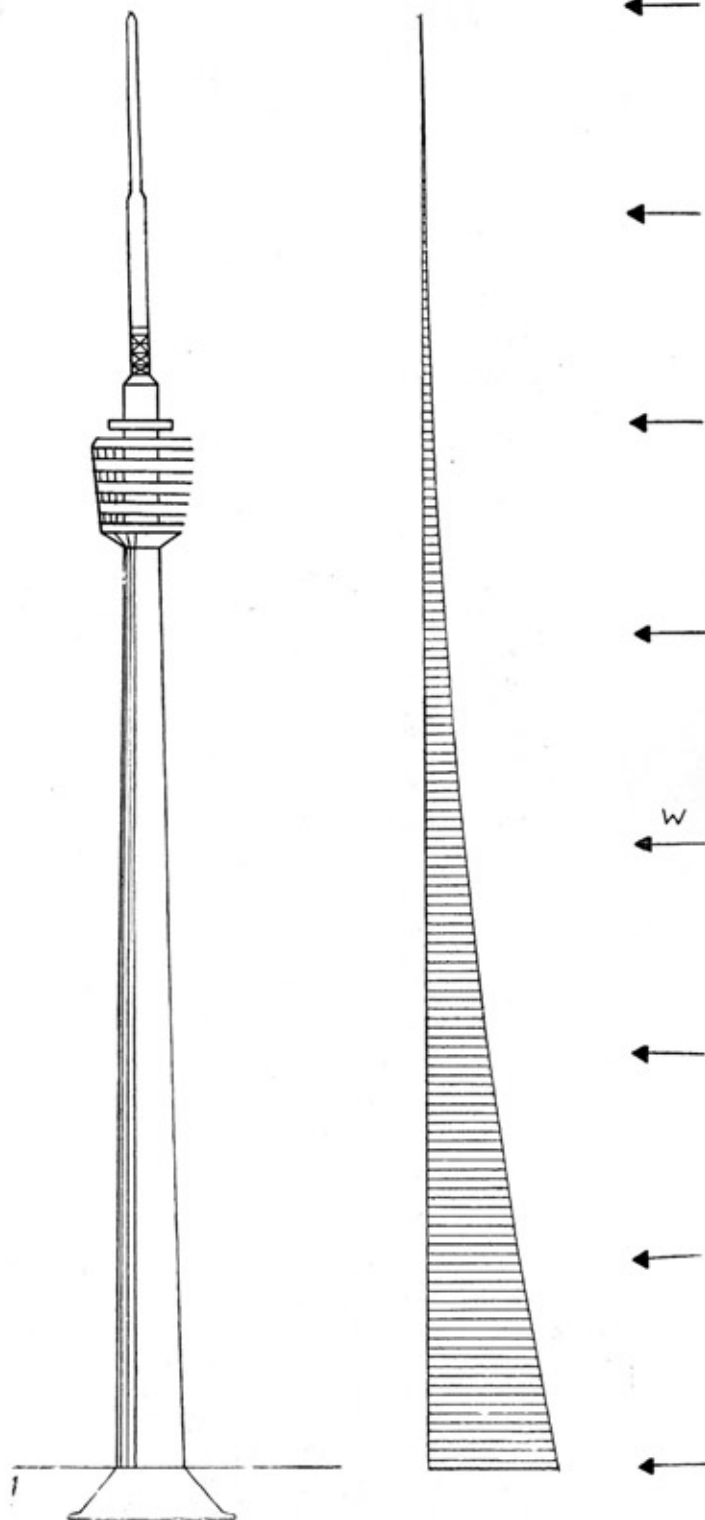


Рис. 72. Для отдельной свободно стоящей колонны наиболее подходящей формой является конус (перевернутая буква V). Колонна опирается на уширенное основание, которое заземлено в грунте

1. Телевизионная башня в Штуттгарте

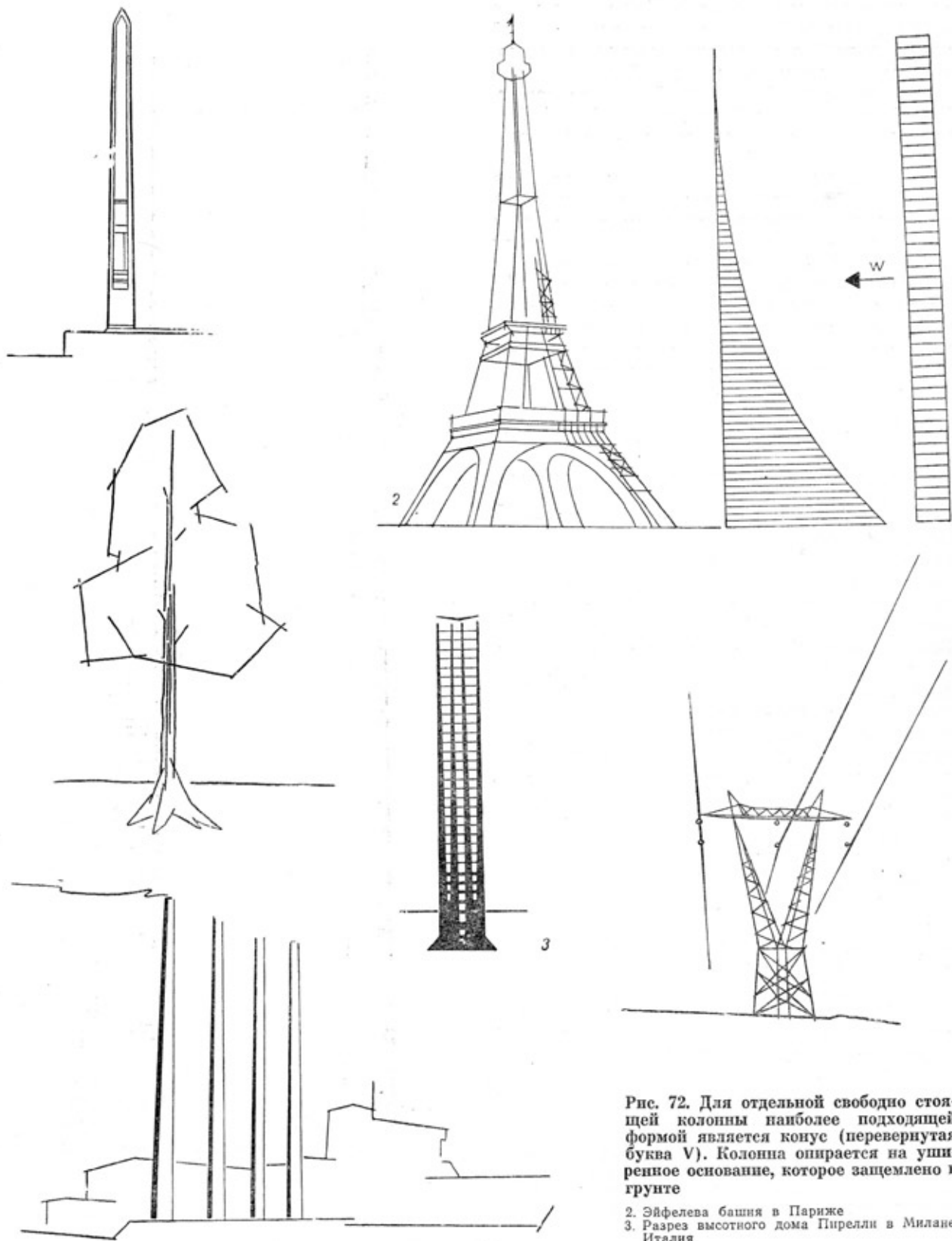


Рис. 72. Для отдельной свободно стоящей колонны наиболее подходящей формой является конус (перевернутая буква V). Колонна опирается на уширенное основание, которое заземлено в грунте

2. Эйфелева башня в Париже
3. Разрез высотного дома Пирелли в Милане, Италия

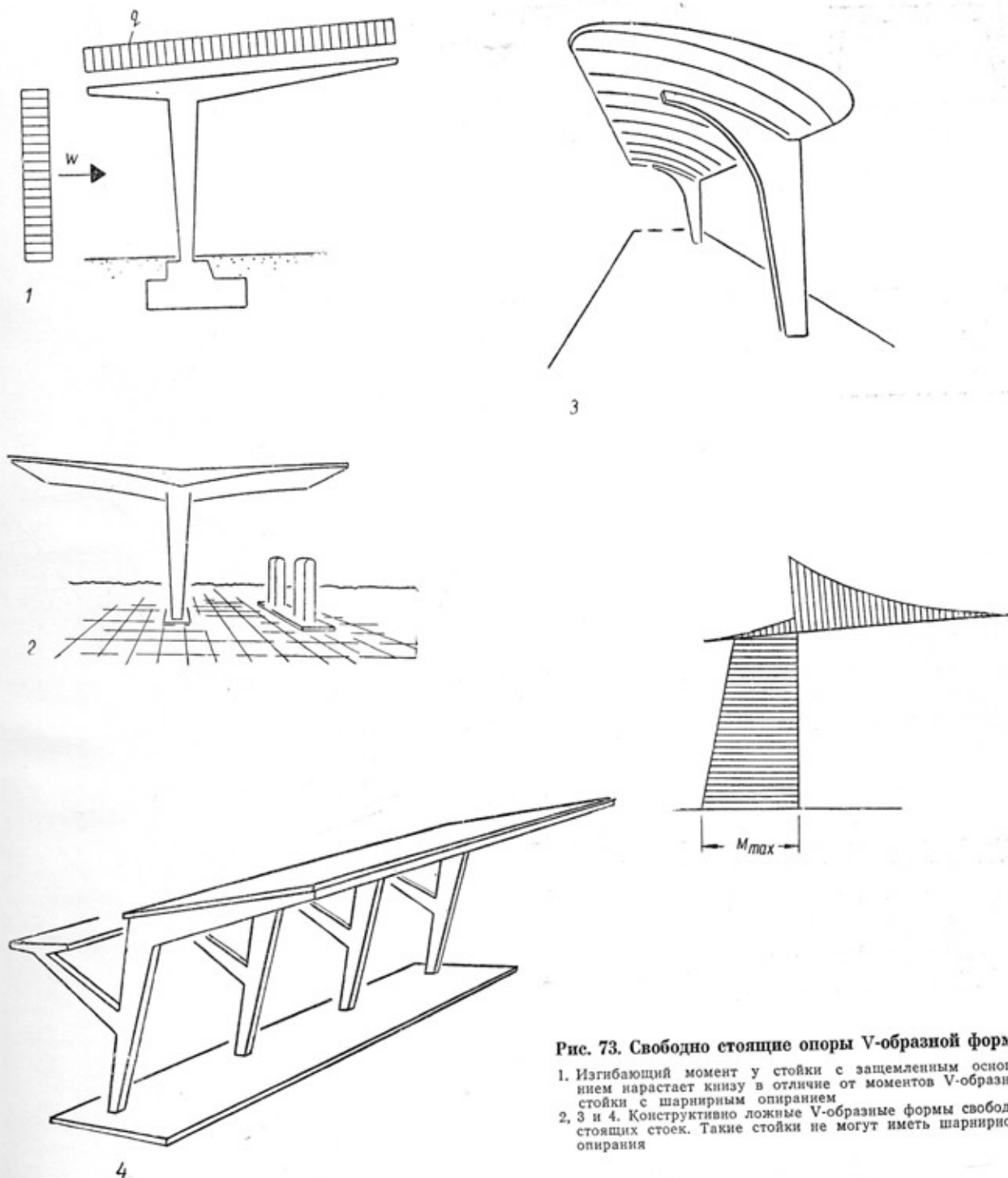


Рис. 73. Свободно стоящие опоры V-образной формы

1. Изгибающий момент у стойки с защемленным основанием нарастает книзу в отличие от моментов V-образной стойки с шарнирным опиранием
- 2, 3 и 4. Конструктивно ложные V-образные формы свободно стоящих стоек. Такие стойки не могут иметь шарнирного опирания

ствами; здесь стойка, скорее всего, становится составной частью большой пространственной системы, в которой шарнирное опирание стоек и их сужающаяся книзу V-образная форма вновь получают свое оправдание. Без крепления торцов покрытия к элементам, придающим жест-

кость конструкции, устойчивость последней зависит только от защемления стойки у основания и от ее сечения в этом месте.

Возникает вопрос: целесообразно ли придавать стойке, подвергающейся большим напряжениям у основания, форму, присущую стой-

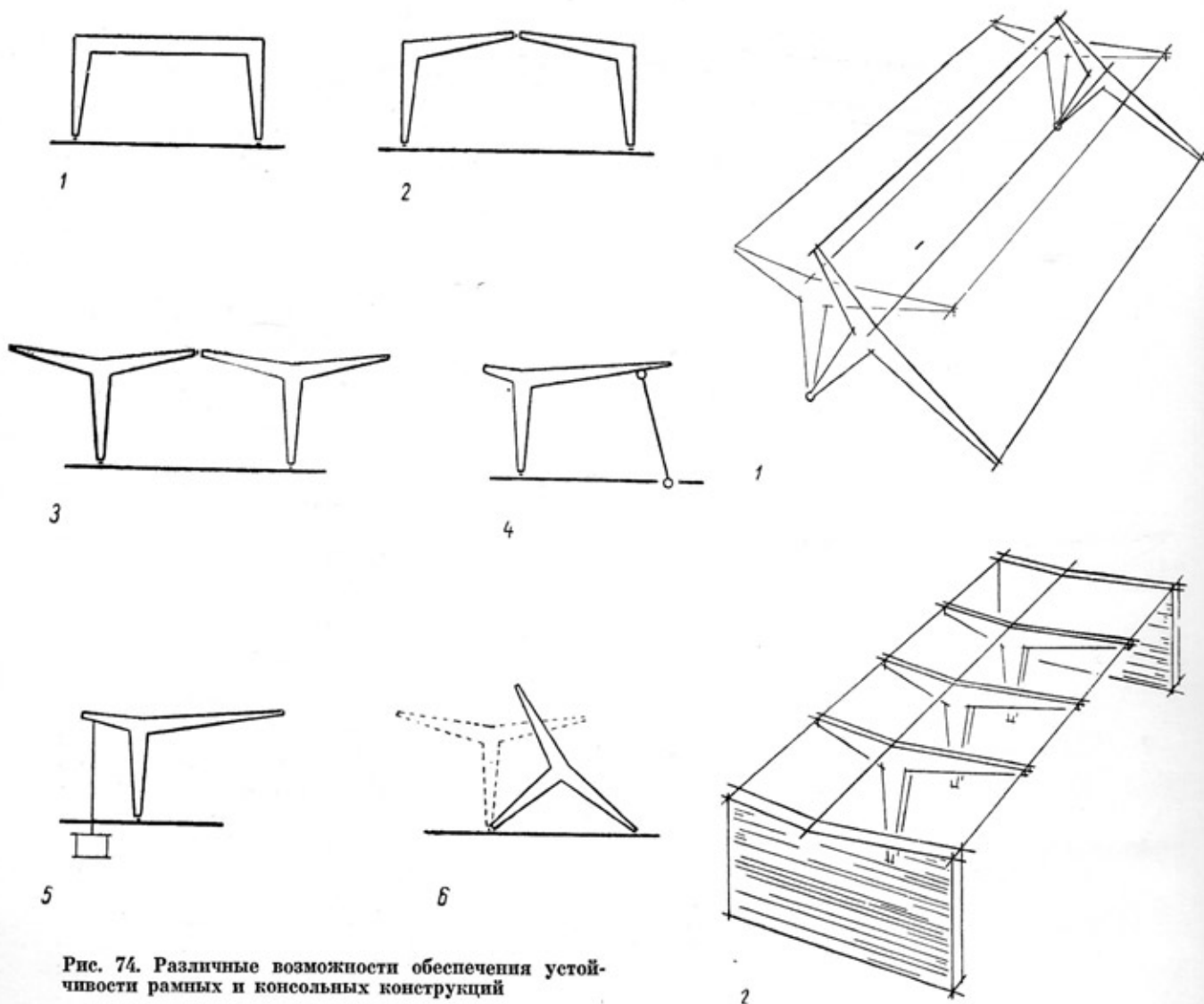
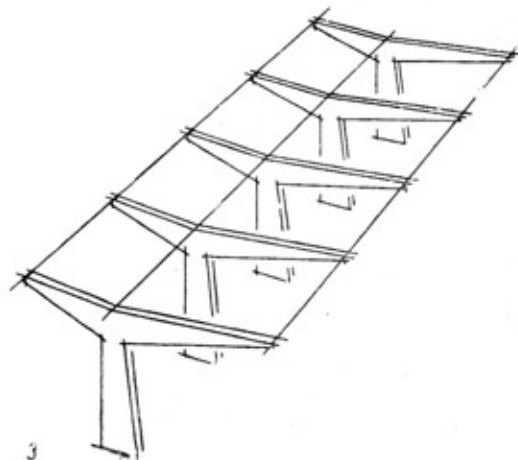


Рис. 74. Различные возможности обеспечения устойчивости рамных и консольных конструкций

- 1 и 2. Двух- и трехшарнирные рамы всегда являются устойчивыми
3. Две двухконсольные стойки придают друг другу устойчивость благодаря соединению их при помощи шарнира
4. Консольная стойка нуждается в подпорке
5. То же, в оттяжке
6. Отдельно стоящая двухконсольная стойка опрокинется при наличии шарнира у пяты стойки

Рис. 75. Двухсторонний навес, опирающийся на ряд стоек, шарнирно соединенных с основанием

1. Без дополнительных мер для придания устойчивости стойки навеса опрокидываются подобно отдельно стоящей стойке
2. Конструкция становится устойчивой, если сплошная плита покрытия соединена с жесткими торцовыми стенами или
3. если вместо шарнирных опоры предусматривается жесткое заземление стоек в фундаменте



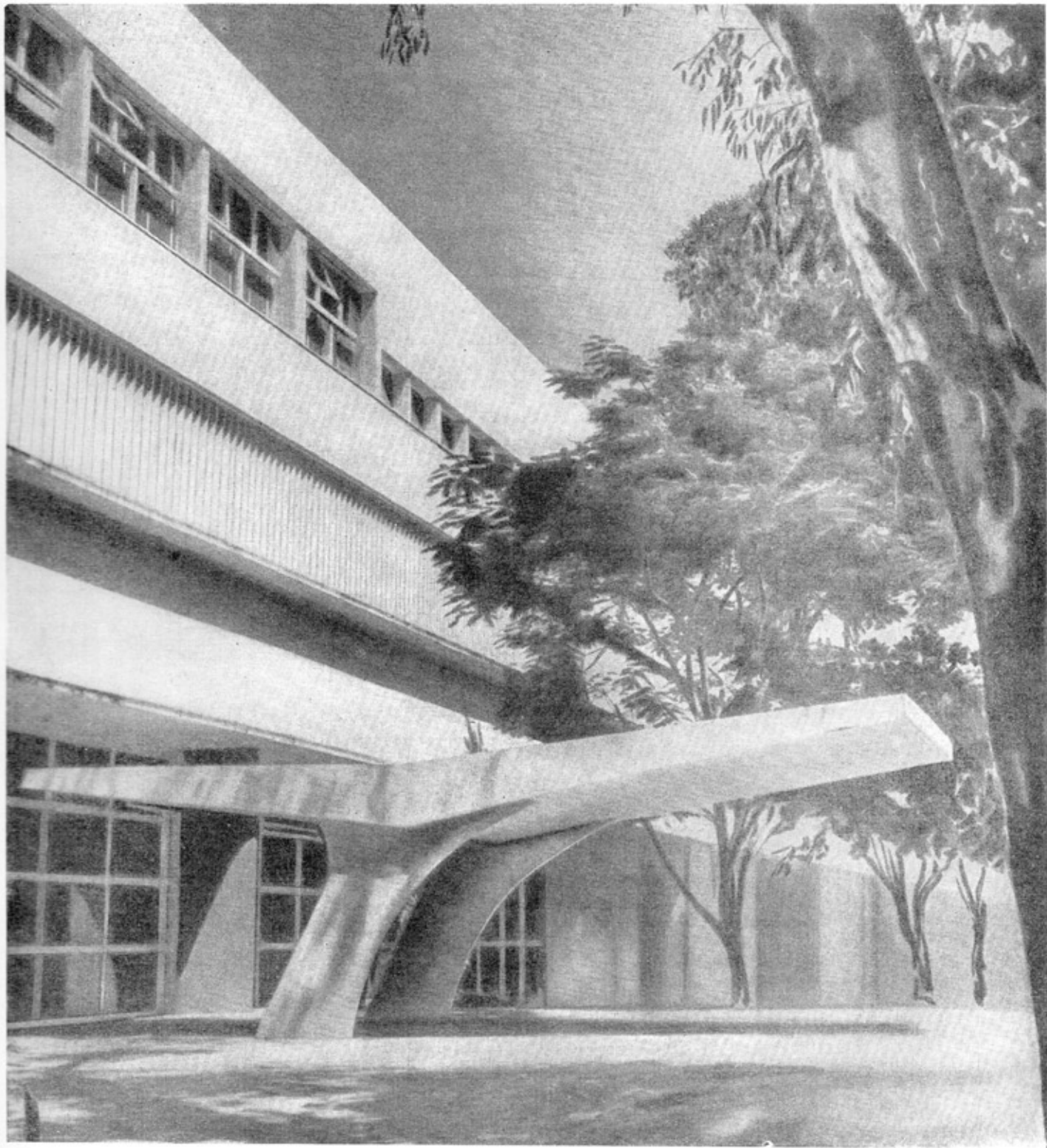


Фото 7. Козырек перед школьным зданием в Катагуазес, Бразилия. Арх. Оскар Нимейер

кам с шарнирной опорой? Почему так редко применяются решения, показанные на рис. 75.3, которые действительно соответствуют характеру усилий, действующих в стойках? Может быть потому, что их форма в своей тектонической ясности слишком проста и недостаточно эффективна?

Типичные современные навесы бензозаправочных станций с двухконсольными V-образными опорами производят впечатление явно неустойчивых конструкций; с точки зрения тектоники они решены неправильно. Однако многим нравятся именно такие опоры. Какое значение в таком случае имеют наставления о тектонике или о других поучительных вещах? Всякому, кто занимается вопросами тектонической связи архитектуры и конструкции, знакомы возражения этого рода. Спорить в этих случаях трудно. Законы тектоники не могут никому запретить делать то, что ему «нравится», и наоборот, нетектоническая форма, даже если она очень многим «нравится», никак не может поколебать законов тектоники.

Но нельзя подходить с одной меркой к разным объектам. Что является допустимым для покрытия бензозаправочных станций — не подходит для здания. В зданиях недопустимо применение простой опоры, установленной острым концом вниз. Попробуем, например, весь объем одноэтажного здания, показанного на рис. 76, установить на консольную стоечную конструкцию; сразу становится ясной вся конструктивная схема сужающейся книзу V-образной стойки. Проверим в данном случае, насколько функционально обусловлена и целесообразна установка всего здания на ряд отдельно стоящих стоек. Рассмотрим только конструкцию нижней части здания, сходной с двухконсольным навесом. Сужение стойки книзу указывает на наличие шарнирной опоры. Но в этом случае устойчивость сооружения была бы очень сомнительной. Пята опоры не может быть шарнирной. Опора должна быть жестко заделана в фундамент. Эпюра изгибающих моментов показывает, что в опоре возникает максимальный момент. Сечение 1—1 в пяте опоры напряжено до предела. Здесь опора сильно армирована. Напряжение в верхнем сечении 2—2 является несколько меньшим. V-образное уширение стойки кверху служит не для восприятия большего напряжения в этом месте, а лишь для того, что-

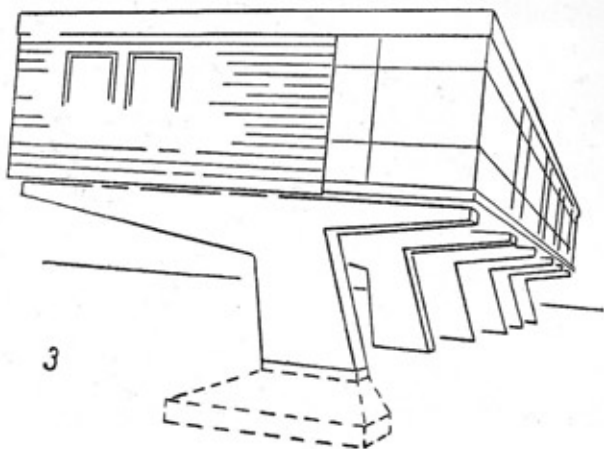
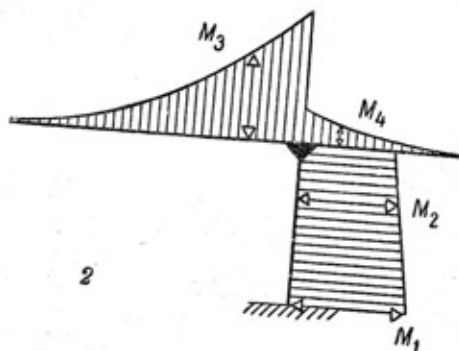
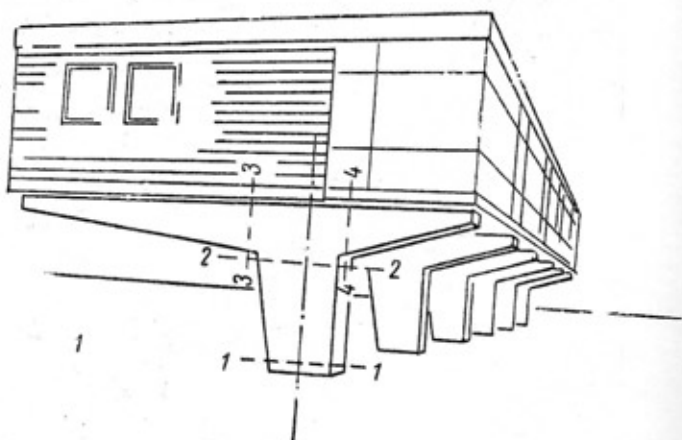


Рис. 76. Здание на отдельно стоящих опорах

1. Здание кажется неустойчивым
2. Эпюра моментов показывает, что максимальное напряжение имеет место у соединения опоры с основанием
3. Форма соответствует распределению внутренних усилий

бы уменьшить длину свободной консоли. Чем шире стойка в вершине, тем короче консоль и тем меньше краевой момент $3-3!$ Эта разгрузка консоли является весьма важной для сечения $3-3$, так как и оно предельно напряжено. Этим, собственно, и оправдывается уширение стойки кверху. По сравнению с сечением $1-1$ и $3-3$ сечения $2-2$ и $4-4$ при данной форме напряжены слабо.

Их размеры явно завышены. Если полностью использовать несущую способность материала в этих сечениях, т. е. действовать по законам природы, являющейся самым бережливым строителем, то картина получается совершенно иной (рис. 76.3) Здесь уже всякое ложное впечатление о наличии шарнирной опоры исключено. Все размеры отдельных сечений соответствуют внутреннему распределению усилий. Внешний облик сооружения в целом приобретает динамичность и вместе с тем создает впечатление устойчивости. В этом и выражается тектоничность решения здания (фото 7). Итак, отказ от V-образной сужающейся книзу стойки, применение которой в данном случае абсурдно, не умаляет эстетического и архитектурного достоинства этого сооружения.

Несимметричная V-образная опора для эксцентричных нагрузок

В городских зданиях нависание выпележащих этажей над первым этажом имеет свое функциональное оправдание. Первый этаж, свободно просматриваемый с улицы благодаря наличию больших витрин, служит для непосредственной связи между внутренними помещениями здания и улицей. В этажах, расположенных выше, находятся помещения, которые должны быть изолированы от улицы. Поэтому во многих случаях желательно сместить их по отношению к первому этажу.

Смещение наружных стен этажей по отношению друг к другу не является новой идеей. С ней мы сталкиваемся в средневековых фахверковых зданиях, построенных народными мастерами, которым были присущи логическое конструктивное мышление и правильная компоновка архитектурных деталей с конструкцией (рис. 77). В современном каркасном строительстве подобная тектоническая связь встречается редко.

Деревянные балки, рассчитанные на максимальное напряжение в пределах перекрытия, в состоянии воспринять на консоль нагрузку смещенной наружу стены выпележащего этажа

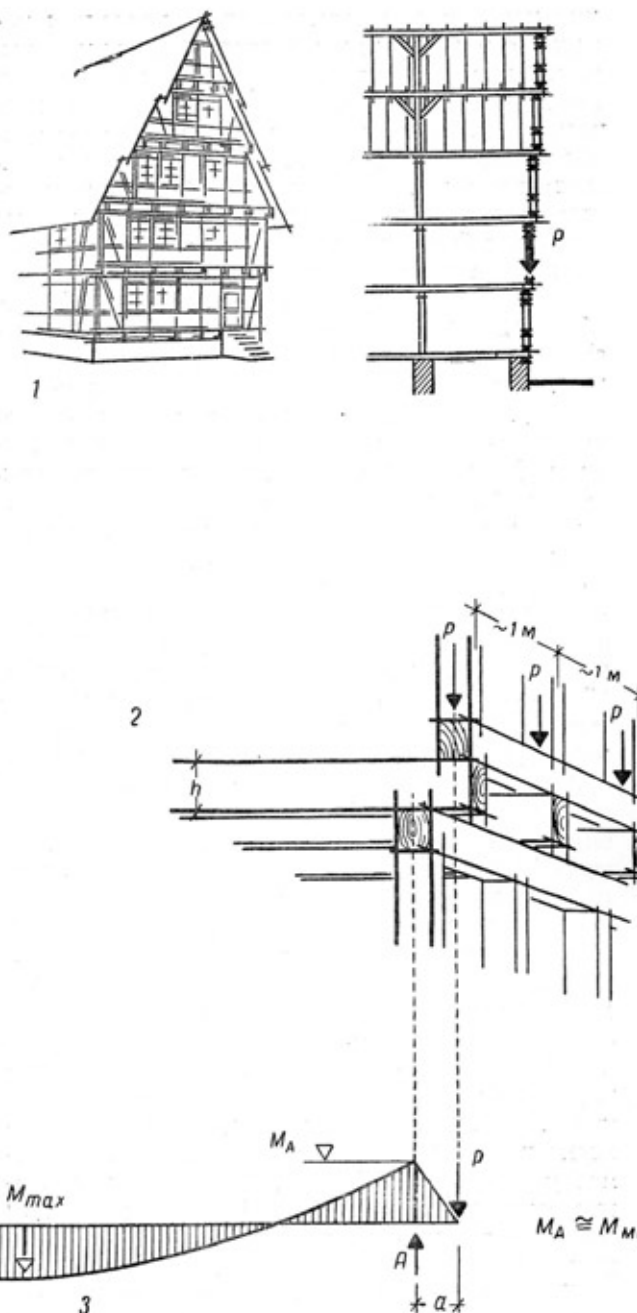


Рис. 77. Нависающие друг над другом этажи в старых деревянных зданиях

1. Общий вид и разрез
2. Концы балок нагружены почти равномерно
3. Изгибающий момент в середине балочного перекрытия почти такой же, как у выступающего конца перекрытия. Несущая способность перекрытия хорошо используется

при условии, что размер выноса консоли a находится в допустимых пределах. В старых зданиях он в большинстве случаев меньше, чем высота балки h (рис. 77.2—77.3). Это полностью соответствует несущей способности консольной балки, воспринимающей нагрузки нескольких вышележащих этажей. Балки перекрытия и стойки наружной стены установлены часто с небольшим расстоянием между ними. Если оси стоек не совпадают с осями балок, на которые они опираются, то нижняя обвязка обеспечивает равномерное распределение нагрузки. Выступающее в виде консоли балочное перекрытие нагружено почти везде равномерно.

В железобетонных каркасных зданиях допускается большее расстояние между колоннами. Нагрузка отдельных колонн возрастает в линейной зависимости от расстояния между ними. Она не распределяется равномерно по переднему краю перекрытия, а сосредоточивается на узких отрезках в зоне основания колонны. При деревянном каркасе стойки наружной стены равномерно нагружали передний край деревянного балочного перекрытия через нижнюю обвязку. В отличие от этого современное нависающее железобетонное перекрытие подвергается действию относительно больших усилий, вызываемых сосредоточенной нагрузкой, точки приложения которой отстоят друг от друга на определенном расстоянии (рис. 78). Несущая способность такого консольного перекрытия, находящегося под воздействием сосредоточенных нагрузок, ограничена. Она не может быть произвольно повышена путем усиления армирования. С увеличением выноса, расстояния между колоннами и числа этажей повышается напряжение в нависающем перекрытии. При нормальном размере h перекрытие не может выдержать нагрузки нескольких нависающих этажей. При данной конструктивной схеме происходит не смещение наружной стены, наблюдаемое у деревянных фахверковых зданий и других каркасных конструкций с очень частым шагом наружных колонн, а смещение отдельных колонн по отношению друг к другу.

В результате сделанного анализа мы приходим к выводу, что имеем дело с новым типом V-образной опоры (рис. 79). Ее следует применять там, где верхние этажи сдвинуты по отношению к первому этажу и где нормальное сплошное перекрытие не в состоянии выдержать приходящейся на консоль сосредоточенной нагрузки колонн верхнего этажа, расставленных на значительном расстоянии друг от друга. Для равновесия таких V-образных опор требуется закрепление их верхней части. Смещение верхнего этажа вызывает опрокидывающий момент, имеющий направление от здания.

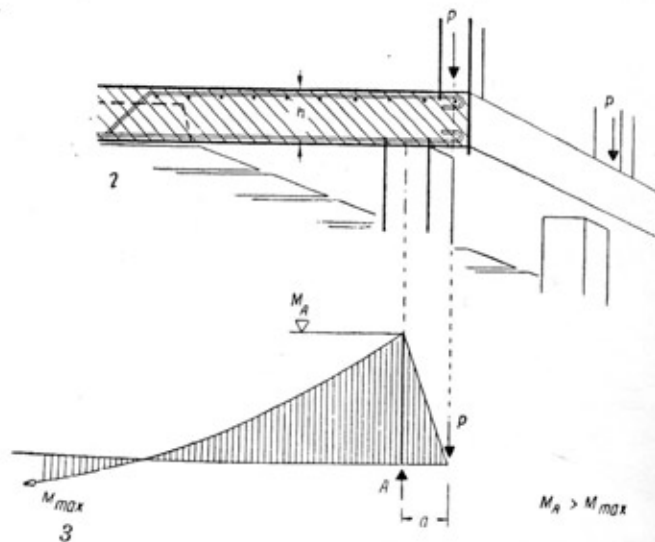
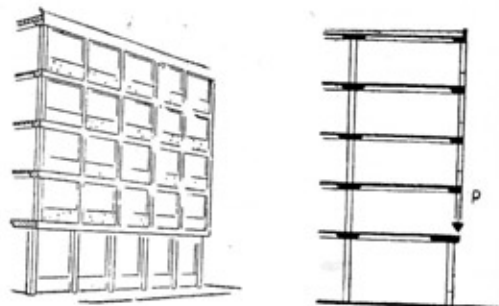


Рис. 78. Нависание этажей в железобетонном здании

1. Вид и разрез
2. Выступающее перекрытие неравномерно нагружается большой сосредоточенной нагрузкой
3. Изгиб консоли перекрытия значительно больше, чем изгиб в пролете. В некоторых точках он значительно превосходит допустимую величину

Ему должен противодействовать равный, но противоположного направления уравновешивающий момент. Верх стойки обычно крепится к плите междуэтажного перекрытия при помощи анкера, который в свою очередь должен противостоять боковому сдвигу.

V-образные смещенные по оси опоры часто применяют в многоэтажных зданиях, где их использование вполне соответствует назначению. Однако архитектурная форма V-образной смещенной опоры часто используется без достаточного понимания ее конструктивной сущности.

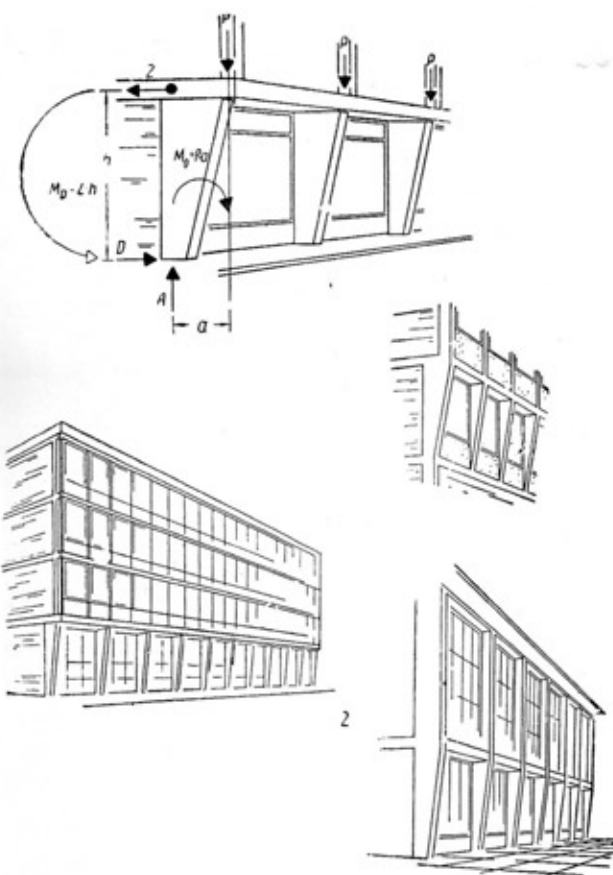


Рис. 79. Несимметричные V-образные колонны для эксцентричной нагрузки

1. Эксцентричная нагрузка создает опрокидывающий момент, который уравнивается оттяжкой в сторону плиты перекрытия
2. Примеры из практики

На рис. 80.1 показано здание, у которого в первом этаже приставлены V-образные опоры. Они производят впечатление смещенных по оси опор. Однако разрез здания показывает, что несущие наружные колонны верхних этажей не смещены по отношению к первому этажу. Их вес передается на заднюю сторону V-образных опор, а передняя часть опоры остается ненагруженной. Последняя упирается в междуэтажное перекрытие, выступающее в виде козырька. Этот козырек вместе с ребрами на торцах здания и плитой карниза образует чисто декоративную «раму», ничего общего не имеющую с инженерным понятием о раме. Такая рама напоминает раму картины; тем самым обнаруживается нетектоничность данной формы.

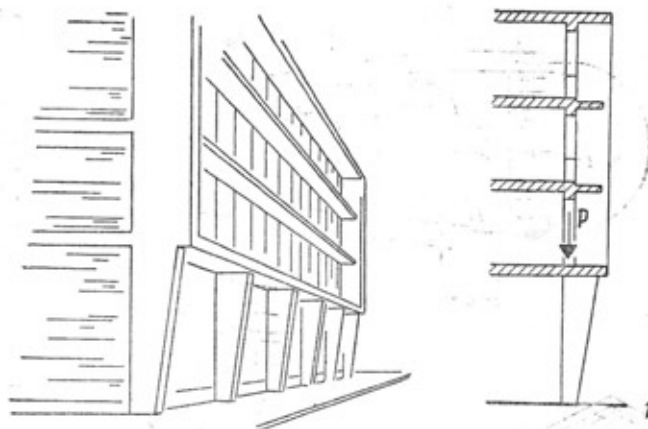
При сплошной застройке улицы ложная V-образная опора воспринимается только фронтально. Еще более заметна ложность формы, если смотреть на дом с угла, как показано на рис. 80.2. V-образные опоры в данном случае не поддерживают нависающих этажей. Вид с угла показывает отсутствие всякой логики в применении этой формы. Неприятное чувство, вызываемое видом этого дома, может быть объяснено нетектоничностью его архитектуры.

На фасаде здания гаража (рис. 80.3) въезд подчеркнут двумя фланкирующими его V-образными пилонами. Они ничего не поддерживают. Тонкая плита карниза, в которую они упираются, является самонесущей консолью.

Такие же абсурдные формы показаны в зданиях на рис. 80.4 и 80.5. Данная конструкция не требовала жесткого соединения ложной V-образной колонны с перекрытием, так как перекрытие из предварительно напряженного бетона должно иметь некоторую подвижность в местах опирания. Это требование инженер-конструктор практически осуществил, предусматривая шарнирное опирание путем подрезки верхнего конца колонны. Архитектор, очевидно, согласился с этим, не заметив, что V-образная форма потеряла конструктивный смысл.

Если две смещенные V-образные опоры установлены друг против друга, то при вертикальной нагрузке они уравнивают друг друга. Ле Корбюзье применил это в высотных жилых домах в Нанте и Берлине (рис. 81 и фото 8). Оба жилых здания выше первого этажа построены по конструктивной схеме несущих поперечных стен. Все стены, отделяющие жилые ячейки, одновременно воспринимают нагрузки перекрытий. Возведение сплошных поперечных несущих стен в первом этаже перерезало бы все его пространство, которое по архитектурному замыслу должно быть свободным, и лишило бы его привлекательности. Учитывая, что с точки зрения статики в первом этаже нет нужды в сплошных стенах, Ле Корбюзье заменил их V-образными плоскими стойками. Последние установлены с уклоном попеременно то внутрь, то наружу. Тем самым достигнуто своего рода «облегчение» стен первого этажа. По каждой поперечной оси соблюдена симметрия: наклоненные наружу опорные элементы подтягивают друг друга, а наклоненные внутрь элементы подпирают друг друга (рис. 81.1). Боковое давление ветра воспринимается сообща всеми опорными элементами, как пространственно жесткой эстакадой. В данном случае чередование опорных элементов, наклоненных то наружу, то внутрь, оказывается с точки зрения статики преимуществом. Если бы они были наклонены в одном направлении, что допустимо при симмет-

ричной вертикальной нагрузке, то вся система при асимметричной нагрузке стала бы неустойчивой. Требуемая поперечная жесткость могла бы быть обеспечена только соединением обеих несущих стен, обладающих сопротивлением сдвигу, или путем жесткого защемления опор в фундаменте. Поэтому принятая конструкция, схематично показанная на рис. 81.2, значительно более проста и более устойчива. Она характеризуется треугольными связями, обладающими боковой жесткостью.



V-образная опора с консолью

В тех случаях, когда V-образная опора соединяется с консолью и превращается в новый конструктивный элемент, эффективность его, так же как и у рамной конструкции, зависит от жесткости узлов. Поэтому материалом для этого элемента может служить сталь или железобетон. Назначение такой V-образной опоры лучше всего поясняется серией эскизов на рис. 82. По мере увеличения выноса консоли возрастает опрокидывающий момент и одновременно наклон одной стороны V-образной опоры. Последняя может достигнуть таких пропорций, которые уже не приемлемы (рис. 82.2). Формы, показанные на рис. 82.3 и рис. 82.4, приемлемы, так как они органически вытекают из величины нагрузки и размера выноса консоли.

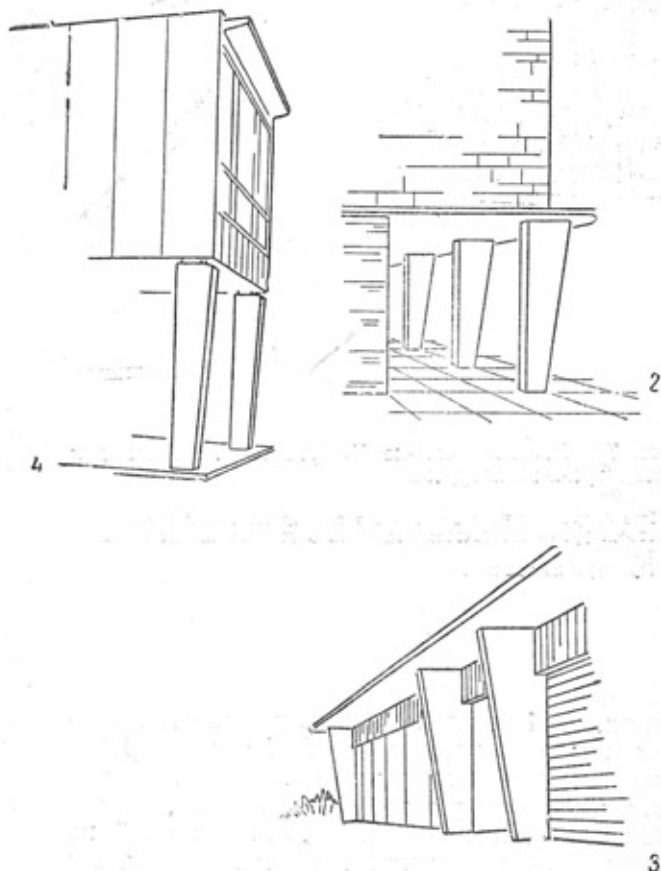
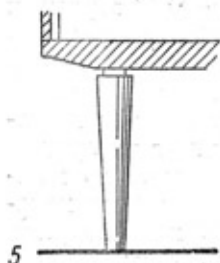


Рис. 80. Ложные V-образные несимметричные колонны

1. Нагрузка вышележащих этажей всецело приложена к задней части V-образной колонны, т. е. форма колонны конструктивно не оправдана
2. При виде с угла особенно бросается в глаза, что V-образная форма колонны является ложной, не тектоничной
3. Декоративная V-образная опора, не несущая нагрузки
- 4-5. Подрезка верхнего конца V-образных колонн противоречит сущности самой конструкции



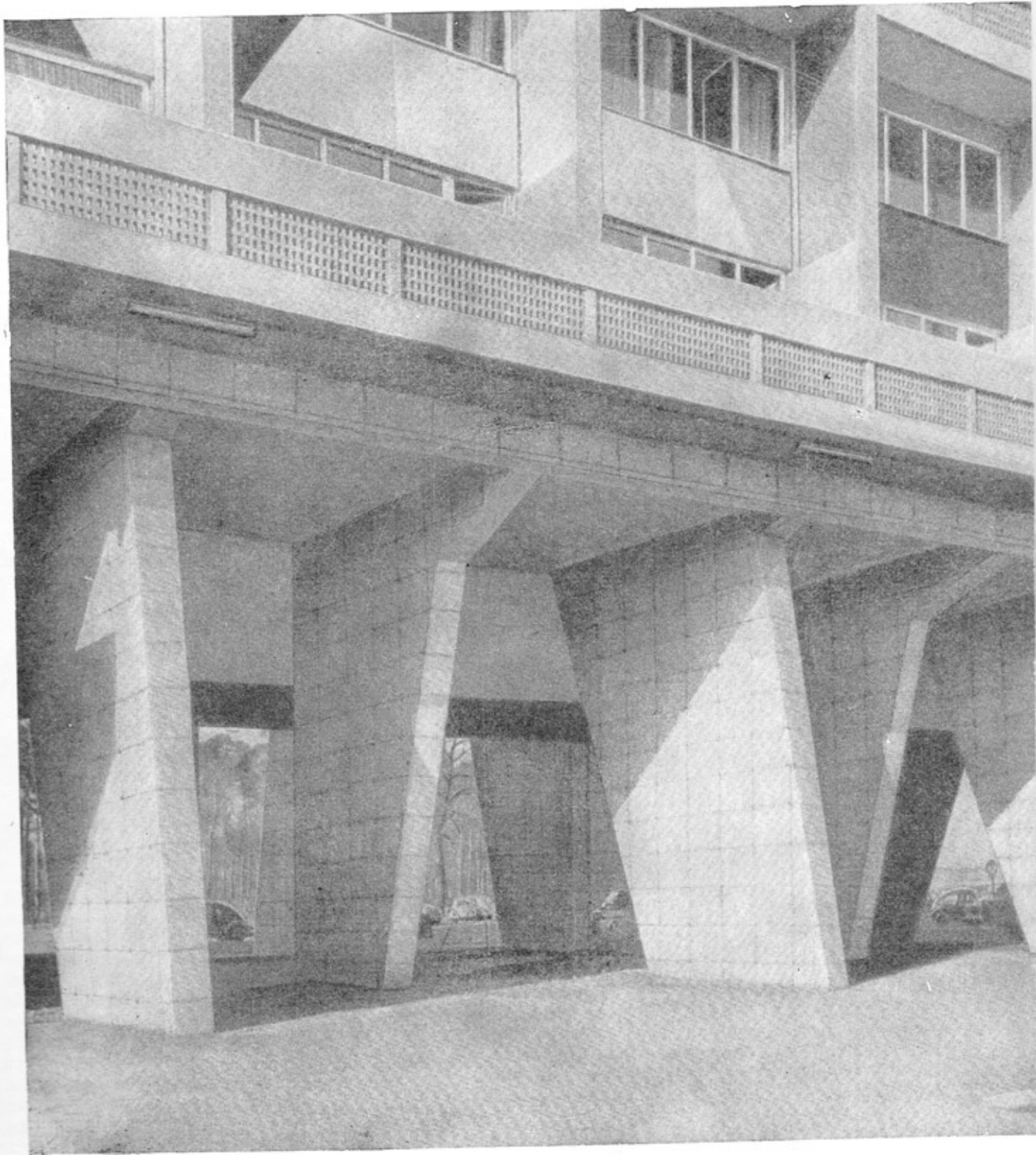


Фото 8. Высотный жилой дом в Западном Берлине. Система опор первого этажа. Арх. Ле Корбюзье

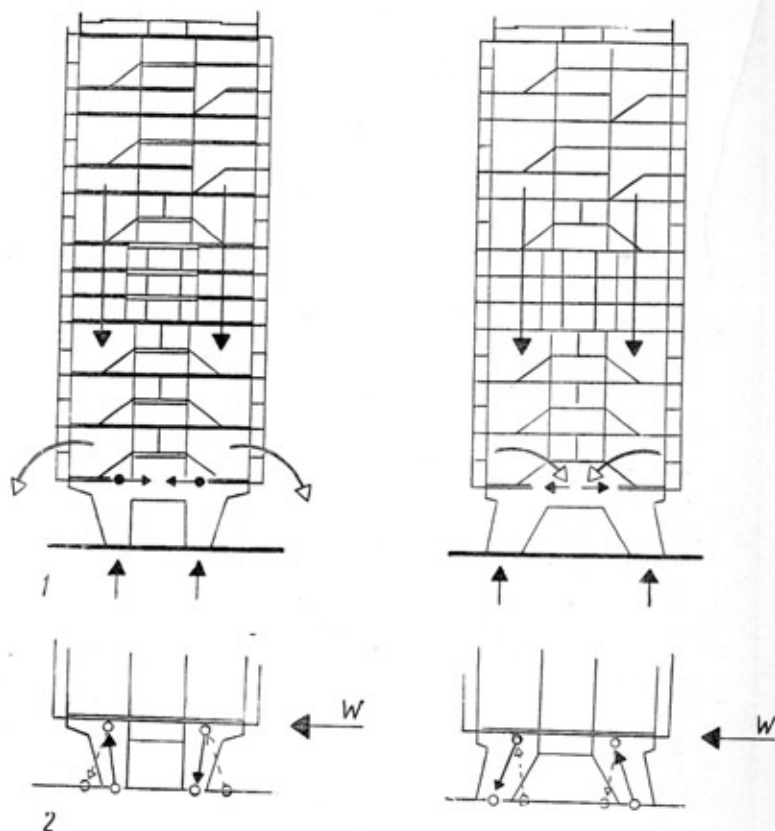


Рис. 81. Попарное расположение двух видов несимметричных опор в высотных домах арх. Ле Корбюзье

1. Наклоненные наружу опоры подтягивают, а наклоненные внутрь — подпирают друг друга
2. Пары опор, поочередно меняющие уклон, в сочетании с жестким перекрытием образуют пространственную систему треугольников, придающую зданию поперечную устойчивость
3. Перспективный вид здания

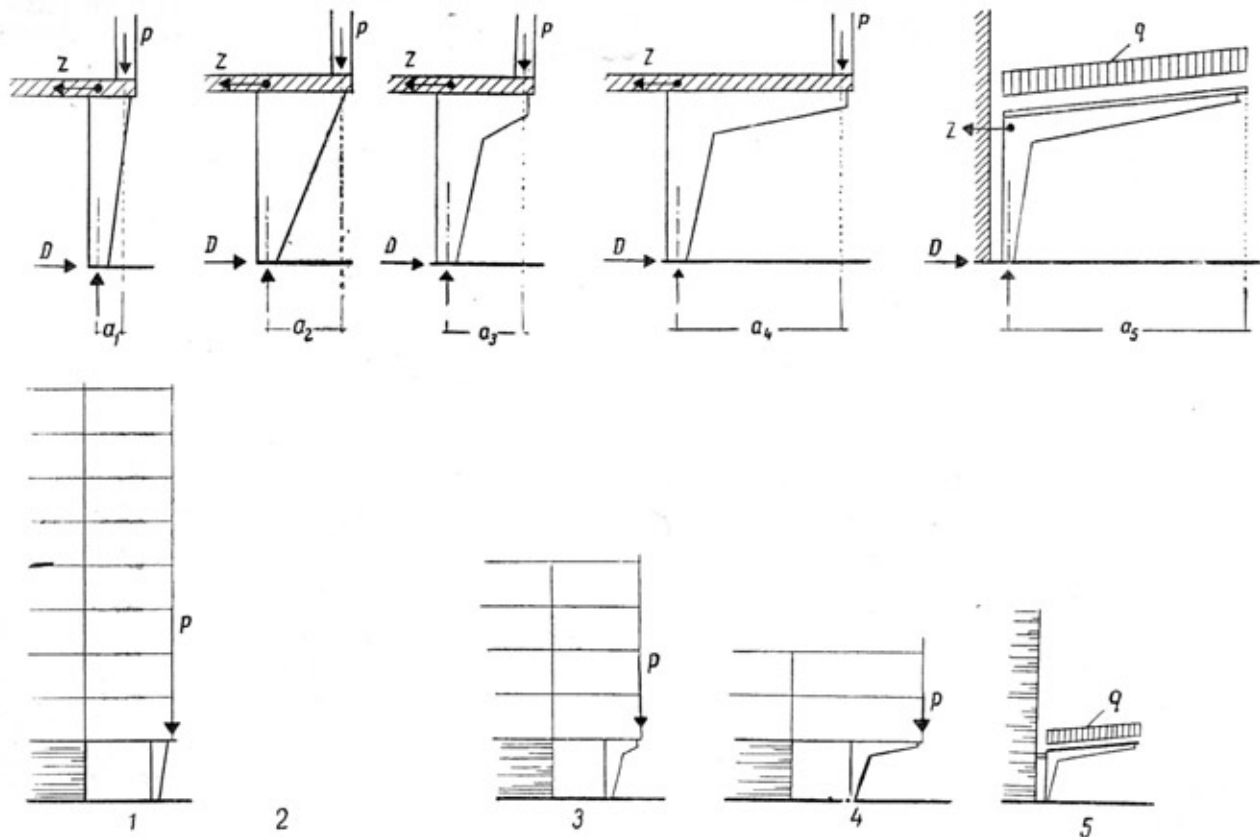


Рис. 82. V-образная колонна с консолью

1 и 2. По мере увеличения выноса a пропорции V-образной колонны становятся неудовлетворительными
3 и 4. V-образные колонны превращаются в колонны с консолями
5. Большая консоль может воспринять только небольшую нагрузку, она непригодна для восприятия нагрузки многих этажей

При большом выносе консоли на нее передается не сосредоточенная нагрузка, а равномерно распределенная. Общего правила, по которому можно было бы выбрать конструкцию той или иной формы, не существует. Даже при строгом соблюдении законов тектоники имеется много возможностей для свободного выбора того или иного варианта. При этом все же не следует упускать из виду следующего правила. Изгиб консоли и V-образной опоры нарастает в линейной зависимости как от нагрузки, так и от величины выноса. Поэтому большие нагрузки многоэтажных зданий могут быть восприняты только небольшой консолью, а большие выносы консолей допускаются только при небольшой нагрузке. Показанные на рис. 82 варианты конструкций весьма отчетливо иллюстрируют эту взаимосвязь.

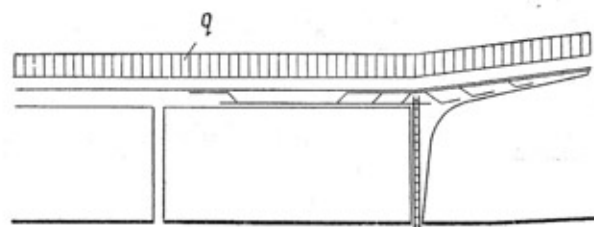
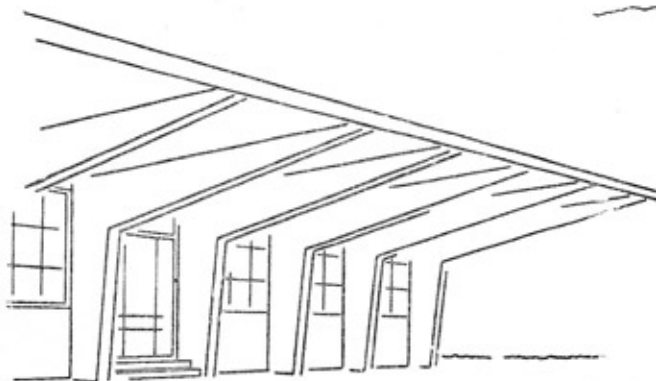
V-образная опора с консолью применяется для козырьков, которые с задней стороны крепятся к стенам или перекрытию здания (рис. 83). Чем более ясно козырек отделяется от основного сооружения и чем яснее решены детали крепления козырька к нему, тем более четко выступает тектоничность решения. И с другой стороны, чем менее четко козырек отделяется от основного здания, тем больше страдают от этого выразительность и четкость данной архитектурной формы.

На рис. 84, например, не ясно, составляет ли консоль с V-образной опорой одно единое конструктивное целое или же консоль является продолжением покрытия здания. Уже один тот факт, что наблюдателю не ясно, следует ли понимать конструкцию так или иначе, является достаточным доказательством того, что данное

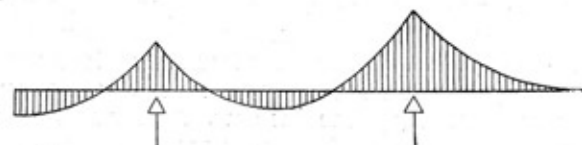
▼ Рис. 83. V-образная стойка с консолью четко отделена от основного сооружения. Структура при данном решении ясна



1



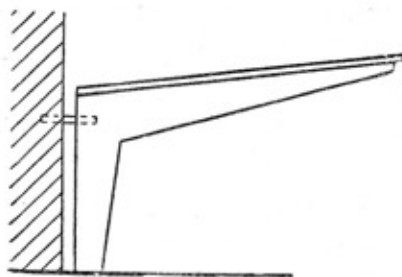
2



3

Рис. 84. V-образная опора с консолью четко не отделяется от здания

1. Невозможно определить, воспринимается ли момент консоли приставной колонной или конструкцией перекрытия
2. Разрез и расположение арматуры показывают, что консоль связана с плитой перекрытия, а не с опорой. V-образная форма колонны конструктивно неоправдана
3. Эпюра моментов



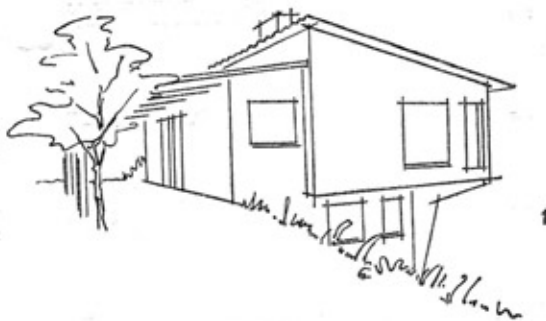


Рис. 85. V-образные стойки с большими выносами консолей при небольшой нагрузке

- 1 и 2. Консоль воспринимает нагрузку только одного этажа
3. Легкость навеса дает возможность создать изящную консоль с большим выносом

решение в художественном отношении менее удачно, чем предыдущее. На рис. 84.2 показано, что арматура консоли заходит в конструкцию перекрытия и связана с ней; следовательно, V-образная форма стойки носит чисто декоративный характер.

На рис. 85.3 показано применение консолей для легкого навеса с большим выносом и небольшой нагрузкой. Обе консоли находятся в равновесии благодаря непосредственному соприкосновению их друг с другом.

Сильно выступающая консоль первого этажа (рис. 86) явно не соответствует большой нагрузке от вышерасположенных этажей. Возникает вопрос, может ли V-образная опора с далеко выступающей консолью выдержать нагрузку? Ответить на этот вопрос можно при более детальном рассмотрении разреза здания. Наружная торцовая стена, которая якобы передает на консоль нагрузку от всех вышележащих этажей, в действительности не является несущей стеной, так как она на каждом этаже опирается на перекрытие. Каждое междуэтажное перекрытие представляет собой консольную конструкцию, которая передает нагрузку через внутренний ряд колонн точно на пяту V-образной стойки в первом этаже. Тем самым консоль пер-

вого этажа нагружена не больше, чем каждая балка междуэтажного перекрытия. Ее утолщенная часть является ненужным балластом, а V-образная стойка, из которой как бы вырастает консоль, не имеет конструктивного значения.

Перед нами типичный случай подражания тектонически правильной форме. В результате желания применить современные конструктивные формы возник чисто декоративный прием. Опытный глаз сразу обнаружит сомнительность этой конструкции по диспропорции между выносом консоли и числом этажей. Но обыватель, который пытается понять современную архитектуру, поставлен в затруднительное положение. Как ему разобраться в этих различиях, не имея соответствующих знаний? Как ему в этом случае создать собственное мнение? Путаница, которая получается в результате неправильного применения архитектурных и конструктивных форм, является особенно вредной для непосвященного, который интересуется вопросами архитектуры. Что он может сказать, когда внешние формы, воспринимаемые им как выражение конструктивной необходимости, оказываются украшательством? Он ведь был уверен, что преодоление формализма является одним из основных достоинств современной архитектуры!

Козырьки над трибунами

В предыдущем разделе указывалось на функциональную и конструктивную оправданность V-образной опоры при жестком соединении ее с конструкцией консоли. В консольных конструкциях козырьков над трибунами часто применяются такого рода опоры. Ряд сооружений этого типа имеет настолько большое значение, что уместно посвятить им отдельный раздел (фото 9).

Если за основу взять конструктивную схему тыльного крепления V-образной опоры с консолью (рис. 87.1) и заменить это крепление подкосом, то в схемах нагрузки и распределений усилий, а следовательно, и в тектонической форме конструктивного элемента ничего не изменится. Понижение точки приложения подкоса также ничего не меняет в конструктивной схеме. Примерами могут служить спортивные трибуны в Аугсбурге (рис. 87.4) и Базеле (рис. 87.5).

Однако элемент подкоса выполняет одновременно и другую важную функцию. Он служит несущей конструкцией трибун. Первоначально не зависящие друг от друга элементы сооружения — консольный козырек покрытия трибуны с V-образными опорами и конструкция подкоса в виде трибун — функционально сливались друг с другом в единое целое. В ранее рассмотренных конструкциях оба элемента уравнивались только потому, что они подпирали друг друга. В современных конструкциях V-образные опоры, консоль и несущая конструкция трибун образуют новую общую конструктивную схему, которая нуждается в новых соответствующих формах. Представленные на рис. 87 формы, очевидно, не полностью соответствуют распределению действующих усилий. Формы присоединения подпорной конструкции к консоли еще не достаточно отработаны.

На рис. 88 указан путь, по которому может идти дальнейшая эволюция тектонических форм трибун. Анализ работы сооружения в целом показывает, что существуют два варианта конструктивных схем (рис. 88.1 и 88.2). В обоих случаях учтены соответствие формы опоры действующим моментам и важное значение сопряжения поддерживающей конструкции-подкоса с опорой. Более зрелое решение формы получается при создании перелома в очертании опоры. Если подкос трибуны и нижнюю отогнутую часть V-образной опоры соединить в одно целое, образуется новая форма (рис. 88.3). Подкос еще не приобрел устойчивости, и наклонная V-образная опорная часть не может служить несущей конструкцией трибуны, так как является слишком крутой и короткой; только лишь в ре-

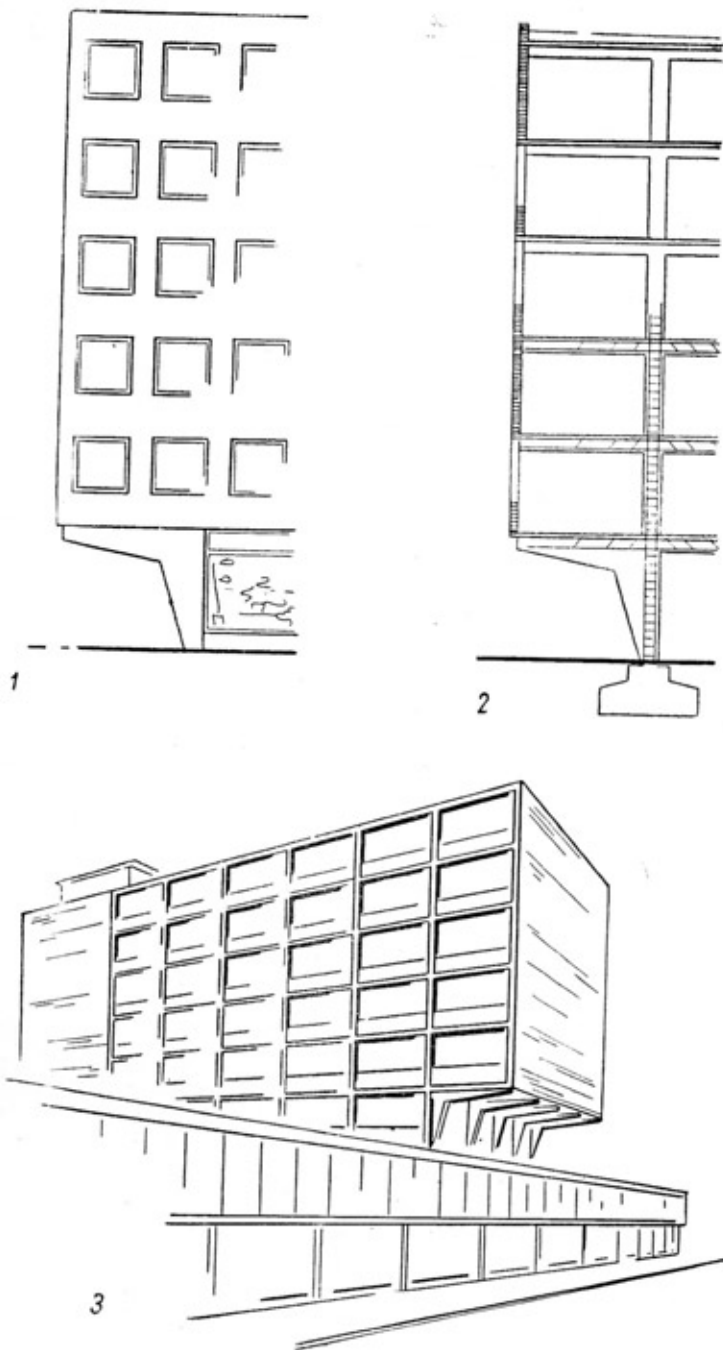


Рис. 86. Большая консоль в многоэтажных зданиях

1. Величина выноса не соответствует кажущейся нагрузке
2. В действительности вес наружных стен на каждом этаже воспринимается консольной конструкцией перекрытия. V-образная опора с консолью в первом этаже в конструктивном отношении лишняя
3. Из схемы видно, что консоли не несут нагрузки всех этажей. Отношение между выносом консоли и нагрузкой является неубедительным

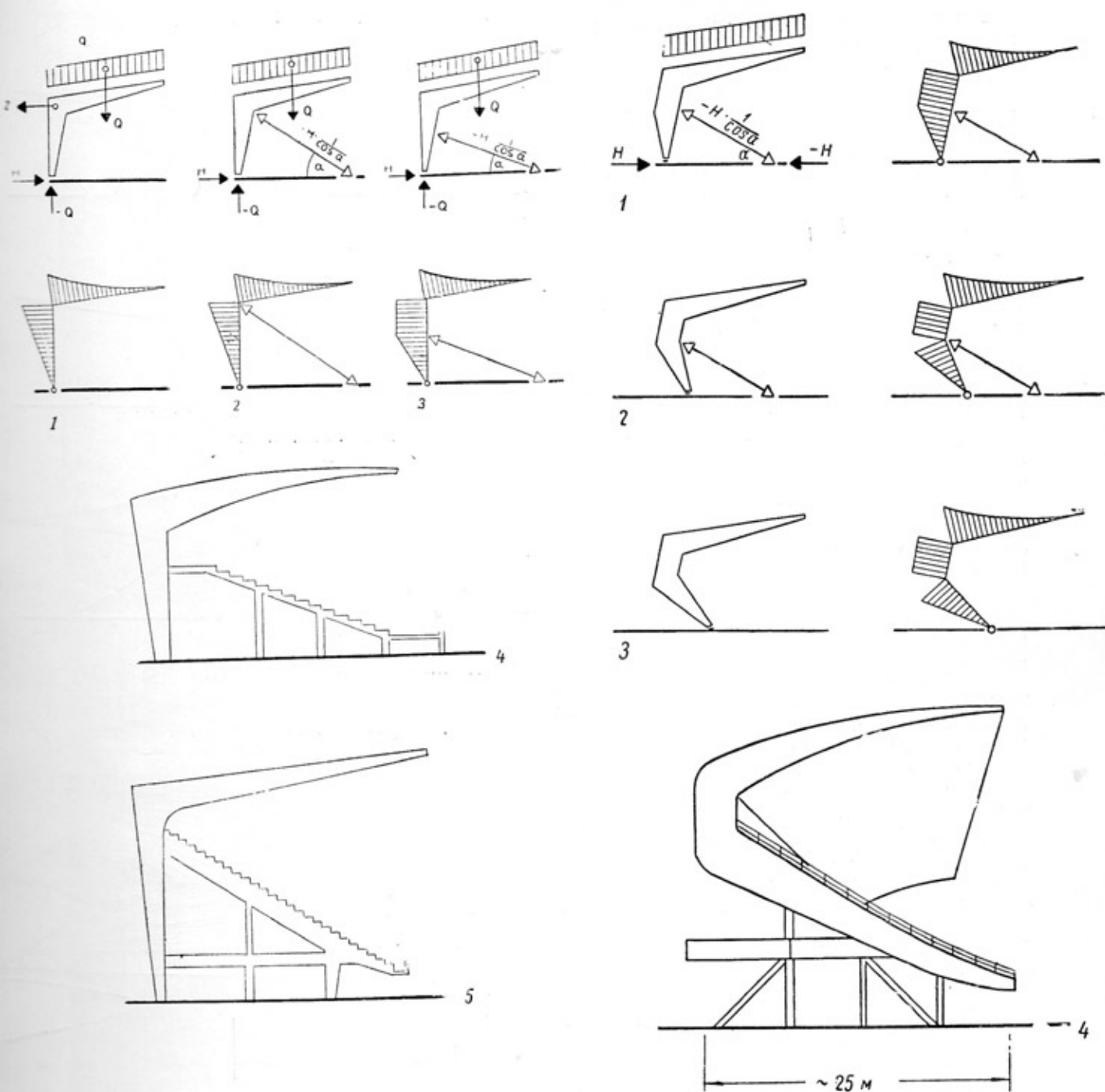


Рис. 87. Этапы развития конструкции трибун из V-образных стоек с консолями

1. Оттяжка с задней стороны V-образной стойки с консолью
2. Вместо задней оттяжки — подкос
3. Понижение точки сопряжения с подкосом
- 4 и 5. Подкосы конструкции трибун в Аугсбурге и Базеле служат одновременно несущей конструкцией трибун

Рис. 88. Развитие конструкции на примере трибун арены в Каракасе, Венесуэла

1. Форма V-образной конструкции соответствует эпюре моментов
2. Точка сопряжения с подкосом подчеркивается переломом V-образной опоры
3. Нижняя часть V-образной опоры совмещает в себе опорную часть и несущую конструкцию трибун. В таком виде конструктивная схема пока неустойчива
4. Окончательная устойчивая форма трибуны получается только при установке всей конструкции на поддерживающий каркас

зультате уменьшения наклона конструкции трибун и ее удлинения получается та новая форма, которую применили на стадионе в Каракасе (фото 10). Установка всей конструкции на опорный каркас придает ей устойчивость. В конечном итоге найдена достаточно привлекательная тектоническая форма.

Другим замечательным примером являются трибуны стадиона во Флоренции (рис. 89). Здесь применена та же основная конструктивная схема, когда стойка консоли спереди подпирается подкосом. Для того чтобы понять эту схему, необходимо разложить массивные несущие элементы консоли и опоры на систему треугольных связей. Подкос пока еще является вспомогательной конструкцией. В данной конструктивной схеме, состоящей из основной и вспомогательной частей, это еще не целостное решение. Чтобы придать конструктивной схеме большую стройность, ось диагонального стержня консоли D выпрямляют, и она вместе с осью подкоса составляет одну прямую линию. Таким образом, функции подкоса и несущей балки трибуны объединяются, вследствие чего получается новая конструктивная схема. В результате разложения консоли и стоек на систему треугольных связей изгибающие моменты разлагаются на силы растяжения в верхних стержнях и силы сжатия в нижних стержнях. Превращение данной конструкции в стержневую удовлетворяет требованиям экономии материалов.

При большой конструктивной высоте переход на стержневую конструкцию обеспечивает экономии материала. Но в местах, где стержни сходятся под острым углом, например в конце консоли, целесообразнее пространства между стержнями заполнить бетоном. В результате получается тектоническая форма, созданная на основании логических умозаключений.

Эта конструкция была осуществлена Нерви при строительстве трибун во Флоренции. Казалось бы, она ничего общего не имеет с трибуной в Каракасе. Но в них имеется одно и то же исходное начало, развитие которого привело к различным окончательным формам. Достоинства сооружения заключаются в ясности структуры, конструктивной и функциональной завершенности, а также в законченности формы.

В основу трибун, построенных в Рабате, положена другая конструкция, отличная от рассмотренных выше (рис. 90). В ней мы узнаем двухконсольный навес, показанный на рис. 74.5. На этом рисунке изображен способ уравнивания двухконсольного навеса, опирающегося на шарнирную V-образную стойку при помощи вертикальной оттяжки. Для обеспечения лучшей обзорности спортивного поля нельзя было ставить какие-либо опоры с пе-

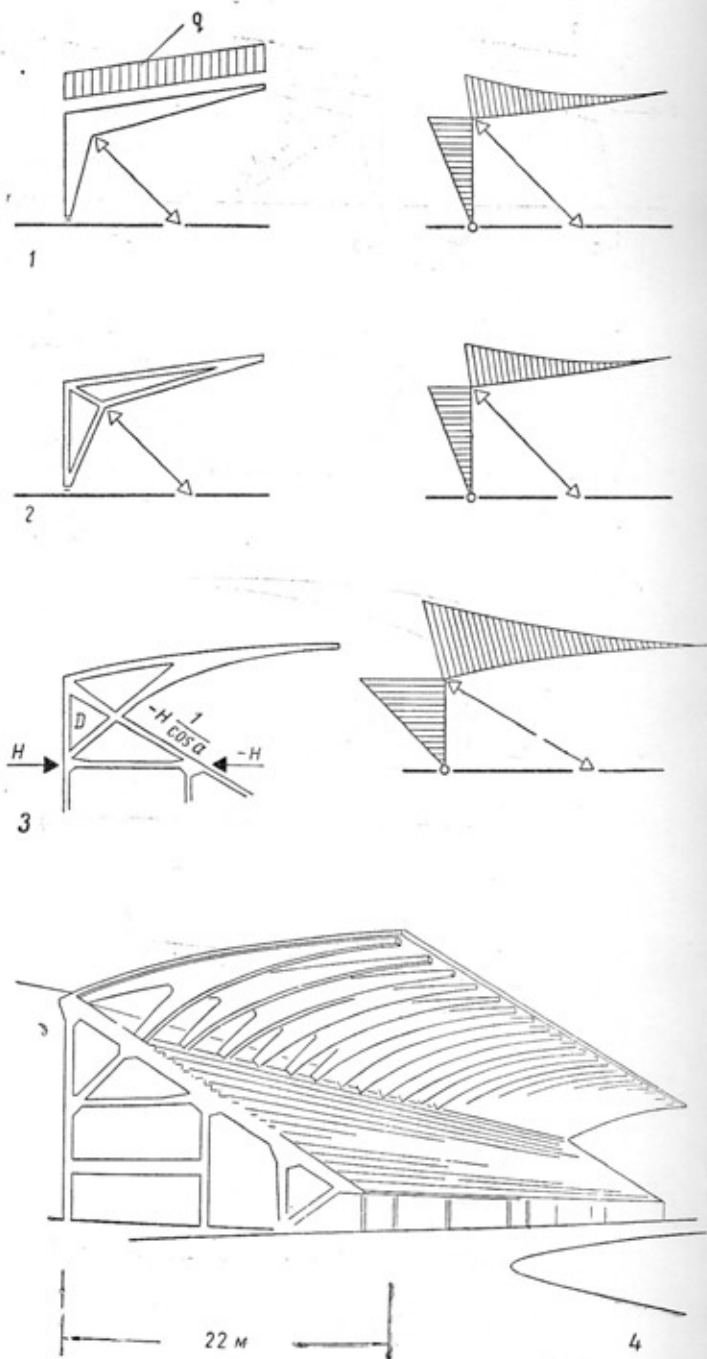


Рис. 89. Развитие форм трибун во Флоренции

1. Основная форма V-образной подпертой стойки с консолью
2. Преобразование V-образной консольной стойки в систему треугольников
3. Нижний и верхний пояса консоли на конце срастаются, а подкос объединяется со стержнем D , образуя единую систему
4. Окончательная форма



ФОТО 9. Стадион во Флоренции, Инж. Пьер Луиджи Нерви

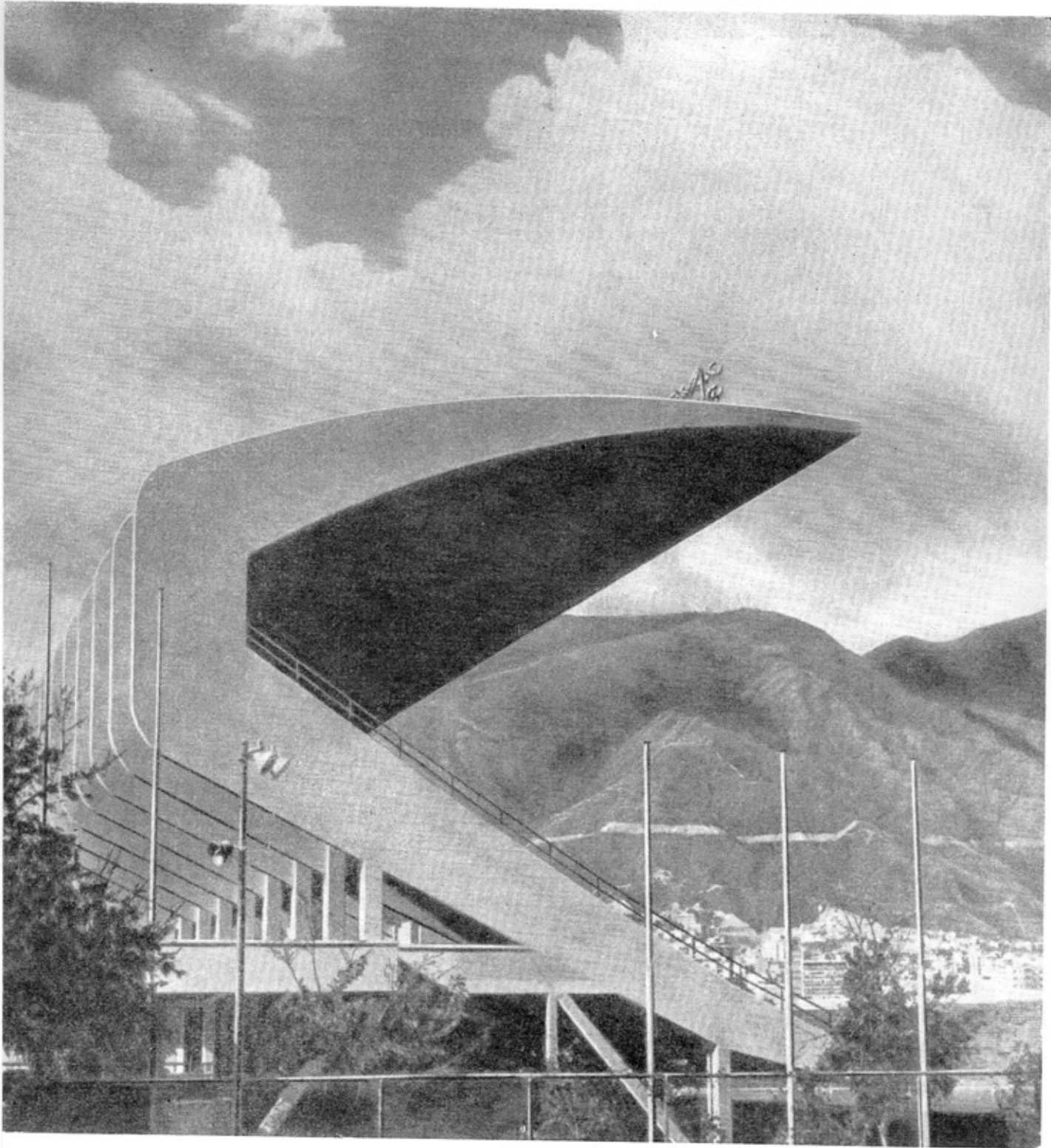


Фото 10. Стадион в Каракасе, Венесуэла, Арх. Виллапуэва

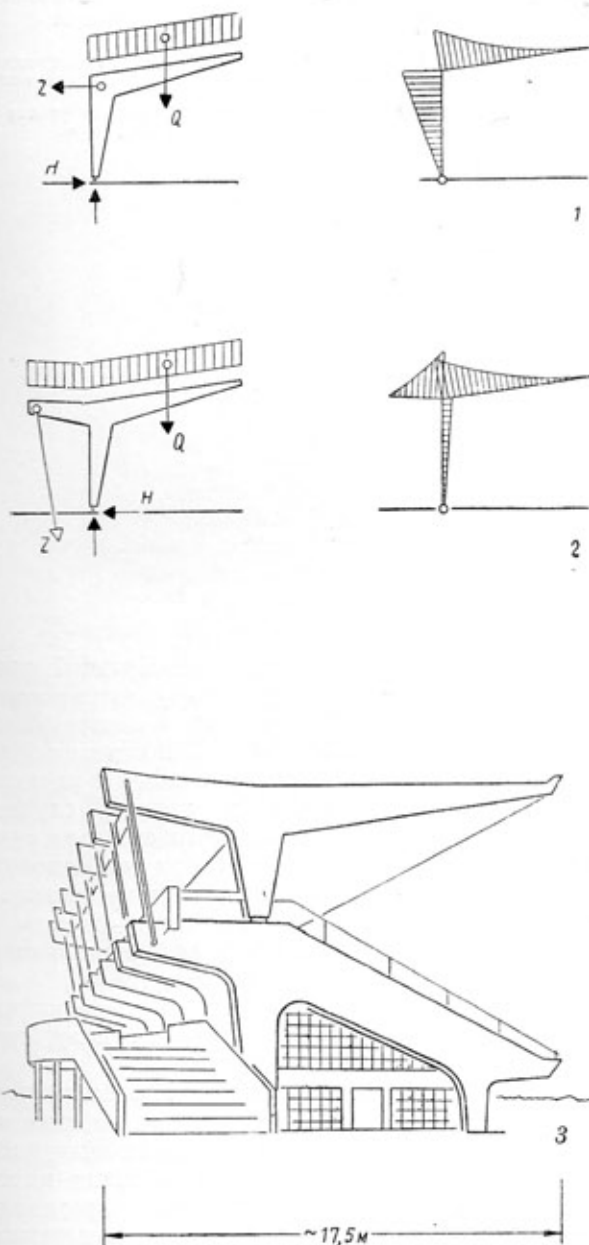


Рис. 90. Развитие конструкции трибун в Рабате, Марокко

1. В целях придания устойчивости V-образной стойке с консолью необходима горизонтальная оттяжка верхнего угла тыльной части опоры
2. Горизонтальная оттяжка может быть заменена вертикальной затяжкой, прикрепленной к жесткой дополнительной консоли. Анкеровка и нагрузка взаимно уравновешивают друг друга
3. В окончательной форме конструктивная схема представляет собой комбинацию V-образной опоры с двухсторонним навесом (рис. 74.5)

редней стороны. Поэтому наиболее подходящим решением в данном случае явилось устройство задней оттяжки (рис. 90.3). Вес большого выноса консоли обеспечивает его устойчивость даже при ветре, дующем снизу. Задняя короткая консоль имеет такой вынос, который необходим для покрытия галерей и анкеровки тяжей. В шарнирной опоре V-образной стойки отчетливо выражен железобетонный шарнир. Несколько приподнятая над плоскостью галерей пята стойки имеет форму, подчеркивающую ее конструктивное назначение. Все функциональные и конструктивные элементы простым приемом соединены в единое целое.

Вилообразные опоры

В конструкции трибун, построенных по проекту Нерви во Флоренции (рис. 89), мы наблюдаем превращение V-образных опор в стержневую систему. То, что характерно для консольной конструкции навеса над трибунами во Флоренции, т. е. деление ее на два крайних стержня, можно осуществить в каждой V-образной опоре. В примитивной форме вилообразные опоры известны давно. Скрещенные жерди для вьющихся растений, подкосы для столбов и мачт, противодействующие направленным под углом к горизонту усилиям растяжения, являются разновидностями вилообразных опор (рис. 55). Такие примитивные формы конструкций имеют вид перевернутой буквы V.

В мире новых конструктивных форм дело обстоит иначе. Современная вилообразная опора сужается книзу, т. е. опирается на вершину, а развилка ее направлена вверх. В конструктивном отношении она является V-образной опорой и подчиняется тем же закономерностям, что и последняя. Поэтому, казалось бы, о ней не следовало в данном случае говорить отдельно. Однако возможности создания различных вариантов этих опор столь многообразны и область применения их так сильно отличается от рассмотренных до сих пор областей применения V-образной опоры, что специальный раздел, посвященный вилообразным опорам, без сомнения, вызовет интерес у читателя.

Если рассматривать вилообразную опору как элемент, родственную V-образной опоре (поэтому она и приведена в настоящей главе), но несколько отличный по форме, то она должна также выполнять функцию стойки рамной конструкции. На рис. 91 показан мост, который является чисто инженерным сооружением. Опора моста выполняет функцию рамной стойки. В данном случае — это чисто утилитарная форма.

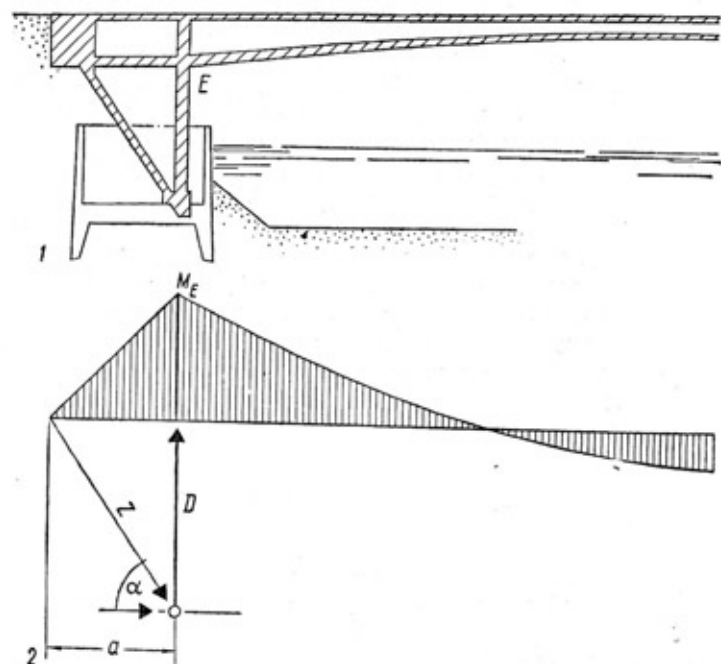


Рис. 91. С превращением V-образных стоек тяжелых рамных конструкций в систему треугольных связей возникает конструкция виллообразной опоры

1. Мост через Рордам в Берлине представляет собой рамную конструкцию с устоями виллообразной формы
2. Элюра моментов и действующие усилия в стержнях виллообразной конструкции

Большой пролет, большая нагрузка моста и большая жесткость стойки по сравнению с жесткостью ригеля вызывают соответственно большие усилия в короткой приземистой опоре. Из массивной V-образной опоры она превратилась в треугольную пластину, высота и ширина которой почти одинаковы. Поэтому ее целесообразно заменить стержневой конструкцией. Вместо изгибающего момента в конструкции действуют две силы. Конструкция превращается в обычную стержневую систему, работающую на растяжение и сжатие. В мостах стойки виллообразной опоры, работающие как стойки рамы, несут очень большую нагрузку.

Иначе обстоит дело в конструкциях мебели, где статическая нагрузка является незначительной, но применяется та же конструктивная схема. Однако при проектировании мостов преобладает инженерное мышление, а при создании мебели — эстетические соображения. Назначение стойки рамной конструкции моста — придать жесткость ригелю и разгрузить его. Это назначение они выполняют благодаря жесткой системе треугольных связей с широким основанием и шарнирному опиранию на фундаменты, устойчивые против бокового смещения. У стола (рис. 92) разгрузка ригеля, т. е. плиты стола, не играет никакой роли. У нижних концов ножек нет устойчивых упоров против бокового сдвига. При прогибе плиты ножки стола раздвигаются, но не отламываются. Поэтому жесткость стола в боковом направлении имеет большое значение. Такая жесткость легко обеспечи-

вается путем прикрепления виллообразной опоры к плите стола аналогично тому, как крепится узел жесткой рамной конструкции (рис. 92.1). Из рис. 92.2 и 92.3 можно понять, в какой степени элементарные законы рамных конструкций применимы в данном случае. Слишком тонкая плита длинного стола не становится более жесткой даже при применении виллообразных опор. Во-первых, плита (ригель) является слишком податливой по сравнению с ножками (стойками), во-вторых, точки опоры ножек (шарнирные пяты рамных стоек) расположены не на фундаментах, препятствующих боковому смещению, а на гладком полу, где они могут скользить.

Пространственную жесткость конструкции можно легко уяснить, сравнивая ее со столом. Все конструкции, рассмотренные в предыдущих разделах, являются явно выраженными плоскостными конструкциями. При этом предполагается, что устойчивость в третьем измерении обеспечивается при помощи других мероприятий, не зависящих от рассматриваемой конструкции.

На простом примере стола можно наглядно доказать, как мало виллообразная опора придает жесткости конструкции в направлении, поперечном к плоскости, в которой она работает (рис. 92.4). Виллообразная опора придает жесткость конструкции только в одном направлении. Чтобы устранить этот недостаток, в мебельной промышленности применяется виллообразная опора, которая сообщает жест-

кость ножкам стола в обоих направлениях (рис. 92.5).

Как и большинство других современных конструктивных форм, вилообразная опора используется также иногда для достижения определенного эстетического эффекта. Например, многие хорошо нам знакомые козырьки, навесы над входами в административные здания, гостиницы и школы представляют собой неграмотные решения с точки зрения тектоники. В данном случае преобладают формы, конструктивная суть которых была плохо понята (рис. 93).

Нередко можно встретить вертикальную вилообразную опору, установленную перпендикулярно зданию, которая вместе с ригелем якобы должна придавать конструкции навеса жесткость. Однако в этом нет никакой необходимости, поскольку в данном направлении конструкция здания обладает достаточной жесткостью. Кроме того, ригель часто бывает слишком слабым, чтобы образовать вместе с вилообразной опорой жесткую рамную конструкцию. Это становится очевидным, если провести аналогию с конструкцией, изображенной на рис. 70.2. С точки зрения тектоники вилообразная опора в такой же степени неприменима в данном примере, как и V-образная опора, установленная под балконной плитой. По расположению V-образной опоры и направлению, в котором она работает, видно, что она носит чисто декоративный характер.

Форма вилообразной опоры является прежде всего конструктивной формой. Как треугольная связь, она создает впечатление жесткой конструкции. Если же на деле опора не выполняет этой функции, то она теряет всякий смысл.

Сравнивая описанные конструкции с мощной конструкцией, изображенной на рисунке Виоле ле Дюка, относящейся к XIX в. (фото 11), невольно отдаешь предпочтение последней, хотя она тоже является формалистичной.

Виоле ле Дюк 100 лет назад признал логичность конструкции вилообразной опоры. Несмотря на то, что архитектурные детали конструкции выполнены в стиле того времени, ее тектоника все же производит хорошее впечатление. Современные вилообразные опоры часто являются данью ныне господствующему конструктивистскому модернизму; структура их фальшива, а выразительность слаба. Сравнение этих двух видов формализма является весьма интересным и поучительным. Конструктивистский формализм нашего времени среди всех прочих отрицательных явлений современной архитектуры нам кажется наиболее отрицательным. Все усилия автора данной книги направлены на то, чтобы его раскритиковать и преодолеть.

Хорошим примером правильного понимания смысла вилообразной опоры и мастерского ее оформления является бензораздаточная станция, построенная инженером Фавини на шоссе, ведущем к Милану (рис. 94 и фотография 12). Волнистая железобетонная оболочка образует большой козырек. Задняя сторона ее опирается

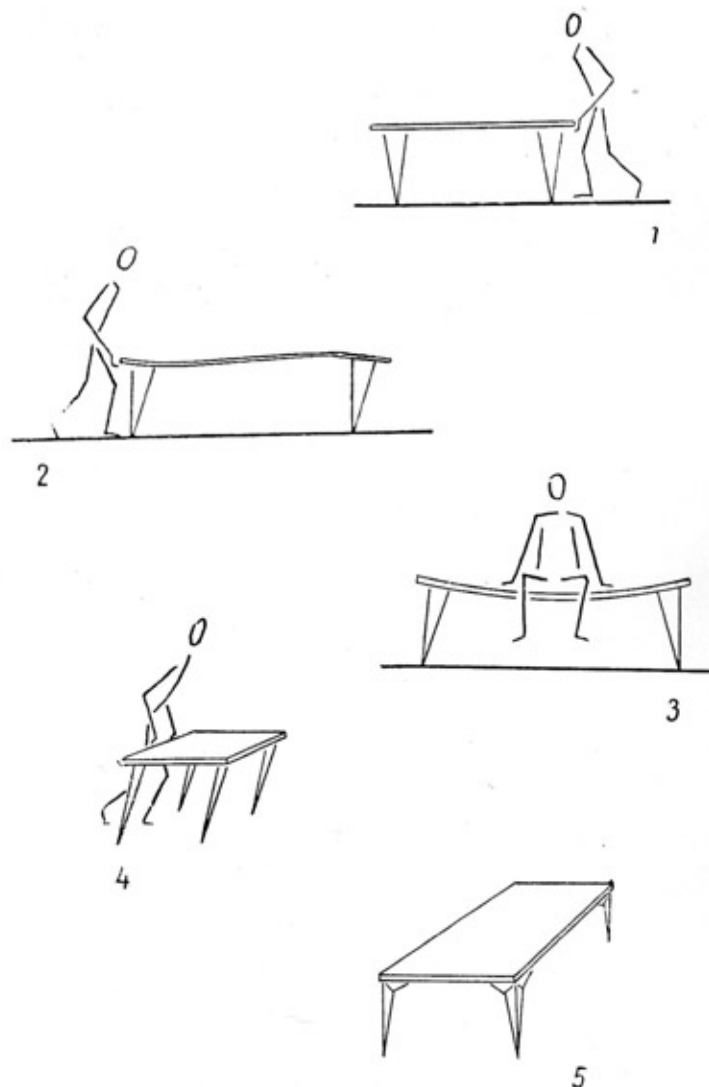


Рис. 92. На примере стола с вилообразными ножками можно проиллюстрировать основные принципы работы рамной конструкции

1. Ножки стола вилообразной формы обеспечивают жесткость в направлении раскрытия вилок
- 2 и 3. Если плита стола очень длинная и тонкая, то даже вилообразные ножки не смогут придать столу необходимой устойчивости
4. В направлении, поперечном к плоскости вилообразных ножек, последние не обеспечивают устойчивости стола
5. Только ножки с развилкой в двух плоскостях придают столу необходимую жесткость

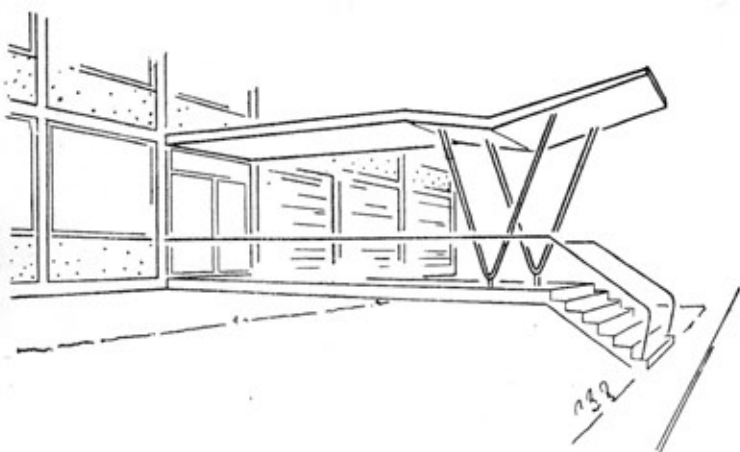
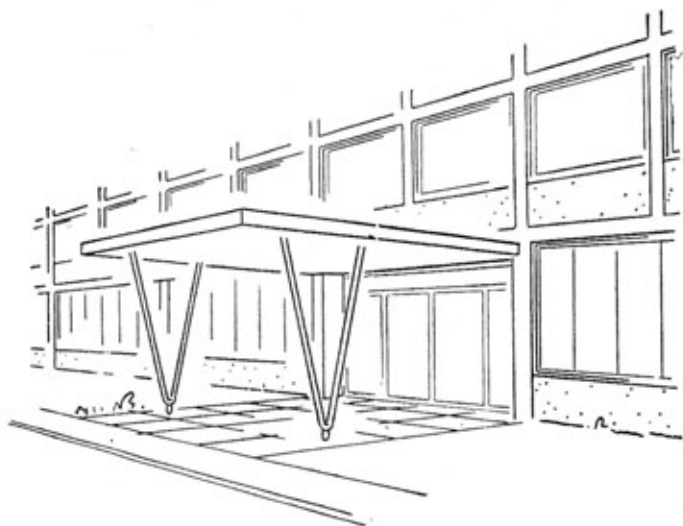


Рис. 93. Формалистическое применение стоек вилообразной формы

на здание, обладающее достаточной жесткостью. Поэтому передняя несущая конструкция в направлении оси y может быть не жесткой. Иначе дело обстоит в направлении оси x . В этом направлении она должна иметь соответствующую жесткость. Поэтому вилообразная опора вместе с жесткой поперечной балкой образует полураму (сравни с рис. 63), обеспечивающую необходимую устойчивость в этом направлении. Конечно, в данном случае можно было применить и две вилообразные опоры. Получилась бы двухшарнирная рама, которая в направлении x отличалась бы еще большей жесткостью (рис. 94.5). Однако для создания устойчивости против действия ветра вполне достаточной является жесткость полурамы. Ригель не нуждается в разгрузке путем установки дополнительной V-образной стойки, так как его конструктивная высота, определяемая высотой волны оболочки, достаточно велика. Благодаря применению одностоечной рамы конструкция сведена к элементарной форме. Распределение усилий и жесткая конструктивная схема легко читается. В результате достигнута тектоника предельной ясности.

Как уже было доказано, для придания рамной конструкции требуемой жесткости необходимо, чтобы стойка, соединение стойки с ригелем и сам ригель были достаточно жесткими (рис. 95.1). Никакая, даже самая большая, жесткость стоек не поможет, если ригель не является достаточно устойчивым против изгиба (рис. 95.2). Вся конструкция остается гибкой и неустойчивой при воздействии на нее горизонтальных усилий. Однако имеется возможность при помощи вилообразных опор создать другую комбинацию. На рис. 95.3 показано, как при большом угле наклона подкосов к горизонту и взаимном сопряжении следующих друг за другом вилообразных опор образуются связанные между собой замкнутые треугольники. В этом случае вполне достаточным является относительно тонкий ригель, так как он не подвержен изгибу. Все силы, действующие в горизонтальном направлении, сводятся к силам сжатия и растяжения треугольных стержневых систем, образуемых вилообразными опорами с ригелем. Поэтому силы, действующие в ригеле, направлены только по его оси. Такая конструкция использована в нижней части алюминиевого купола павильона на Международной выставке 1950 г. в Лондоне (рис. 95.4). Относительно небольшую толщину края купола (рис. 95.3) можно объяснить тем, что вилообразные опоры в сочетании с ним образуют ряд жестких треугольных соединений, которые воспринимаются чисто интуитивно как вполне устойчивые статически

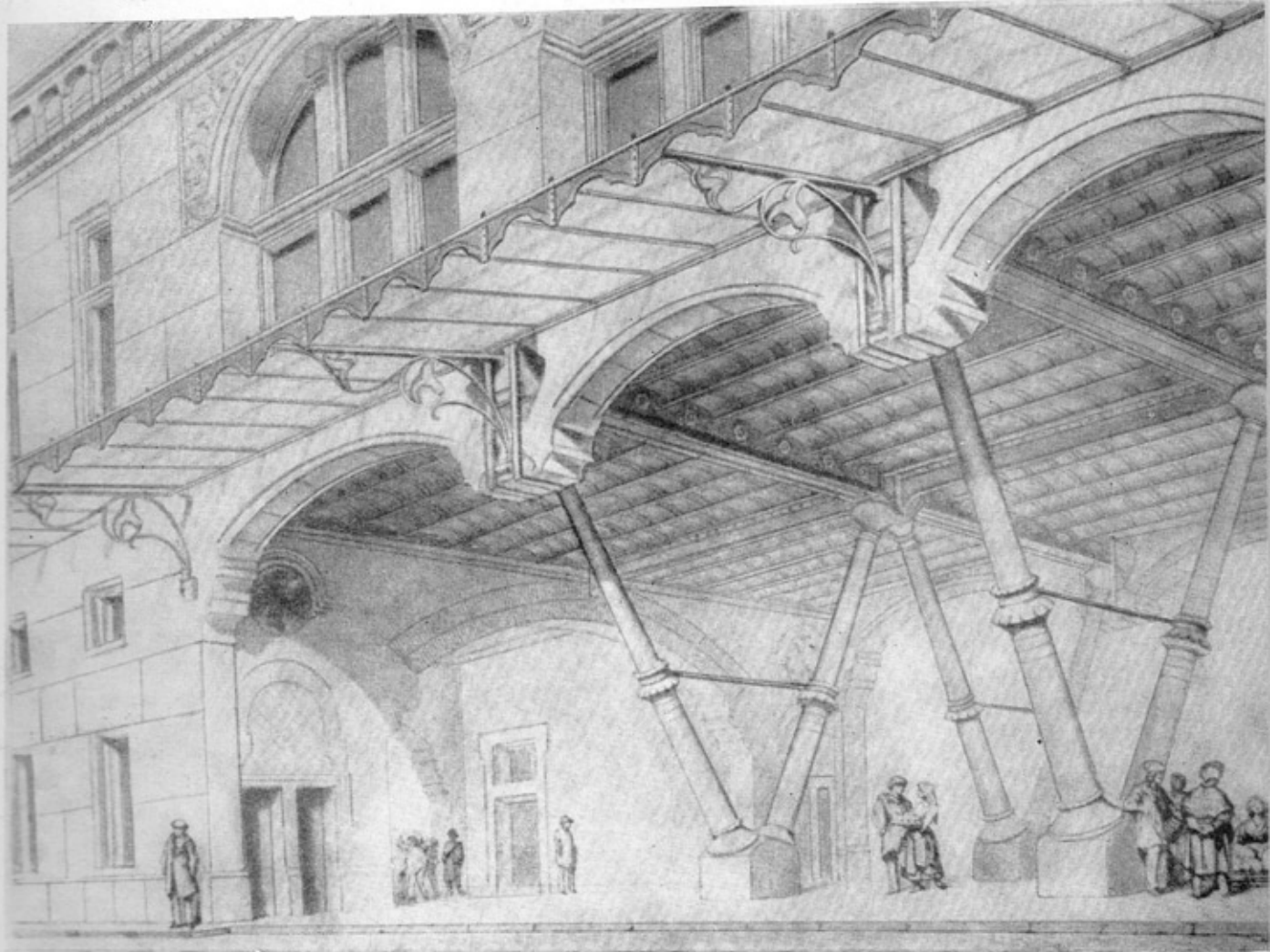


Фото 11. Проект архитектора Вилле ле Дюка, 1864 г.



Фото 12. Бензозаправочная станция около Милана. Инж. Фавини

определимые системы. Вариант системы на рис. 95.5 является неубедительным.

Оскар Нимейер часто применяет виллообразные опоры в первом этаже многоэтажных зданий. Он располагает их в порядке, показанном на рис. 95.1. Каждая виллообразная стойка на высоте перекрытия первого этажа воспринимает нагрузку двух вертикальных рядов колонн и передает ее вниз на пяту, точно опирающуюся на фундамент (рис. 96.1). Бросается в глаза толстый ригель, поддерживаемый виллообразными опорами. Можно предположить, что жесткость этого большого здания в основном обеспечивается другими его частями, как, например, лестничными клетками и шахтами лифтов. Но все же сочетание виллообразных опор с мощным и жестким ригелем воспринимается как весьма привлекательная и устойчивая композиция. Для сравнения на рис. 96.2 приводится эта же композиция фасада, но с тонким ригелем, который не обладает прочностью на изгиб. Такое решение нас явно не удовлетворяет, так как здесь отсутствует ясность тектоники.

Нимейеру на основе исходной формы виллообразной стойки удалось создать очень интересные конструктивные формы. Насыщенность этих форм, их высокую выразительность, достигнутую экономичными средствами, не может не признать даже критически настроенный инженер, хотя в этих формах не всегда выявлена строгая последовательность тектонического построения.

Схема армирования виллообразных форм опоры больницы в Рио-де-Жанейро (рис. 96.3) как на рентгеновском снимке показывает ее конструктивный осто. Неармированное утолщение вилки книзу, похожее на перепонку, конструктивно не обусловлено. Оно является лишь плодом творческой фантазии архитектора. Точечное сопряжение V-образной стойки вверх и в пяту свидетельствует о шарнирных безмоментных опорах. Следовательно, в наклонных подкосах действуют только продольные силы. Поэтому в данном случае с точки зрения статики нет основания придавать отдельным подкосам треугольную форму.

Многоквартирный жилой дом, построенный по проекту Оскара Нимейера на выставке Интербау в Берлине в 1957 г. (рис. 97.1 и фото 13), имеет такой же внешний вид, как и здание, построенное в Рио-де-Жанейро. Но в доме на выставке Интербау виллообразные опоры являются более выразительными. Угол в вершине треугольника, составленного подкосами, менее острый, сопряжение «зубьев» вилки с ригелем лучше, а нижняя часть опоры шире. Обе мощные V-образные части вилки как бы органически вырастают из земли. Их форма убеждает в том,

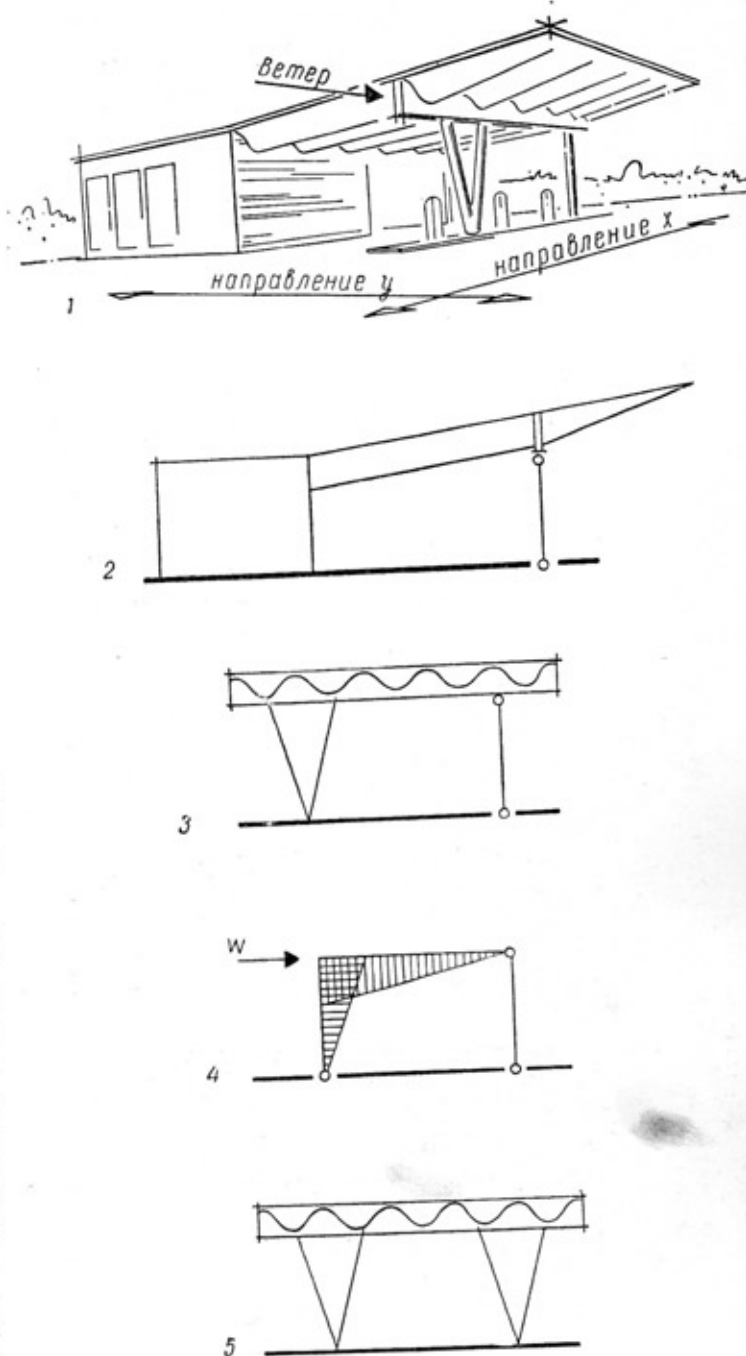


Рис. 94. Бензозаправочная станция около Милана. Пример конструкции, раскрепленной в двух направлениях

1. В направлении y плита навеса прикреплена к зданию. Передние стойки работают как стенка на шарнирах. В направлении x виллообразная опора стойки в сочетании с поперечной балкой и шарнирно укрепленной стойкой образует жесткую полураму, обладающую устойчивостью против ветра
2. Схема конструкции — вид сбоку
3. Схема конструкции — вид спереди
4. Эпюра моментов, вызванных действием ветра в полураме
5. Возможно также устройство двухшарнирной рамы вместо полурамы; однако в ней нет необходимости. Учитывая большую высоту поперечной балки, разгрузка ее является излишней

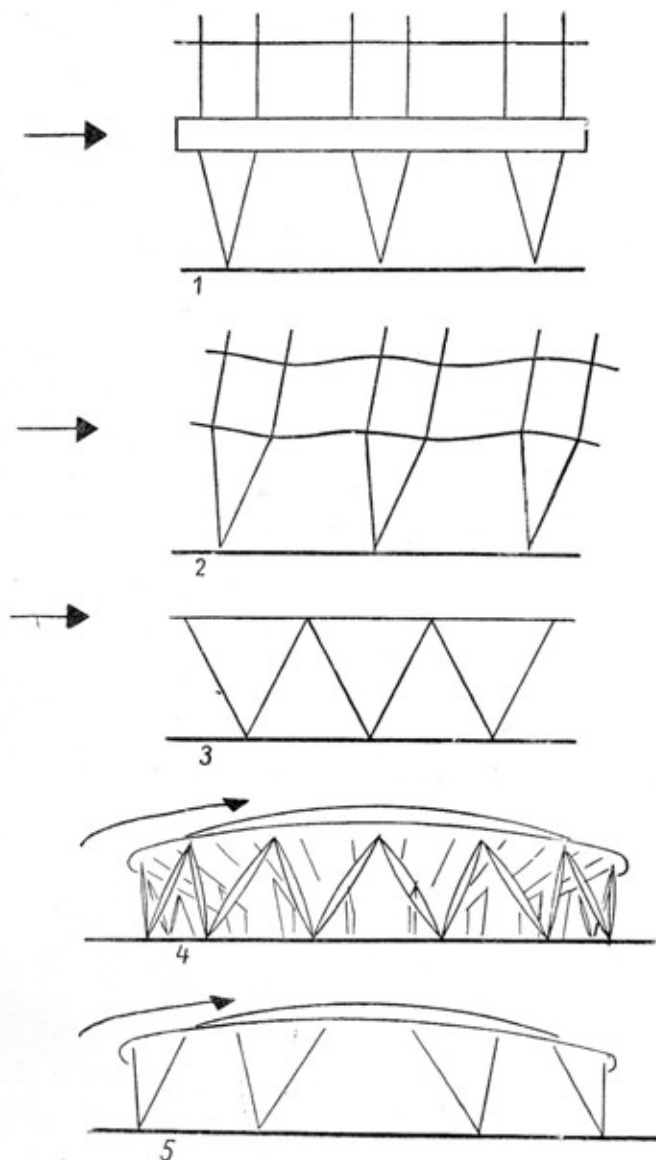


Рис. 95. Вилообразные опоры, жестко соединенные с ригелем

1. Для обеспечения продольной жесткости системы ригель должен быть жестким
2. Если ригель гибкий, то и вилообразные стойки не создадут необходимой жесткости
3. Если вилообразные стойки присоединены непосредственно друг к другу, образуя треугольники, то ригель при продольных усилиях не будет изгибаться
4. Жесткость тонкого края алюминиевого купола на выставке «Британского фестиваля» 1950 г. в Лондоне обеспечена системой треугольных соединений наклонных стоек
5. Для сравнения показаны отдельные вилообразные стойки, не прикасающиеся друг к другу. Такое решение как в конструктивном, так и в эстетическом отношении неудовлетворительно

что они внизу укреплены не шарнирно, а прочно заанкерены в фундаменте и достаточно устойчивы в отношении боковых опрокидывающих усилий. Так внешний облик правдиво отражает истинную конструкцию. Схема армирования (см. рис. 97.2) показывает действительное распределение усилий. Треугольные части вилки армированы по всей ширине и воспринимают снизу большие опрокидывающие моменты, что способствует созданию продольной жесткости. Таким образом, распределение усилий определяет подлинную тектоническую форму.

В Белу-Оризонти Нимейер применил вилообразную опору с тремя зубцами (рис. 98). Хотя ее форма и не столь выразительна, как форма опор жилого дома в Берлине, однако она органически увязана с общим видом большого многоэтажного дома. Направление зубцов точное и правильное. Их концы упираются в наиболее выгодные с конструктивной точки зрения места, а именно, в точки пересечения несущих стен здания с перекрытием первого этажа, воспринимают нагрузку определенной части здания и передают ее в заданном направлении.

Но не во всех сооружениях точки приложения нагрузки точно совпадают с остриями зубцов вилообразных стоек, как в сооружениях Нимейера. На первый взгляд, кажется, что изображенное на рис. 99 здание является не менее удачным в отношении структуры и формы, чем рассмотренные выше здания архитектора Нимейера. Ряды колонн и полосы перекрытий образуют регулярную сетку фасада, на которой четко выявляются точки приложения вертикальных нагрузок. Но расположение вилообразных стоек лишено всякой связи со структурой здания. Точки приложения вертикальных нагрузок попадают в промежутки между остриями вилообразных стоек. Только на разрезе здания (рис. 99.2) обнаруживается скрытый ригель над первым этажом, передающий нагрузку на концы этих стоек. Четкость распределения усилий нарушена. Чистота тектоники утрачена. Пята опоры лишена красоты. Подобную опору в виде изогнутой трубы можно применять при конструировании мебели, но она неуместна в гражданских зданиях, если учесть величину действующих в них усилий. Вследствие изогнутости трубы силы, действующие в продольном направлении, передаются на пяту эксцентрично. В результате этого возникают изгибающие моменты, превышающие несущую способность трубы. Конечно, если архитектор настаивает на этом решении, то всегда найдутся технические средства для его выполнения. Одним из них является применение для изогнутой части трубы фасонной детали из литой стали. Но разве это является решением? Разве этим устраняются

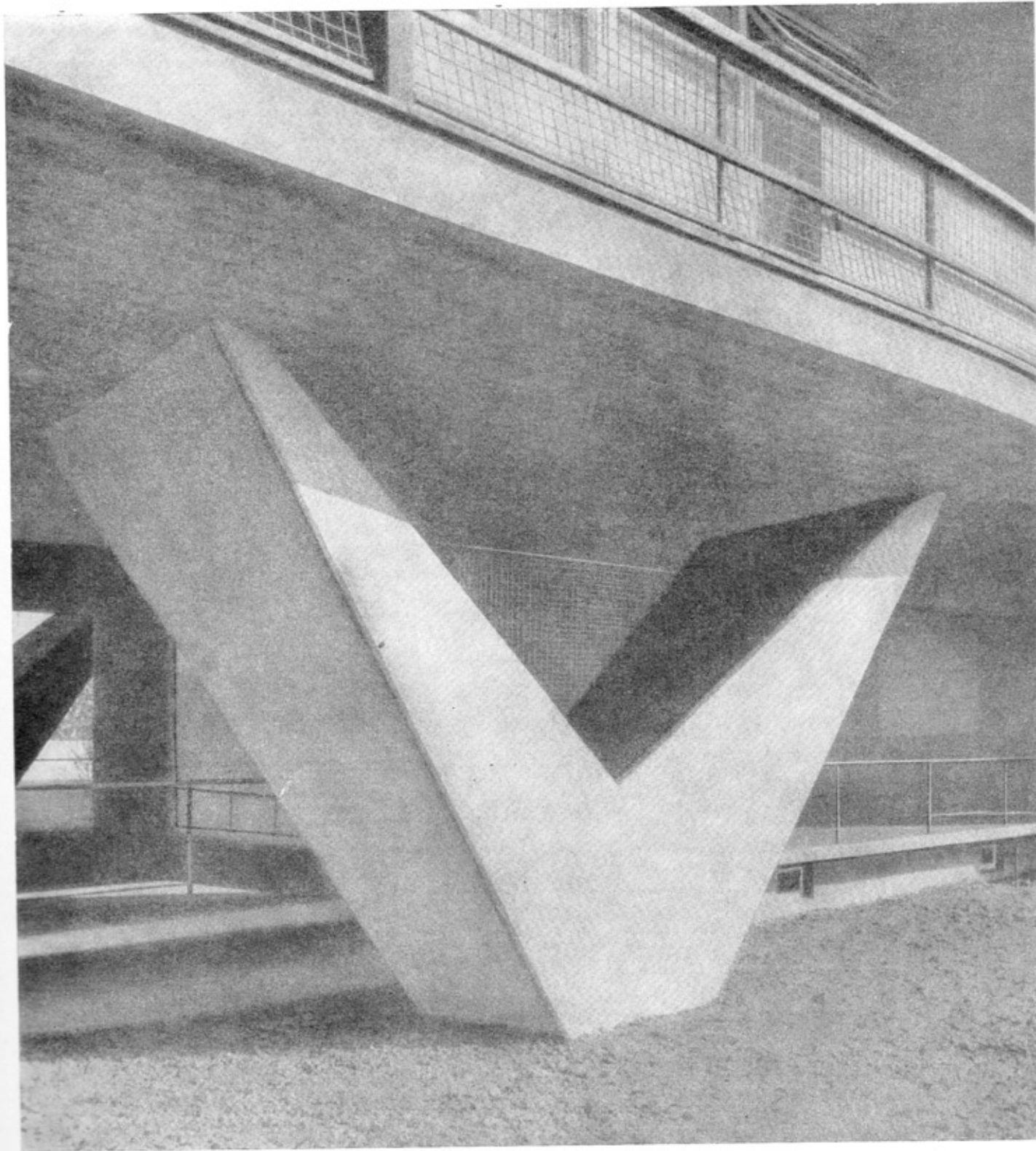


Фото 13. Жилое здание в Берлине. Вилообразные опоры в первом этаже. Арх. Оскар Нимейер

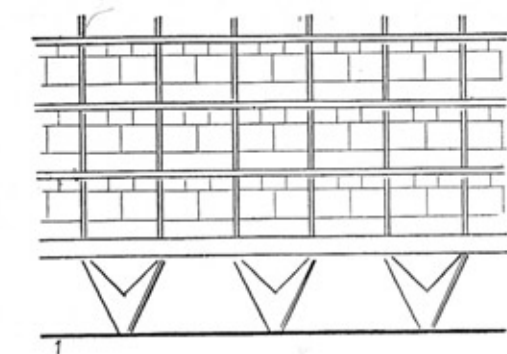


Рис. 96. Вилообразные опоры под зданием больницы в Рио-де-Жанейро

1. Жесткий ригель опирающийся на верхние концы вилообразных опор, воспринимается как элемент, придающий сооружению устойчивость
2. Для сравнения представлено то же сооружение с тонким ригелем, производящим неблагоприятное впечатление
3. Схема армирования вилообразной опоры. Расширяющаяся книзу форма зубьев не вызвана конструктивными требованиями. Она не использована в статическом отношении

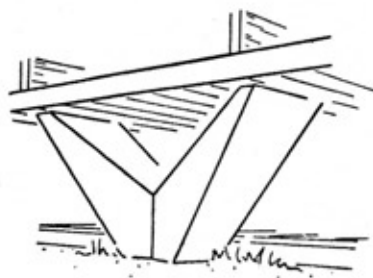
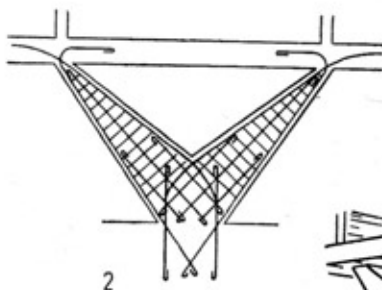
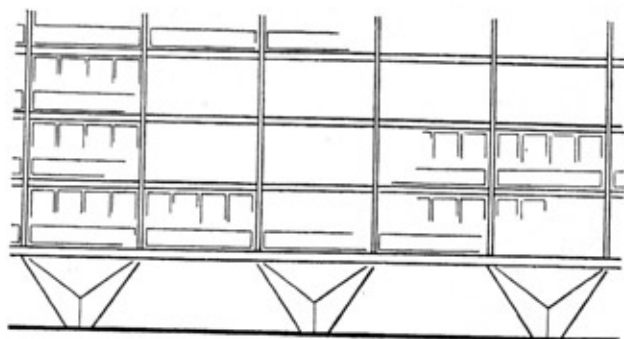
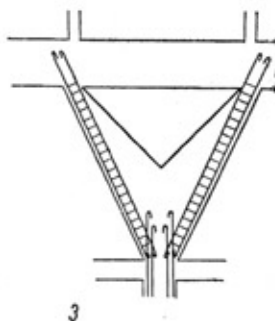
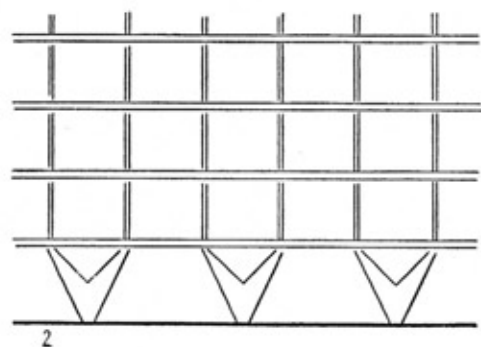


Рис. 97. Вилообразные опоры жилого здания в Берлине. Арх. Оскар Нимейер

1. Широкий низ опоры свидетельствует о жестком защемлении в фундаменте
2. Схема армирования свидетельствует о раскрепляющей функции защемленных внизу стоек. Расширяющаяся книзу форма зубьев правильно отражает конструкцию
3. Перспектива

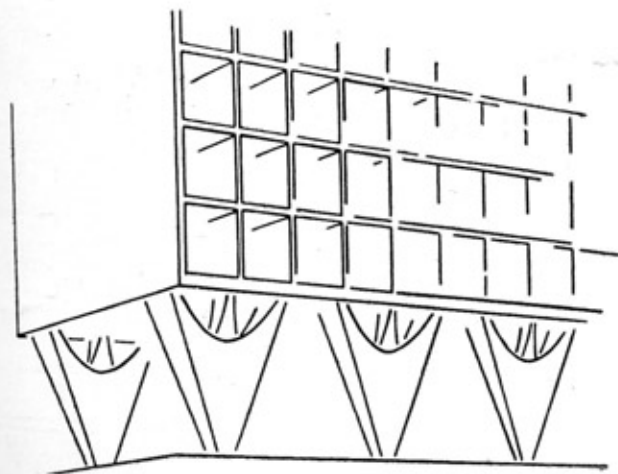
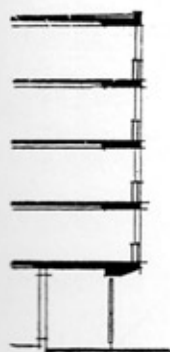


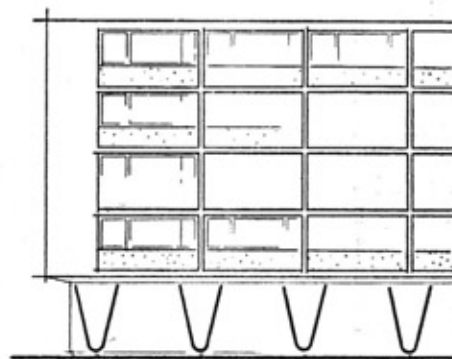
Рис. 98. Вилообразная опора с тремя зубьями в Белу-Оризонти, Бразилия. Она воспринимает нагрузку несущих стен вышележащих этажей на вершины зубьев

Рис. 99. Неправильное конструктивное решение вилообразной опоры, сделанной из стальной трубы

1. Вертикальные оси несущих колонн наружной стены проходят между зубьями опор
2. Скрытый ригель, работающий на кручение, распределяет нагрузку на вершины вилообразных опор
3. Нижнее закругление вил не соответствует направлению действующих усилий. В этом месте необходимо заменить участок трубы фасонной деталью из литой стали



2



1



3

сомнительные достоинства формы и «фальшь» конструкции? Такая конструктивистская архитектура является ложной, а бьющая на эффект конструкция лишена правдивости.

Наряду с сооружениями внушительной формы, созданными Нимейером, находят применение простые вилообразные опоры с зубьями постоянного сечения. Размеры таких опор не выходят за пределы, обусловленные расчетом.

На рис. 100 показано здание с несущими поперечными стенами, каждая из которых поддерживается двумя вилообразными опорами. Вертикальная нагрузка несущих стен передается на фундаменты через вилообразные стойки, обеспечивающие в сочетании с очень жесткими несущими стенами поперечную жесткость здания. Для этой цели лучше подходят вилообразные стойки, чем вертикальные колонны. Конечно, в

продольном направлении вилообразные стойки не придают зданию жесткости. Поэтому необходимы другие средства, как, например, жесткие продольные стены, капитальные лифтовые шахты и т. п. В некоторых случаях в промышленных одноэтажных зданиях применяются покрытия из оболочек, имеющие в плане почти квадратную форму. Оболочка опирается на четыре угловые стойки. В этом случае получаются опоры, подобные пучку разветвляющихся вилообразных стоек. В конструктивном отношении такие опоры не являются вилообразными стойками в том смысле, как они определялись выше, так как опоры состоят из четырех не зависимых друг от друга угловых стоек, поддерживающих смежные оболочки (рис. 101.1). Между бортовыми элементами оболочек предусмотрены температурные швы, место для проходов и разры-

вы, достаточно широкие для доступа света через окна, расположенные на краях оболочек. Опоры должны поддерживать каждую из этих смежных оболочек, представляющих собой в конструктивном отношении изолированные элементы. Однако точки приложения нагрузки слишком близко расположены друг к другу и не позволяют установить четыре независимые вертикальные стойки. Последние стояли бы слишком близко одна от другой. Но расстояние между стойками слишком велико, чтобы их можно было объединить в одну опору. Отсюда возникает необходимость создания сочетания опор, воспринимающих усилия нагрузки в четырех удаленных друг от друга точках и передающих их на общую пятую опору. Внешний вид опоры, в конечном итоге, остается более или менее одинаковым, — состоит ли она из двух отдельных расходящихся кверху наклонных стоек, поставленных рядом с такими же стойками смежных оболочек (рис. 101.1), или из четырех стоек, расходящихся пучком и поддерживающих четыре угла смежных оболочек покрытия (рис. 101.2). Однако для правильного формообразования деталей этой конструкции требуется полная ясность функций опор.

Если рассматривать бортовой элемент оболочки кровли вместе с парой наклонных опор в качестве замкнутой системы, показанной на рис. (101.1), то вся эта система работает как рама. Назначение этой рамы состоит не в том, чтобы разгрузить ригель, который в соединении с бортовым элементом оболочки обладает достаточной жесткостью, а в том, чтобы придать конструкции жесткость в горизонтальном направлении. Боковые усилия, вызываемые ветровой нагрузкой, являются небольшими, так как поверхность кровли, на которую они воздействуют, сравнительно небольшая. В результате соответствующих расчетов получаются относительно тонкие наклонно стоящие стойки рамы. Следует отметить, что эти наклонные стойки не представляют собой ни V-образную и ни виллообразную опоры. Они производят впечатление виллообразных опор. Поэтому было бы правильным произвести четкое разделение функций смежных наклонных стоек и установить их на фундамент независимо друг от друга.

Если наклонные стойки рассматривать не как рамную конструкцию, жестко связанную с бортовым элементом оболочки, то необходимо предусмотреть их прочное защемление в фундаменте. В противном случае не будет достигнута боковая жесткость конструкции.

Смежные опоры соединяются друг с другом в пите, образуя одну общую опору, показанную на рис. 101.2. Здесь не следует стремиться к расчленению наклонных стоек у пьесталей. Наоборот,

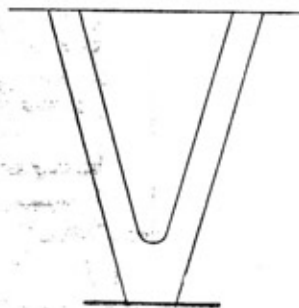
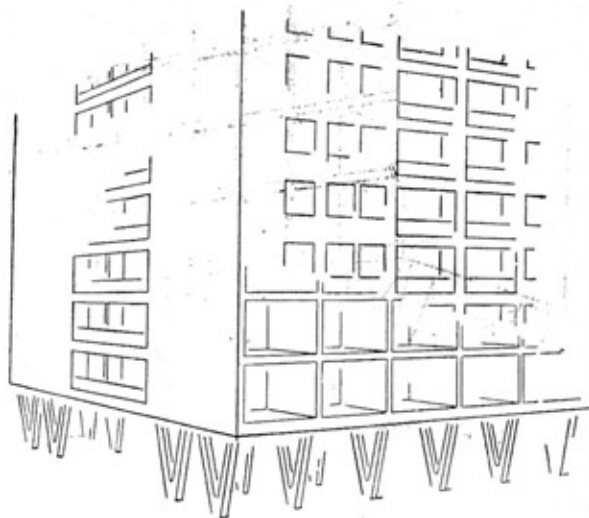
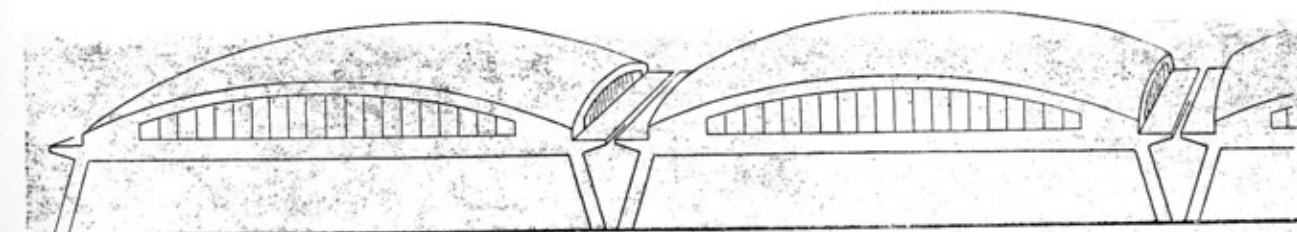


Рис. 100. Простая форма виллообразных стоек с зубьями постоянного сечения в сочетании с поперечными несущими стенами

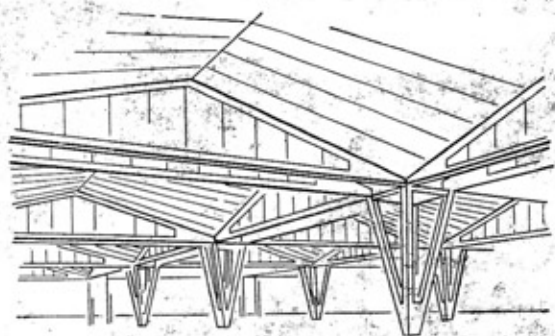
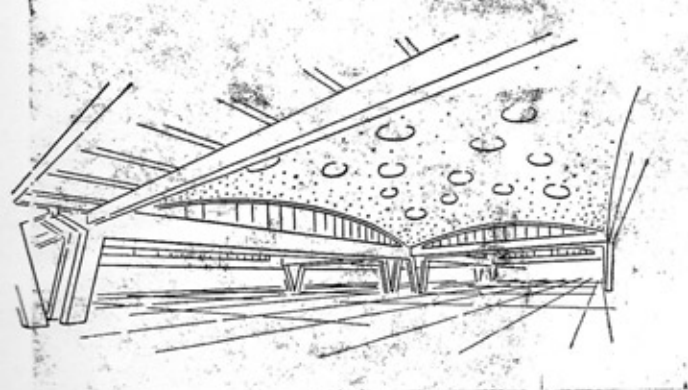
для того чтобы придать им хорошую форму, необходимо соединить их в пите в плотный узел. А шарнирное соединение вверху может быть выражено соответствующим сужением стоек. Насколько легко найти решение для внутренних опор покрытия большого зала, настолько же трудно найти форму подобной опоры для периметра сооружения. По-видимому, в этом случае конструкция, показанная на рис. 101.1, является наилучшим решением.

Промежуточные опоры моста через р. Рону представляют собой наклонные стойки, аналогично опорам большого зала, показанного на рис. 101.1. Ширина опор моста соответствует полной ширине проезжей части. Каждая пара стоек, размещенная одна за другой, производит впечатление виллообразных опор. Сужение стоек книзу при наличии шарнирной пьесталей является правильным, как и уширение их кверху по направлению к узлам рамы, где изгибающие моменты наибольшие.

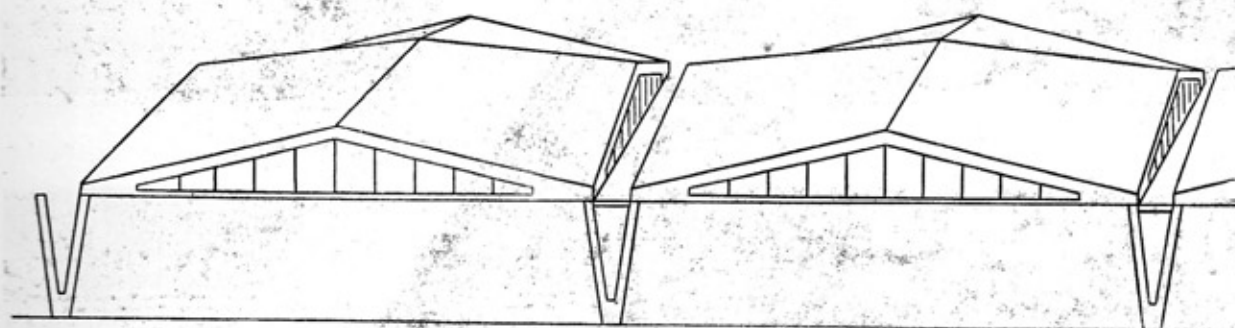


25,3 м

1



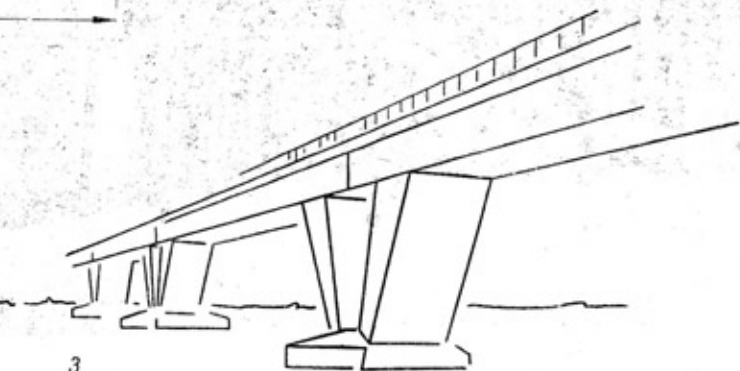
2



15 м

Рис. 101. Вилообразные пучки стоек

1. Рамные стойки, конструктивно связанные с бортами оболочки, ясно отделены друг от друга
2. Несколько стоек, заземленных в фундаменте, объединяются в пилообразную конструкцию, воспринимающую нагрузку покрытия посредством верхних шарнирных соединений
3. Рамные конструкции мостов, расположенные друг за другом, создают впечатление пилообразных опор



3



Фото 14. Спортивный зал Олимпия (Палацетто) в Риме. Деталь опоры. Инж. Пьер Луиджи Нерви

Рис. 102. В здании электростанции в Бирсфельдене, Швейцария, стержни V-образных стоек внизу заземлены. Верхние «рогатки» стоек, непосредственно соприкасающиеся друг с другом, образуют жесткую систему, необходимую при складчатом покрытии. Нагрузка передается на верхние концы «рогатов»

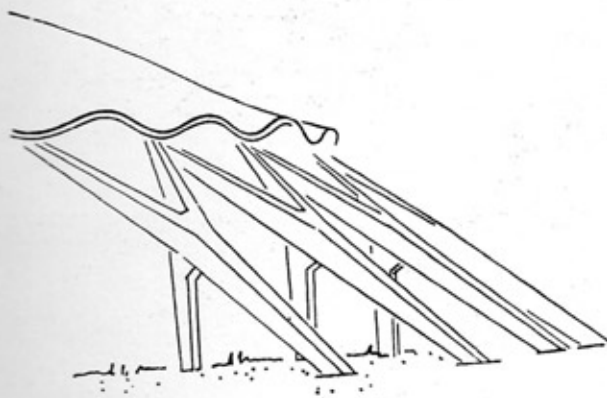
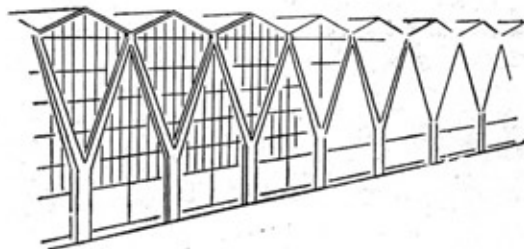
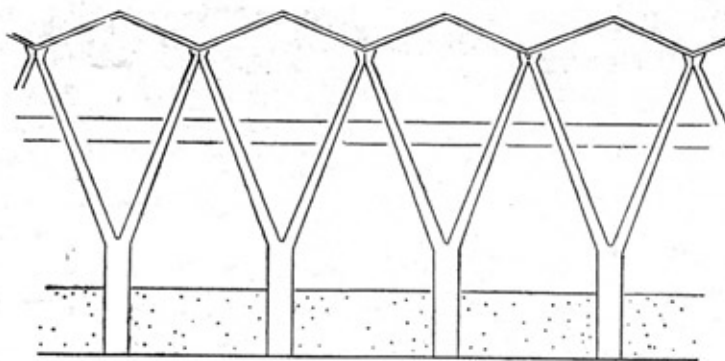
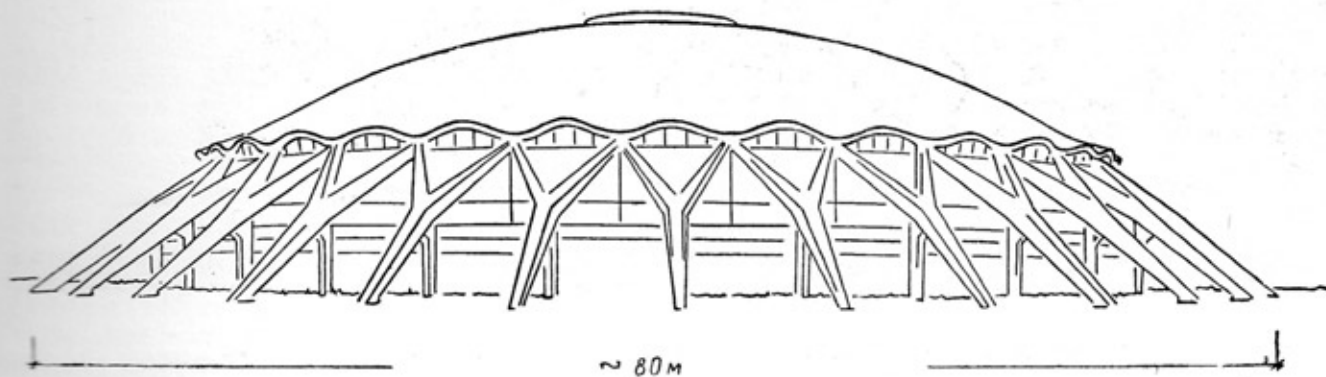


Рис. 103. Спортивный зал около Рима, построенный по проекту Нерви, имеет V-образные опоры, шарнирно укрепленные сверху и внизу. Несмотря на это, сооружение является устойчивым благодаря своей пространственной жесткости



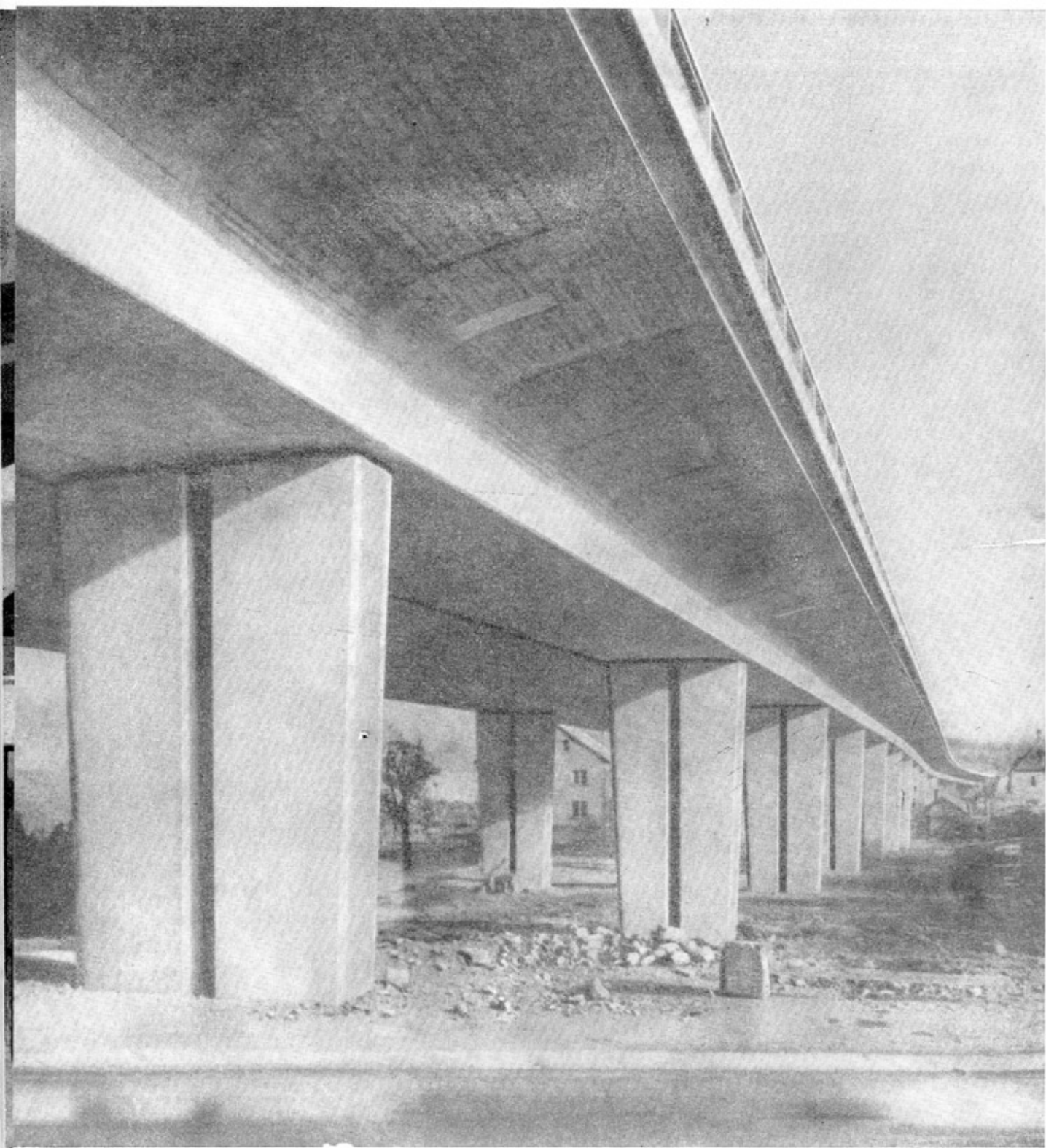


Фото 15. Мост через долину Оос около Баден-Бадена

В завершение этого раздела следует упомянуть еще об одной форме, которая до настоящего времени редко находила применение. Она характеризуется V-образной вилкой, которая начинается приблизительно на половине высоты опоры.

Опора состоит из верхней вилкообразной части и нижней цельной стойки. В здании электростанции в Бирсфельдене (рис. 102) применены опоры этой конструкции. Вертикальные отрезки нижней части стойки коротки, жестко заземлены в фундаменте и поэтому обладают большим сопротивлением изгибу. В соединении с тяжелой подкрановой балкой они обеспечивают продольную жесткость здания. В противоположность нижней части наклонные верхние ответвления стойки являются очень тонкими. При этом они воспринимают всю нагрузку конструкции складчатой кровли. В данном случае в отличие от других вилкообразных опор верхние концы не соединены между собой горизонтальным ригелем. Смежные «рогатки» непосредственно соприкасаются друг с другом и образуют треугольные соединения, аналогичные тем, которые применялись в выставочном зале в Лондоне (рис. 95). Там — тонкая кромка купола, а здесь упругий край складчатого покрытия заменяют прочную горизонтальную связь вдоль стены. Само складчатое покрытие является жестким в направлении, поперечном к складкам (сравни главу 3, стр. 169). Жесткость достигается благодаря треугольной связи верхних ответвлений стойки с подкрановой балкой. Складчатое покрытие вместе с вилкообразными опорами, подкрановыми балками и заземленной в фундаменте стойкой образуют единую конструктивную систему, в которой каждая часть имеет свое назначение.

Принципиально такую же форму имеют V-образные опоры дворца спорта в Риме, построенного по проекту Нерви (рис. 103 и фото 14).

У этого сооружения в отличие от здания в гор. Бирсфельдене все ветви опор на концах сужаются. Это свидетельствует о шарнирной связи на концах и о жестком соединении стоек и зубьев в центре V-образной звезды. Жесткое соединение опор, необходимое в плоскостной системе Бирсфельденской электростанции и осуществленное посредством заземления стоек в пяте, а также соединения их с подкрановой балкой в данном случае становятся излишними. В целом жесткие опоры V-образной формы образуют в этой пространственной системе усеченный конус, который, несмотря на шарнирные соединения вверху и внизу, представляет собой несущую конструкцию большой жесткости. V-образные опоры по периметру здания опираются на анкерное кольцо, уложенное под зем-

лей. Пространство между стойками такого типа лучше используется, чем при V-образных опорах, разветвление которых начинается на уровне земли. На тонкие верхние концы стоек опирается плоский купол. Место приложения нагрузки подчеркивается легкой волнистостью кромки купола. Волнистость противодействует провисанию края купола между точками опоры. Но волнистостью также подчеркивается, что край купола может быть нежестким при опирании на неподвижные точки соприкосновения зубьев (сравни купол выставки в Лондоне, рис. 95, и покрытие здания в Бирсфельдене, рис. 102). Кроме того, легкая волнистость позволяет лучше освещать внутреннее пространство здания. Все части здания как в функциональном отношении, так и в отношении конструкции и внешней формы образуют единое целое. Есть все необходимое и ничего лишнего. Конструкция представляет собой изящно расчлененную красивую форму, причем эта форма, по сути дела, является чисто утилитарной.

В этом разделе, посвященном вилкообразным опорам, сделана попытка еще раз показать разновидности V-образных опор и как трудно в этом многообразии найти и правильно применить именно ту форму, которая дает тектонически удачное решение. Рассмотренные мощные и выразительные формы представляют собой лишь исключения.

Не все инженеры считают нужным заниматься вопросами эстетики. Часто их целью является лишь получение безупречных размеров конструкций. Инженер находит удовлетворение в любом решении, если оно только подтверждается расчетами. Но подлинное инженерное достижение требует большего. Инженер не должен услужливо и некритично обосновывать расчетами все то, что архитектор вздумает нарисовать. Самую худшую конструктивную и архитектурную форму можно всегда рассчитать. Но от этого нет никакого толка. Инженер должен активно участвовать в творчестве архитектора и энергично высказывать ему свои возражения, если проект с точки зрения статики является неразумным. Инженер не должен стремиться все оправдывать расчетами; он должен разъяснить архитектору смысл конструкции для того, чтобы она подсказала ему новые архитектурные формы.

С другой стороны, большинство архитекторов сторонится проблем статики. Им недостает понимания глубоких внутренних взаимосвязей современных конструкций, которые составляют столь важный компонент современной архитектуры. Пока очень немногие архитекторы признали, что не одним только художественным вдохновением создаются подлинно новые формы,

а лишь ясно осознанные рациональные зависимости могут служить предпосылкой для творческого вдохновения. Широко распространено ложное мнение, что систематическое мышление в этой области будто бы сковывает фантазию и задерживает свободный полет мыслей. Знание основных законов, которым подчиняется строительная механика и на основе которых создаются правдивые и монументальные формы, никак не может мешать вдохновению. Наоборот, оно помогает архитектору создавать новые формы.

Все эти вопросы связаны с отношением к технике и ее значением для современной архитектуры. Это отношение может измениться лишь в течение ряда поколений путем воспитания. Сегодня еще рано говорить об окончательно созревших решениях, ведь ежедневно открываются новые технические горизонты. Но с другой стороны, именно неисчерпаемости художественных возможностей, современная архитектура обязана своей жизненностью и необыкновенным очарованием.

V-образная стойка с уширенной верхней опорной частью

Описание V-образной опоры будет неполным, если не упомянуть еще об одной особой ее функции. В настоящем разделе рассмотрим V-образную стойку с уширением сверху, служащим хорошей опорой для широких ригелей, уложенных в направлении, поперечном к плоскости, образуемой расходящимися гранями V-образной опоры. Здание гаража в Сен Галлене (рис. 104.1), устои моста в Баден-Оосе (фото 15) и Париже (рис. 104.2) и своеобразные устои моста на Арве, построенного инж. Майаром около Весси — Женева (рис. 104.3), — все это примеры использования такого рода V-образных опор. У моста на Арве V-образные опоры поддерживают не одну широкую балку, а спаренные балки. Правильное понимание этих форм требует рассмотрения всего сооружения в целом, так как сама по себе форма опоры еще мало о чем говорит.

Особые случаи применения V-образных несущих элементов

Классификация V-образных опор в зависимости от их назначения и внешней формы является нелегкой задачей, поскольку этих форм очень много и не каждая форма поддается клас-

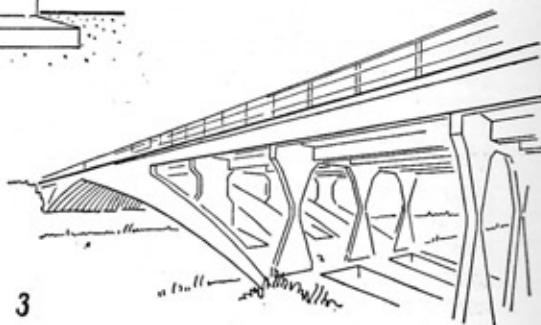
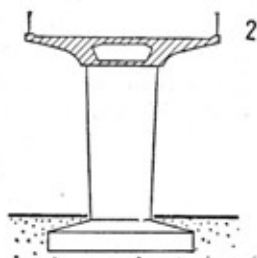
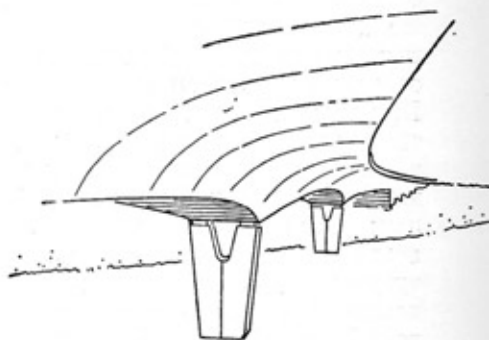


Рис. 104. V-образная форма колонны заменяет разгрузочную подушку для опирания вышележащей конструкции

1. Широкие плоские балки нуждаются в соответствующей широкой плоскости опор; V-образная колонна установлена здесь перпендикулярно направлению пролета балки, т. е. не работает как стойка рамы
2. Проезжая часть моста опирается на отдельно стоящие опоры с соответственно уширенным верхом
3. Инж. Майар применил для моста в Весси-Женева разновидность V-образной опоры, установленной перпендикулярно направлению пролета для того, чтобы получить большую опорную площадь

сификации. Имеются особые разновидности форм, представляющие большой интерес. Поэтому описание рассматриваемых опор мы заканчиваем описанием «особых случаев» их применения, причем понятие V-образной опоры в этих случаях необходимо несколько расширить. Тектоническая форма не может получиться только в результате применения правил и законов; она органически вырастает из многообразия зависимостей, причем правила и законы являются лишь частью определяющих ее факторов.

Опоры ангара, построенного по проекту Нерви

В начале настоящей главы вкратце упоминались известные из истории строительного искусства примеры V-образной опоры (см. рис. 52—54), сужающейся кверху. Современная V-образная опора, которая до сих пор рассматривалась нами, сужается книзу, опираясь своим заостренным концом на фундамент.

В современной архитектуре стали вновь применять V-образные опоры, облик которых ближе к средневековым контрфорсам, поддерживающим своды, чем к современным рамным конструкциям. Но это не значит, что произведения современного инженерного искусства должны ассоциироваться с историческими архитектурными формами. То, что технически грамотно и ясно в тектоническом отношении и, кроме того, экономично и практически удачно решено, может всегда быть облечено в хорошие современные архитектурные формы!

Нерви является одним из тех, кому это удается без всяких оговорок. Конструируя опоры спроектированных им ангарах для самолетов, он закономерно подходит к созданию формы, резко отличающейся от тех, которые применялись до сих пор. Эти опоры не создаются произвольно и не являются плодом предвзятого представления о форме. Форма этих опор является следствием тектонической закономерности (рис. 105). Применение в данном случае опор, сужающихся книзу, было бы равносильно чистейшему модернистскому формализму. При данном конструктивном решении нет такого места, где можно было бы жестко соединить V-образную опору с ранд-балкой или ригельным элементом покрытия.

Покрытие представляет собой филигранный свод особой формы, смонтированный из сборных элементов. Последние сопрягаются, образуя кривые ребра. Благодаря тому, что ребра кре-

стообразно пересекаются друг с другом, они образуют пространственную связь. Система пересекающихся ребер с точки зрения статики работает частично как цилиндрический свод, а частично как оболочка купола и является настолько замкнутой конструкцией, что «приращивание» к ней отдельных элементов, например опор, нельзя оправдать ни в конструктивном отношении, ни с точки зрения формы. Точечное опирание покрытия на ограниченное число опор является в данном случае единственно убедительным решением.

Несущая способность рамной конструкции зависит от прочности ее сечений на изгиб, а несущая способность свода, оболочки или висячей цепи — от их формы. Если форма кривой правильная, то свод обладает несущей способностью даже тогда, когда его сечение не имеет достаточной прочности на изгиб. Кривизна свода должна иметь направление, обратное направлению висячей цепи.

В обеих этих конструкциях не действуют усилия изгиба, если для них найдена правильная форма. В этом заключается кардинальное различие между арочной и рамной конструкциями.

Арка, не обладающая устойчивостью против изгиба или обладающая только небольшой устойчивостью, не может иметь жестких узловых соединений, подобно раме, тем самым она не допускает передачи опорам изгибающих моментов. Без жесткого соединения узлов и без передачи изгибающих моментов стойкам V-образная опора, установленная вершиной вниз, лишена всякого смысла. В конце арки возникают прежде всего наклонно направленные усилия сдвига. Направление их проходит приблизительно по касательной к дуге арки. Опора должна воспринять наклонно направленные усилия сдвига. Это является главным требованием к конструкции опоры, определяющим ее форму.

Основная нагрузка подобных покрытий состоит из вертикальной нагрузки, собственного веса покрытия и ветровой нагрузки. Вертикальная нагрузка определяет форму арки. Если ее очертание приближается к перевернутому очертанию висячей цепи, то вертикальные нагрузки могут передаваться по арке как силы сжатия, не вызывая при этом усилий изгиба. В опорах в этом случае возникают усилия сдвига, показанные на рис. 106.1. Тем самым вертикальная нагрузка, определяющая габариты арки, отводится экономичным способом к опорам. Помимо этого, следует учитывать действие ветра.

У высоких сооружений оно имеет решающее влияние на форму. Ветер оказывает несимметричное действие на сооружение с разных сто-

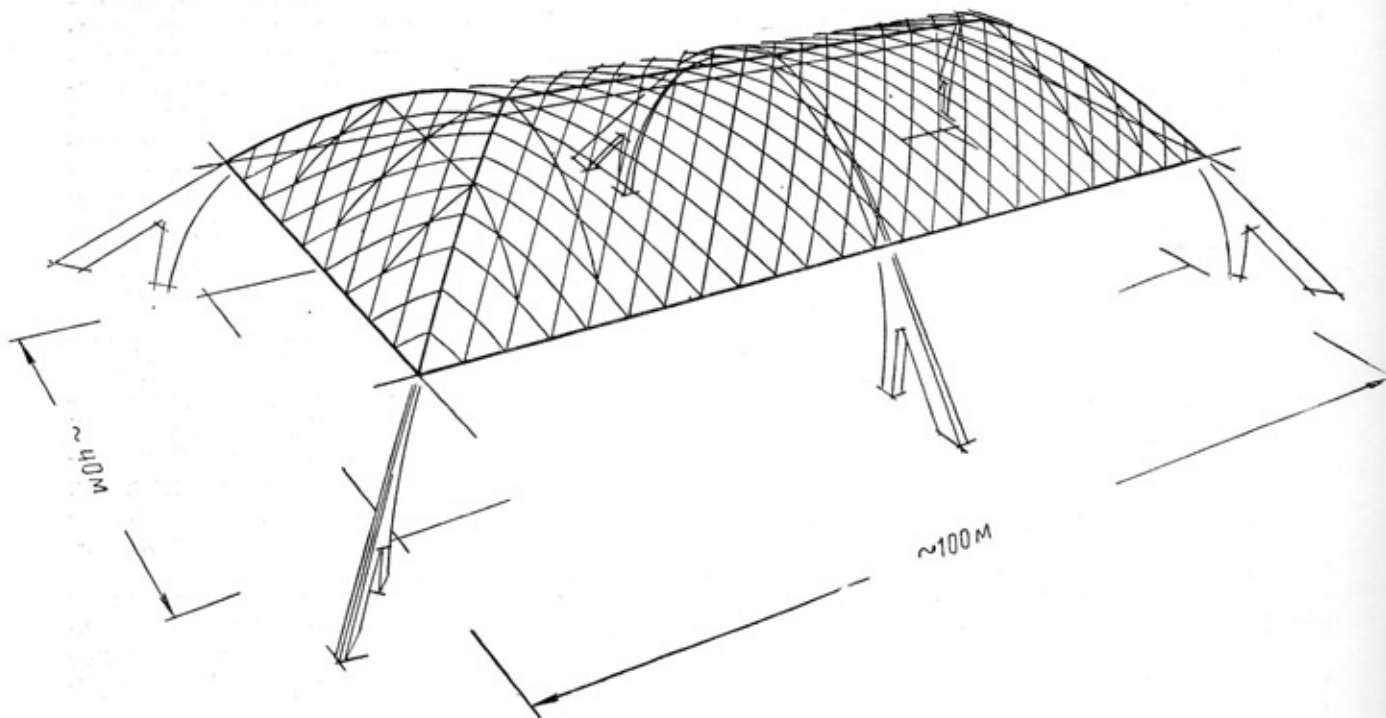
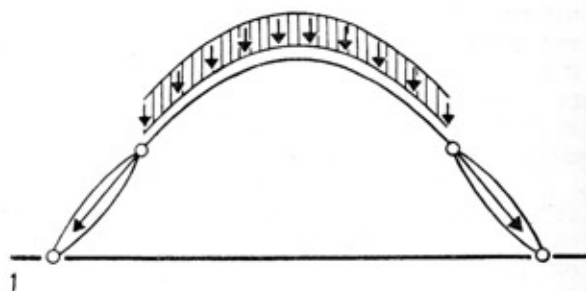
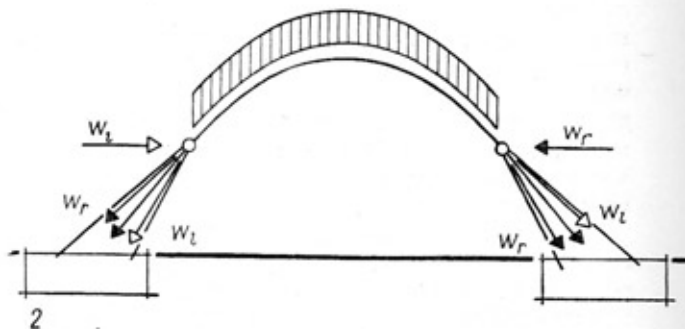


Рис. 105. Опоры арок ангаров внизу широкие, а наверху узкие. Они представляют собой перевернутые V-образные опоры, но с рамной конструкцией ничего общего не имеют. Инж. Нерви



1



2

Рис. 106. Форма опор соответствует направлению действующих усилий

1. Симметричная постоянная нагрузка определяет основное направление усилий в опорах. При наличии только шарнирных соединений опоры становятся неустойчивыми
2. Изменение в направлении ветровых нагрузок воздействует и на направление усилий в опорах. Крайние положения определяют форму опор. Заделка в фундамент обеспечивает их устойчивость



При полной нагрузке

В процессе монтажа

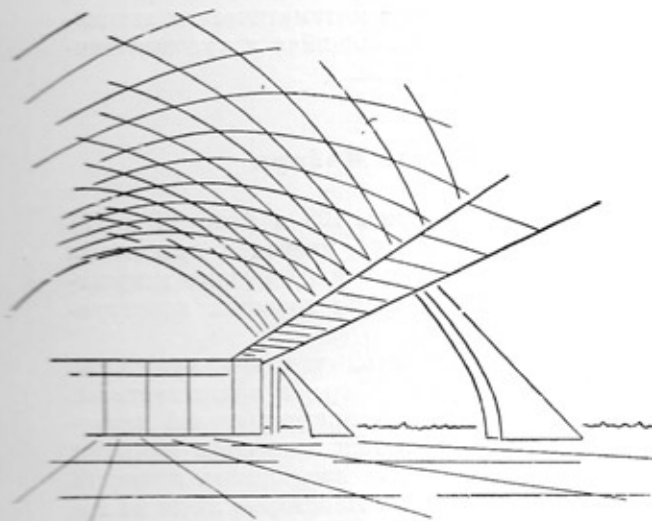


Рис. 107. Для обеспечения устойчивости сооружения во время монтажа, пока распор свода еще не действует, необходимо установить подпорки или же сделать более крутой внутреннюю сторону несущей арки

рон. Он меняет величину и направление усилий сдвига в арке, действуя то слева, то справа.

На рис. 106.2 показаны усилия сдвига, которые передаются на опору только при равномерно распределенной и предельной ветровой нагрузке. Опора должна быть приспособлена к

восприятию этих сил, меняющих направление. В результате получается расширяющаяся книзу V-образная опора. Она имеет форму защемленного в фундаменте консольного элемента, вынос которого подвергается действию диагонально направленных и меняющих направление усилий. Направление диагональных усилий от собственного веса покрытия в зависимости от расположения его центра тяжести определяет наклон устоя. Действие, оказываемое ветром, меняющим свое направление, определяет новую форму опоры в виде перевернутой буквы V.

Форма конструкции опор (рис. 107), созданных Нерви, в конечном итоге, объясняется тройной взаимозависимостью между нагрузкой, распределением внутренних усилий и удобством выполнения. Если рассматривать только направление усилий в готовом сооружении, то не сразу становится ясно, почему внутренние подкосы опор поставлены так круто. Однако у такого рода конструкций важное значение имеет не только направление внутренних усилий в готовом сооружении при максимальной нагрузке, но и усилия, возникающие в процессе монтажа конструкции, когда отсутствует распор, создаваемый сводом. На этой стадии должна быть обеспечена устойчивость опор против опрокидывания внутрь. Отсюда возникает указанная форма.

В связи с этим уместно отметить, что запроектированный Нерви Дворец спорта в Риме имеет наклонные виллообразные опоры, у которых сильно раскошенные ветви расположены под углом, соответствующим направлению передающейся на них силы сдвига от купола. На рис. 103 показано, как они подпираются вертикальными вспомогательными стойками, применяемыми только в целях облегчения монтажа. Их направление не совпадает с направлением опорных реакций. Нерви рассказывал, что, к сожалению, он не мог отказаться от этих вспомогательных стоек, требуемых по условиям монтажа. Построенное сооружение в них не нуждается, несмотря на шарнирные соединения виллообразных опор во всех трех точках. Если посмотреть на разрез сооружения (рис. 107), то оно кажется неустойчивым без вспомогательных опор, но на деле сооружение обладает достаточной пространственной жесткостью, так как виллообразные опоры, установленные по периметру, придают всей системе необходимую устойчивость.

Здание зала (рис. 106.1), перекрываемого арочными элементами, не имеющими пространственной жесткости, в целом является неустойчивым. Поэтому здесь приходится применять защемленные, уширенные книзу, неопрокидывающиеся V-образные опоры.

Так следует понимать конструкции опор залов и ангаров, спроектированные Нерви. В их форме убедительно выражены сила и логичность конструкции. Однако воспринимать только форму, не замечая ее конструктивной функции, недостаточно. Форма приобретает жизненность благодаря наличию заложенной в ней идеи. Ее полная эстетическая выразительность раскрывается только перед тем, кто умеет видеть техническую обоснованность формы.

Проект церкви

Читателю может показаться странным, что в данном случае речь идет о проекте. Разве мало имеется выполненных построек, о которых стоило бы поговорить в связи с настоящей темой?

Таких построек не мало, но у них выразительности тектоники встречается не так уж часто. Поэтому ниже будут рассмотрены два проекта итальянца Кастилиони (проект церкви в Монтекатини и проект вокзала в Неаполе).

В лице Кастилиони на редкость удачно сочетаются таланты художника, скульптора, архитектора и инженера. Сочетание первых трех талантов встречается часто. Но только в редких случаях к ним присоединяется также талант техника и инженера. Вот почему работы Кастилиони отличаются такой завершенностью, а также технической и художественной выразительностью.

Перспектива и внутренний вид (108.1 и 108.2) дают представление о помещении церкви, перекрытой выразительной трехшарнирной аркой¹. Но арка служит не только элементом, ограждающим пространство и поддерживающим покрытие. Она перекрывает пространство и как бы делит его на нижнюю зону, в которой находятся люди, и на верхнюю зону, пронизанную светом и как бы невесомо парящую над нижней. Интересно задуманная сетка в форме пчелиных сот преломляет поступающий свет, рассеивает и направляет его. Впечатление, производимое этой парящей в воздухе световой решеткой, создается благодаря сводчатой конструкции, опорные пятны которой расположены выше внутреннего пространства церкви, охватываемого глазом. Верхняя сводчатая конструкция «световых сот» опирается на соответствующие выступы трехшарнирных арок, создавая усилия сдвига, вызываемые верхним сводом. Воспринять эти

усилия без помощи внутренних затяжек и околным путем направить их через жесткие опоры арки под пол помещения — в этом заключается привлекательность и сила данного решения. Архитектору удалось придать V-образным элементам арки особый смысл, а всей пространственной конструкции — своеобразную прелесть.

Распределение сил схематически представлено на рис. 108.3. Направление давления в опорной части верхнего свода, показанное стрелками, выявляет связующие и несущие функции нижней арки. Нагрузка последней состоит из нагрузки от собственного веса, ветровой нагрузки и нагрузки сотового свода сверху. Усилия, вызываемые первыми двумя видами нагрузки, малы. Решающее значение имеет нагрузка верхнего свода.

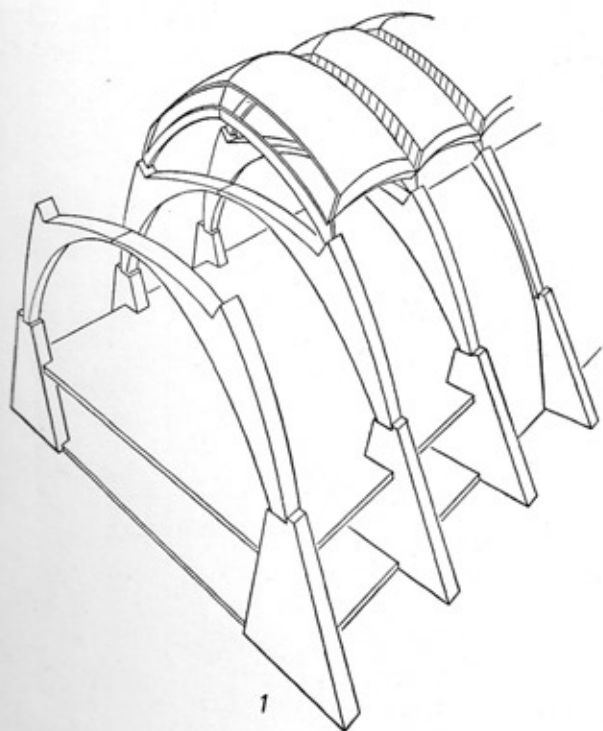
На рис. 108.4 дана эпюра моментов конструкции при неблагоприятном сочетании нагрузок. Для специалиста язык эпюры является наиболее ясным. Однако и неискушенный видит близость рассматриваемых форм к формам арок. Эта близость бросает свет на комплекс проблем, берущий свое начало в математических закономерностях и заканчивающийся в художественном образе сооружения.

Мосты Майара

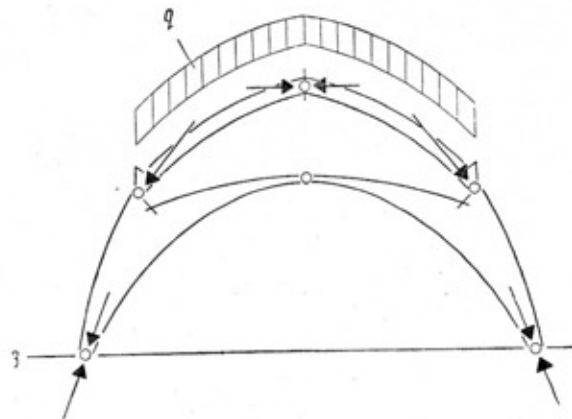
Мосты Майара (рис. 109 и фото 16 и 17) в Швейцарии являются наиболее красивыми примерами современного инженерного искусства. Они служат образцами хороших конструктивных форм.

Интересно отметить, что это признание меньше распространено среди представителей инженерной науки, чем представителей искусства. Однако ошибочными являются попытки некоторых архитекторов представить личность Майара как художника. Некоторые люди не хотят допустить мысли о том, что обычный инженер может создать красивые произведения. Считают, что если даже он сам этого не сознавал, все же он был большим художником. Иначе нельзя объяснить красоту его творений. Для доказательства приводят самые смелые сравнения. Сопоставление схем армирования, предложенных Майаром, с абстрактными графическими композициями или изображение его моста рядом с конструктивистской скульптурой могут вызвать только остроумные художественные ассоциации, но не более. От таких сравнений лучше не раскрывается личность Майара, как человека, и его произведения не становятся ближе и понятнее. Майар был талантливым инженером и не принадлежал к типу художника. Он

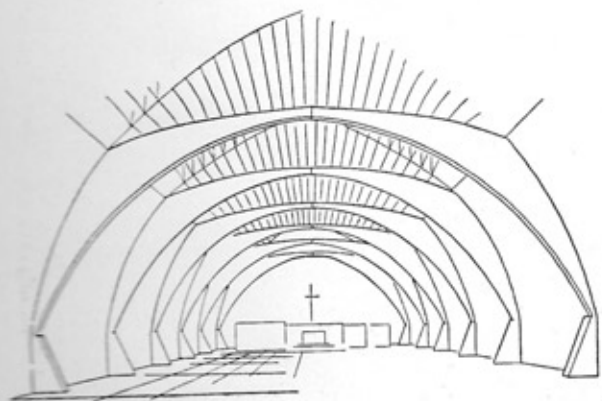
¹ Автор здесь применяет термин трехшарнирная рама. В нашей технической литературе для обозначения сборных рамных конструкций с криволинейным «арочным» очертанием утвердился термин — «трехшарнирная арка» (Прим. науч. редактора).



1



4



2

Рис. 108. Проект церкви, перекрытой трехшарнирными арками на V-образных сборных элементах.
Арх. Кастильони

1. Эскиз конструкции
2. Внутренний вид
3. Элементы сетчатого свода, через который поступает верхний свет, опираются на выступы трехшарнирной арки, воспринимающие распор свода
4. Эпюра моментов соответствует форме несущей конструкции

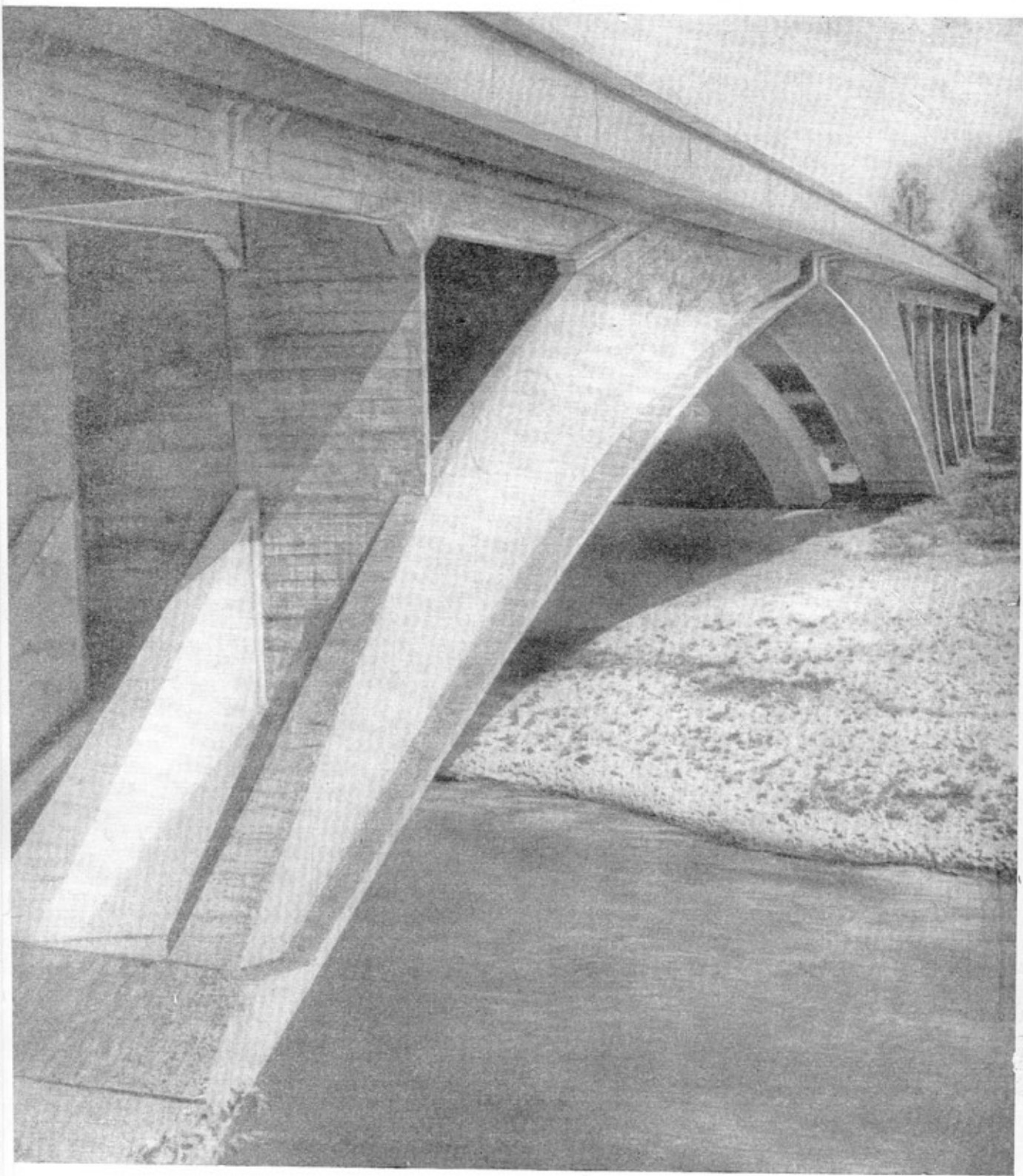


Фото 16. Мост через реку Тур, Швейцария. Инж. Роберт Майер

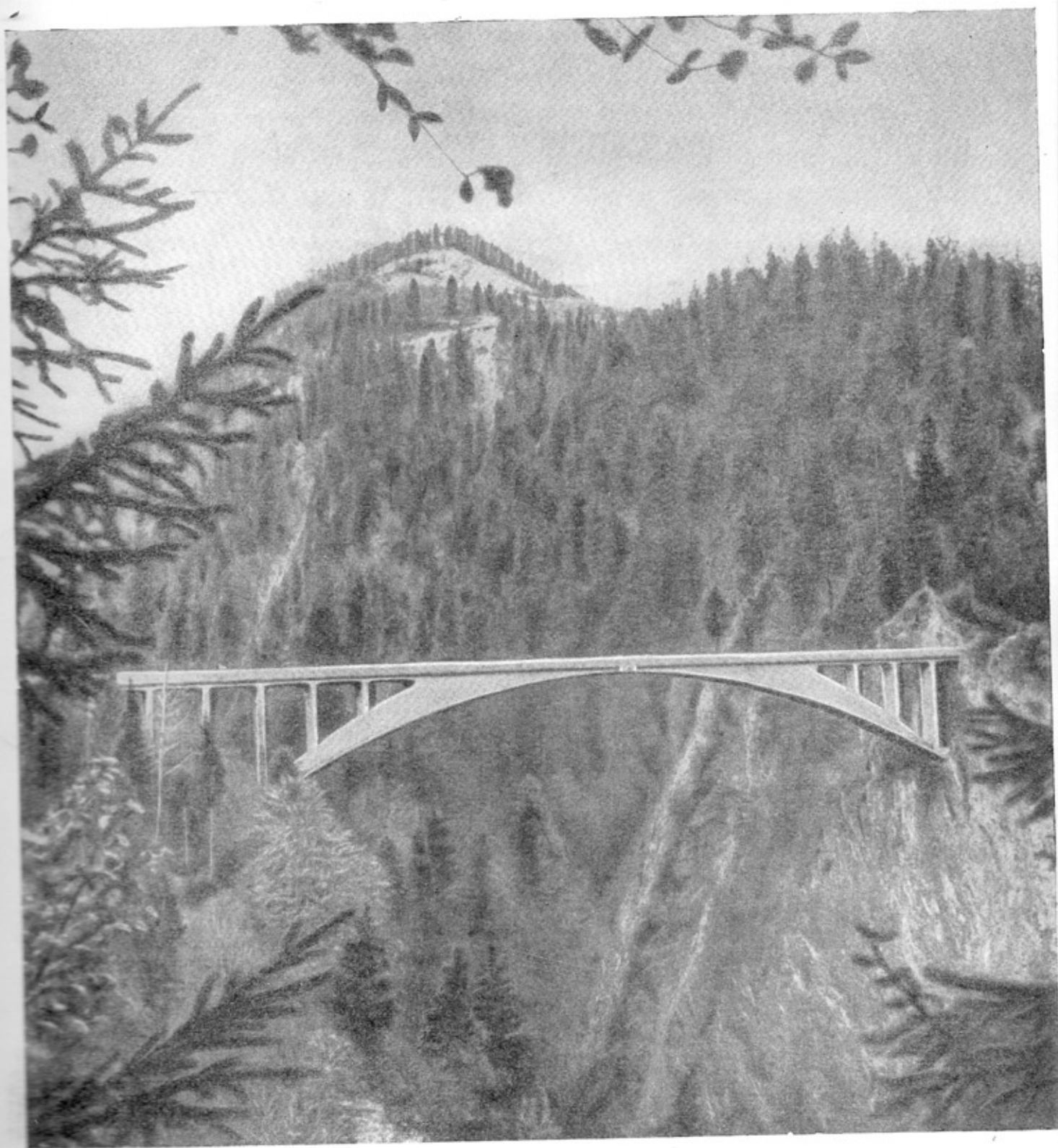


Фото 17. Мост Салгина-тобель, Швейцария. Инж. Роберт Майяр

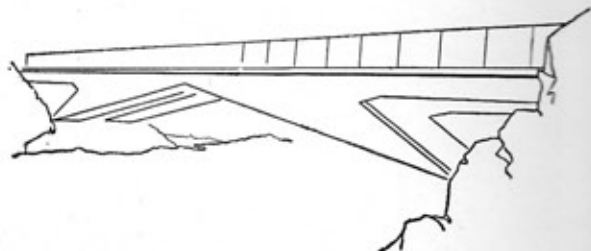
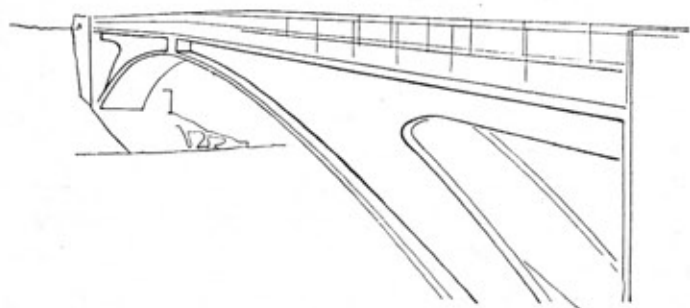
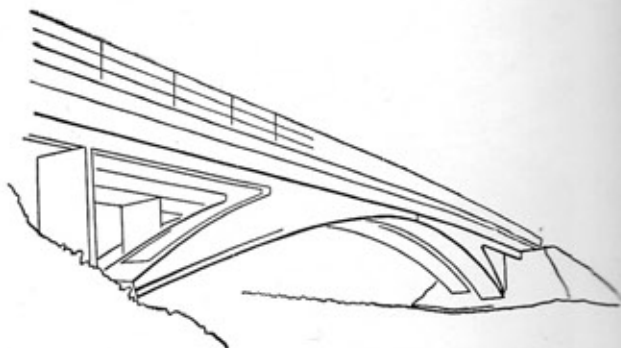
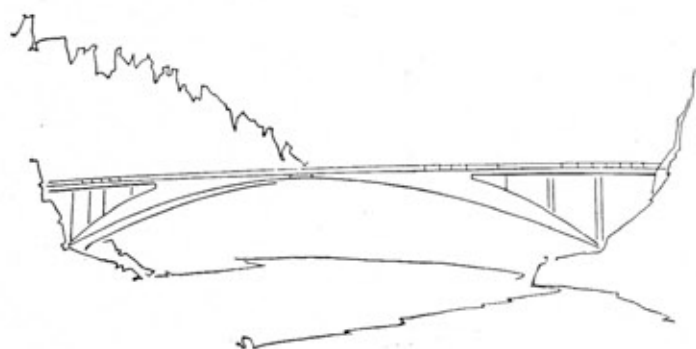
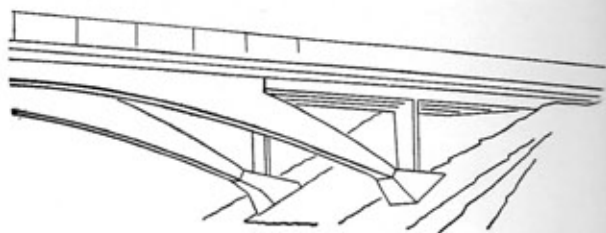
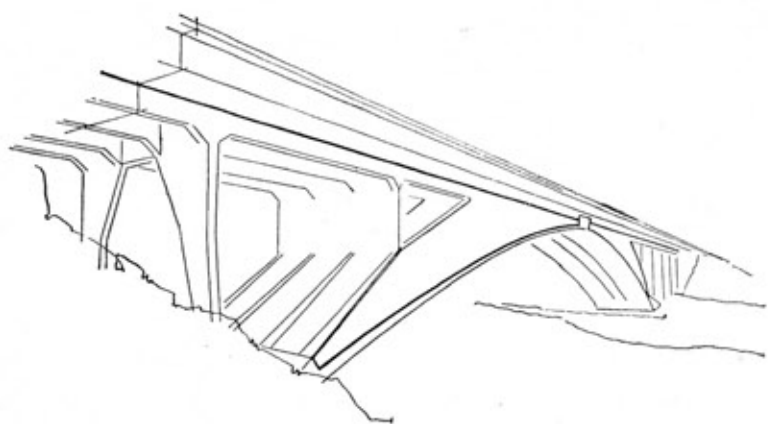


Рис. 109. Различные трехшарнирные арочные мосты инж. Майара, аналогичные по своим формам. Во всех решениях встречается V-образная форма, как составной элемент моста

никогда не признавал себя им. Его творческая одаренность и правильное чутье экономичности конструкций вне всякого сомнения. Но, очевидно, он понимал экономичность не в том смысле, как мы пытались определить ее выше. По всей вероятности, он считал экономичной конструкцией просто дешевую и легко изготавливаемую. По крайней мере, так считают те, кто его знал.

При жизни он подвергался жестокой критике со стороны известных инженеров. Под сомнение была поставлена его добросовестность; его называли «упрощенцем», избегающим применять строгие методы расчетов. Последнее было похоже на правду, поскольку он не любил так называемые «точные», но весьма трудоемкие методы расчета. Он предпочитал применять грубые, упрощенные методы разработки конструкций. Он любил статически определимые, а следовательно, и простые системы. В этом тяготении к простоте заключалась его сила, его творческое кредо.

Однако было бы ошибочным делать вывод, что произведения Майара были продиктованы художественным вдохновением. Против этого ясно говорят и творчество, и почерк автора. Произведения Майара, в частности его мосты, следует рассматривать исходя из понимания самого человека Майара, его образа мысли, его манеры работать. При этом его следует видеть таким, каким он был, а не таким, каким его хотят видеть.

Рассмотрим сначала тектонические формы его мостов не с эстетической стороны. Поставим вопросы: что они собой представляют? Почему они именно так сделаны? Какой цели они служат? Каким законам механики подчиняются эти отличающиеся своеобразной привлекательностью формы? Какая существует связь (если она имеется) между внутренней закономерностью и внешней формой? Каким путем автор достиг таких результатов?

Если после этого мы рассмотрим произведения Майара с эстетической точки зрения, мы заметим, что предварительное раскрытие действующих в нем закономерностей дало нам очень много. Понимание конструктивного смысла сооружений Майара усиливает получаемое от них эстетическое наслаждение.

Прежде всего необходимо рассмотреть две функции сооружения. Согласно поставленной задаче, проезжая часть моста является наиболее важной (рис. 110.1). Она служит транспортному потоку. Как правило, проезжая часть должна быть прямой и ровной. Она является частью улицы еще до того, как становится частью моста. Чтобы поддерживать проезжую часть над пропастью, требуется несущая конструкция, собственно мост (рис. 110.2) Проезжая часть и

несущая конструкция могут слиться воедино и образовать одно целое. Майар стремился создать такое целое. Он достигал этого, руководствуясь одними только соображениями экономичности. Для него проезжая часть не является мертвым грузом. Она как элемент, служащий для пропуска транспорта, рационально включается в систему несущей конструкции.

Для того чтобы понять конструкцию этих трехшарнирных мостов, необходимо представить себе их оптимальную форму с точки зрения законов статики. Оптимальная форма всякой арочной конструкции, которая находится под действием одного только собственного веса, т. е. почти равномерно нагружена по всей длине арки, приближается к параболе — кривой давления (рис. 110.3). Последнюю можно наглядно изобразить, если перевернуть кверху линию, образуемую цепью, подвешенной к двум точкам. Подобно тому, как звенья цепи под действием собственного веса образуют кривую, в которой все звенья подвергаются только растяжению, так же и элементы арки образуют дугу, в которой действуют только сжимающие усилия. Всякое отклонение от кривой давления создает в арке дополнительные усилия от возникающего при этом момента, что требует увеличения размеров сечения. Максимальное приближение оси арки к кривой давления позволяет получить наиболее экономичные размеры конструкции. Кривая давления является явно выраженной «правильной» конструктивной формой. В древнем строительном искусстве ее не использовали. Римляне применяли полуокружность, являющуюся чисто геометрической, а не тектонической формой. Очертание готической стрельчатой арки ближе подходит к кривой давления. Однако только в современных строительных конструкциях окончательно определилось очертание кривой давления, главным образом при строительстве мостов. Здесь она является правильной утилитарной и поэтому красивой формой.

Эта простая взаимосвязь между кривой давления и формой арки существует только при постоянной симметричной нагрузке, например, при нагрузке от собственного веса. Но от транспорта, проходящего по мосту, возникают всевозможные сочетания нагрузок, в том числе и несимметричные. Если нагружена одна половина арки, то последняя деформируется следующим образом: под нагрузкой арка прогибается книзу, в то время как другая половина ее выгибается вверх (рис. 110.4).

При перемещении нагрузки этот процесс совершается в зеркальном изображении. Если наложить друг на друга линии упругой деформации, отражающие оба случая односторонней

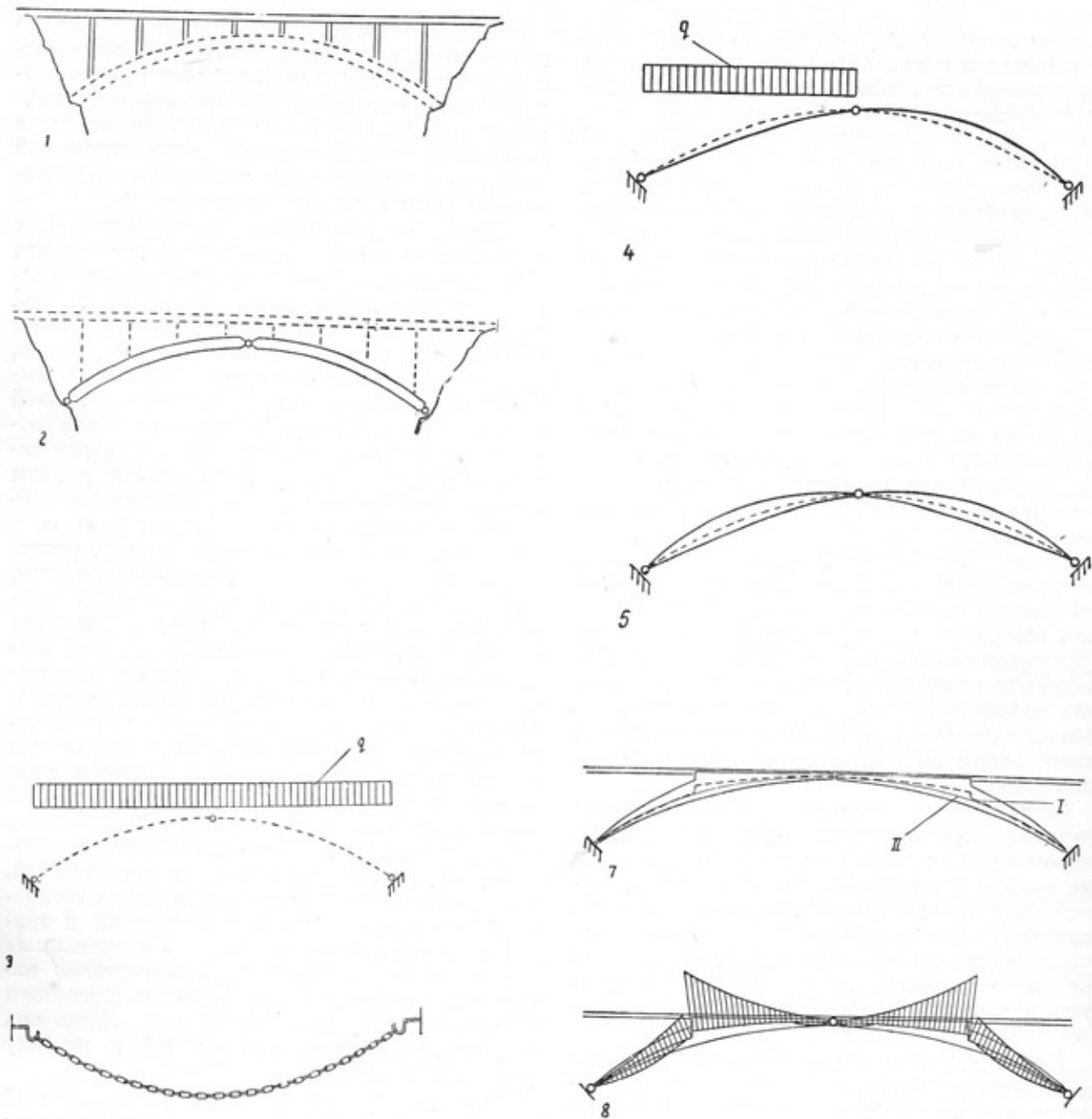


Рис. 110. На примере моста Салгина — Тобель видна тесная связь между формой, законами статики и конструкцией. Детальный анализ конструкции и формы показывает, что:

1. Сооружение состоит из двух основных элементов, выполняющих различные функции: из проезжей части и
2. из несущей части
3. Оптимальное очертание (кривая давления) несущей конструкции при постоянной нагрузке приближается к параболе в виде перевернутой линии свободно висящей цепи. При этой основной форме арка не подвергается изгибающим моментам. При симметричной постоянной нагрузке в ней возникают усилия только чистого сжатия.
4. При односторонней нагрузке несущая конструкция подвергается дополнительным изгибающим моментам и соответствующим упругим деформациям
5. При переменной нагрузке упругая деформация колеблется между верхней и нижней предельными линиями. Линии упругой деформации образуют линзообразные секции, которые схематично отражают степень деформации и величину изгибающих моментов; тем самым они принципиально определяют форму арки

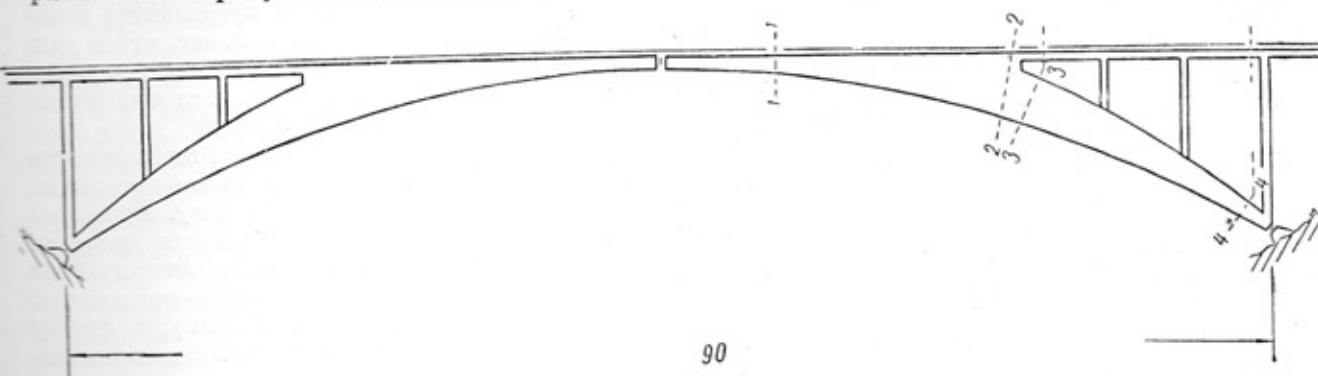
нагрузки, то на обеих сторонах получаются линзообразные фигуры (рис. 110.5), которые в несколько преувеличенном масштабе отображают диапазон колебаний, в пределах которого арка деформируется под предельной несимметричной нагрузкой. Максимальные деформации находятся приблизительно на половине расстояний между шарниром опоры и шарниром, расположенным в вершине арки, т. е. приблизительно на $\frac{1}{4}$ длины всей дуги. В местах наибольшей деформации действуют наибольшие изгибающие моменты, а следовательно, там требуются сечения наибольших размеров. Между линзами, показанными на рис. 110.5, и формой арки (рис. 110.6) существует вполне определенная зависимость. Форма арки приятна для глаза. Она ясно выражает устойчивость арки, в частности, при наличии односторонней опасной для арки нагрузки.

Эти статические свойства арки необходимо увязать с конструктивными требованиями (рис. 110.6). Речь идет прежде всего о плите проезжей части, форма, положение и габариты которой заранее заданы. По направлению к середине моста, где сближаются арка и плита проезжей части, образуется профиль коробчатого сечения, состоящий из плиты проезжей части вверх, арки вниз и двух боковых стенок (разрез 1—1).

Жесткость этой коробчатой конструкции возрастает по мере увеличения высоты боковых

стенок до тех пор, пока в сечении 2—2 (вблизи четверти пролета арки, где напряжение последней является максимальным) оно не достигнет своей наибольшей величины. Стремясь приспособить конструктивную схему моста к форме линз, отражающих эпюру моментов, сечение арки по направлению к устою можно вновь уменьшить. В том месте, где верхняя проезжая часть конструкции не опирается на поддерживающую ее арку, коробчатая конструкция распадается. Переход от коробчатого профиля к П-образному скачкообразно изменяет жесткость арки (сравни момент инерции сечений 2—2 и 3—3). Для выравнивания напряжений вертикальные стенки открытого профиля 3—3 делают толще, чем вертикальные стенки сечения 2—2. Соответственно сужению формы линз по направлению к устою уменьшается и высота вертикальной стенки. Сечение арки у устоев доводится до минимума и снова появляется V-образная опора, хотя и выполняющая другую функцию.

Внезапный переход от коробчатой к П-образной форме сечения имеет еще и другое значение для выяснения зависимости между закономерностями статики и формой. Линзы, показанные на рис. 110.5, соответствуют области упругой деформации оси арки при переменной нагрузке и совпадают приблизительно с эпюрой моментов арки при переменной нагрузке. При этом предполагается, что основная форма арки при постоянной нагрузке соответствует кривой дав-



6. Разрезы моста 1—1, 2—2, 3—3 и 4—4 показывают, как проезжая часть и несущая конструкция на сравнительно большом протяжении сливаются в одно целое.
7. Резкий переход от сечения 2—2 к сечению 3—3, обусловленный конструкцией, приводит к нарушению непрерывности оси арки. Ось отклоняется от кривой давления.

1. Ось арки
II. Кривая давления

8. При такой прерывистой оси арки получается также и прерывистость эпюры изгибающих моментов, что полностью соответствует резкому изменению сечения

$$0 - \text{---} - 0$$

$$J_1 = 3300 \text{ дм}^4$$

1

$$0 - \text{---} - 0$$

$$J_2 = 140000 \text{ дм}^4$$

2

$$0 - \text{---} - 0$$

$$J_3 = 31000 \text{ дм}^4$$

3

$$0 - \text{---} - 0$$

$$J_4 = 1800 \text{ дм}^4$$

4

ления. Однако конструктивные требования (например, включение плиты проезжей части в конструкцию) приводят к тому, что форма арки несколько отклоняется от кривой давления. Положение нейтральных осей близких друг к другу сечений 2—2 и 3—3 сильно разнятся. Нейтральная ось арки перемещается скачкообразно (110.7). По мере ее отклонения от кривой давления увеличиваются в линейной зависимости изгибающие моменты, эпюра которых вместо линзообразного очертания принимает форму, скачкообразно меняющуюся от сечения 2 к сечению 3, как и форма арки (рис. 110.8). Обусловленное конструкцией изменение формы приводит к соответствующему изменению изгибающих моментов, что в свою очередь приводит к созданию окончательной формы. Таким образом, замыкается круг наших рассуждений: вначале — определение функции моста, затем — членение его на проезжую часть и несущую конструкцию, учет законов статики, определяющих форму арки, и приспособление последней к требованиям строительства. Все это, осуществленное умелой рукой в соответствии с принципами экономичности, в результате образует единое целое, в котором каждая деталь становится органической частью целого.

В результате правильного сочетания функциональных требований, законов статики и конструктивных возможностей материала создано творение большой гармоничности и красоты. Завершенность формы этого произведения обоснована ясными внутренними взаимосвязями. Было бы неправильно приписывать ее, как это часто делается, Майяру как художнику. Мост, тектоника которого очень точна и ясна, является подлинным инженерным сооружением. Поэтому нельзя в данном случае говорить о художественном вдохновении, привнесённом извне. Более того, на этом примере нами доказано, что чисто техническое сооружение и утилитарная конструкция без каких-либо дополнений могут быть прекрасны.

Отсюда видно, что фундаментально овладевая техническими знаниями в какой-либо области и используя их только согласно утилитарным и функциональным требованиям, можно создать произведения высокого класса, занимающие достойное место среди лучших творений человечества. Мосты Майяра свидетельствуют о том, что тектоническая форма в большинстве случаев создается в результате знаний закономерных взаимосвязей.

Конечно, архитектурное произведение представляет собой более сложный комплекс, чем мост. Но и в архитектуре имеются тектонические формы, которые, как и формы моста, подчиняются строгим законам. Если рассмотреть

эти формы отдельно, то проблемы, связанные с ними, окажутся родственными проблемам, возникающим при проектировании моста. Поэтому современный архитектор не может обойтись без инженера, без современных строительных материалов, без техники; он должен быть последовательным, признавать и уважать «законы тектоники» в архитектуре. В противном случае, он как говорит Майяр, не сумеет внести свой вклад в выявление нового, соответствующего материалу стиля.

V-образные опоры трех измерений

Железобетонная рамная конструкция первого этажа здания ЮНЕСКО в Париже рассматривалась нами выше в качестве двухшарнирной конструкции, устойчивой против ветровой нагрузки. Остановимся на своеобразной пластической форме опор этой конструкции (рис. 111 и фото 18). Эта форма соответствует не только функции рамной стойки, но и функциям стойки, работающей в двух основных направлениях здания. В плоскости рамы (рис. 111.1) стойки упираются вверх, где преобладают большие узловые моменты. Книзу они сужаются и принимают форму буквы V. В продольном направлении здания вниз стойки толстые и сужаются вверх. Жестко заделанные в фундамент, они придают зданию продольную жесткость. Эпюра моментов показывает, что в данном случае изменение направления упирающих V-образной опоры имеет свой смысл и свое конструктивное значение.

Подобная пластическая форма не имеет прецедента в прошлом. Владея законами тектоники, Нерви первый применил эту форму. Проблемы продольной и поперечной жесткости для него неразрывны. Он пришел к выводу, что в одном элементе необходимо предусмотреть продольную и поперечную жесткость. Расширяя стойку вверх в поперечном, а книзу в продольном направлении здания, ему удалось выявить эти две функции стойки.

Округление кромок и четкость сопряжения наклонных плоскостей содействуют повышению скульптурных качеств этой необычной по форме стойки. Нерви заявил, что эта форма, в конечном итоге, не является результатом «расчета». Статически можно было бы безупречно обосновать и другие пропорции. Например, благодаря наличию большого количества стоек, обеспечивающих продольную жесткость, можно было бы в продольном направлении уменьшить их размеры у пят. Говоря словами Нерви, дело заключается не только в том, чтобы точно рас-

считать конструкцию, но и в том, чтобы достичь наиболее сильной художественной выразительности.

Другим замечательным примером является здание, построенное в память о войне в Милуоки, штат Висконсин, США (рис. 112 и фото 19). В этом здании архитектор Сааринен совместно с инженерами Амманом и Уитней с большим художественным эффектом применил ту же конструктивную форму, что и Нерви. Однако в данном случае стойки являются не частью двухшарнирной рамы, а плоскими дисками с эксцентрично приложенной нагрузкой. В продольном же направлении здания они расширяются книзу в результате чего конструкция становится устойчивой против ветровой нагрузки.

До недавнего времени применение V-образной опоры казалось исключительной привилегией старого света и южноамериканских стран. Фактически в архитектуре США до сих пор такого рода опоры не встречались. Объясняется это тем, что в США в строительстве применяли в основном сталь, а железобетону отводилась только второстепенная роль. V-образная опора является характерной формой для железобетона. С возрастающим применением железобетона эта форма несомненно найдет в США широкое применение.

Проект вокзала в Неаполе

В завершение настоящего раздела, посвященного особым случаям применения V-образных опор, следует упомянуть о своеобразном проекте вокзала в Неаполе, автором которого является Кастильони. На конкурсе этот проект не был премпрован, но, несмотря на это, он был упомянут в большинстве отчетов с приложением эскизов. Кастильони предложил конструкцию покрытия из оболочек слегка волнистого очертания, которая как бы органически вырастает из виллообразных трехветвевых опор. На последних необходимо остановиться. Их нельзя отделить от общего архитектурного замысла. Они образуют одно целое с покрытием и должны рассматриваться только совместно с ним. Трехветвевые виллообразные опоры воздвигаются на треугольной модульной сетке основания. Они несут на себе элемент оболочки в форме равностороннего треугольника, служащего покрытием. Между каждыми тремя виллообразными опорами и укрепленными на них треугольными элементами покрытия (1, 2 и 3) уложен еще один элемент кровли (4) (см. вид снизу рис. 113.1). Тем самым само покрытие также вписывается в ту же модульную сетку.

Хотя мы попытались объяснить геометрическую систему пространственной структуры, но сопряжение отдельных частей этого сооружения, а также органическое «вырастание» оболочек покрытия из концов виллообразных опор представляют собой более сложное явление, которое с трудом поддается описанию. Разрез (рис. 113.2), перспектива элемента оболочки здания вокзала (рис. 113.3) и фото 20 говорят больше, чем слова. Несмотря на сложность переплетающихся форм, эта конструкция отличается ясностью геометрического построения и органического сочетания отдельных частей. Перед нами окончательная форма здания, разработанная на основе схемы (рис. 113.4), напоминающая творение самой природы (рис. 113.5). Важной частью общей структуры является виллообразная опора. Каждая ее ветвь утолщается книзу. Это указывает на взаимное сопряжение и прочное на изгиб соединение ветвей между собой. Виллообразные опоры шарнирно опираются на специально для этого сконструированные фундаменты, выступающие над уровнем земли. Широкий разворот трех ветвей опор, верхние концы которых срастаются друг с другом в теле кровли, обеспечивает совместно с другими оболочками пространственную жесткость системы, несмотря на шарнирное опирание в пяте. Возникает вопрос, почему виллообразные опоры имеют утолщение книзу при наличии внизу шарнира?

Ответ на этот вопрос имеет решающее значение для объяснения всей конструкции в целом. Пространственная жесткость системы, очевидно, обеспечена благодаря связи ветвей между собой посредством кровли. Однако связь эта осуществлена без резких переходов: формы стоек и кровли постепенно переходят друг в друга. Упругость кровли, подчеркнутая округлостями, врезками, углублениями и отверстиями, через которые падает свет, требует, чтобы опоры обладали повышенной степенью жесткости. Этому требованию соответствует выбранная форма опор, состоящая из трех конически расширяющихся книзу и срастающихся друг с другом стоек. Такая опора обладает большой жесткостью у ее основания.

Данная глава была озаглавлена: «V-образные опоры». Возможно, что некоторым читателям эта тема вначале мало о чем говорила. Автор сначала хотел уделить ей гораздо меньше внимания. Однако в процессе углубленного и всестороннего исследования материала автор убедился, что V-образная опора в современной

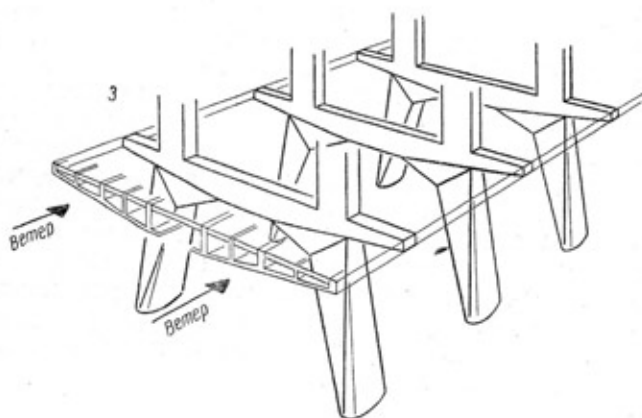
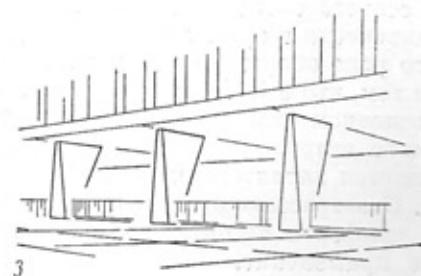
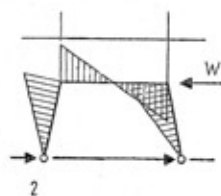
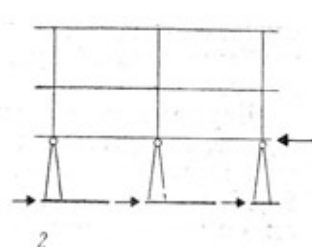
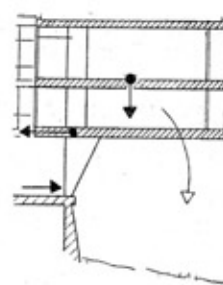
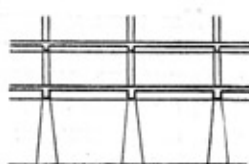
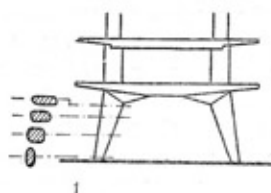


Рис. 111. V-образные стойки в первом этаже здания ЮНЕСКО имеют функционально обусловленные расширения в двух направлениях

1. В поперечном направлении здания эти опоры являются V-образными стойками рамы, шарнирно укрепленными внизу
2. В продольном направлении здания для восприятия давления ветра опора зашце́плена внизу, а наверху укреплена шарнирно
3. На перспективе видны объемы несущих элементов

Рис. 112. V-образные стойки здания Уор Мемориэл в Милуоки, США

1. В поперечном разрезе стойку можно рассматривать как эксцентрично нагруженную V-образную стойку с оттяжкой с тыльной стороны
2. В продольном направлении стойка зашце́плена внизу
3. В эскизах перспективного изображения со стороны внутреннего двора и снаружи (4) выявляются различные функции опор в двух направлениях здания

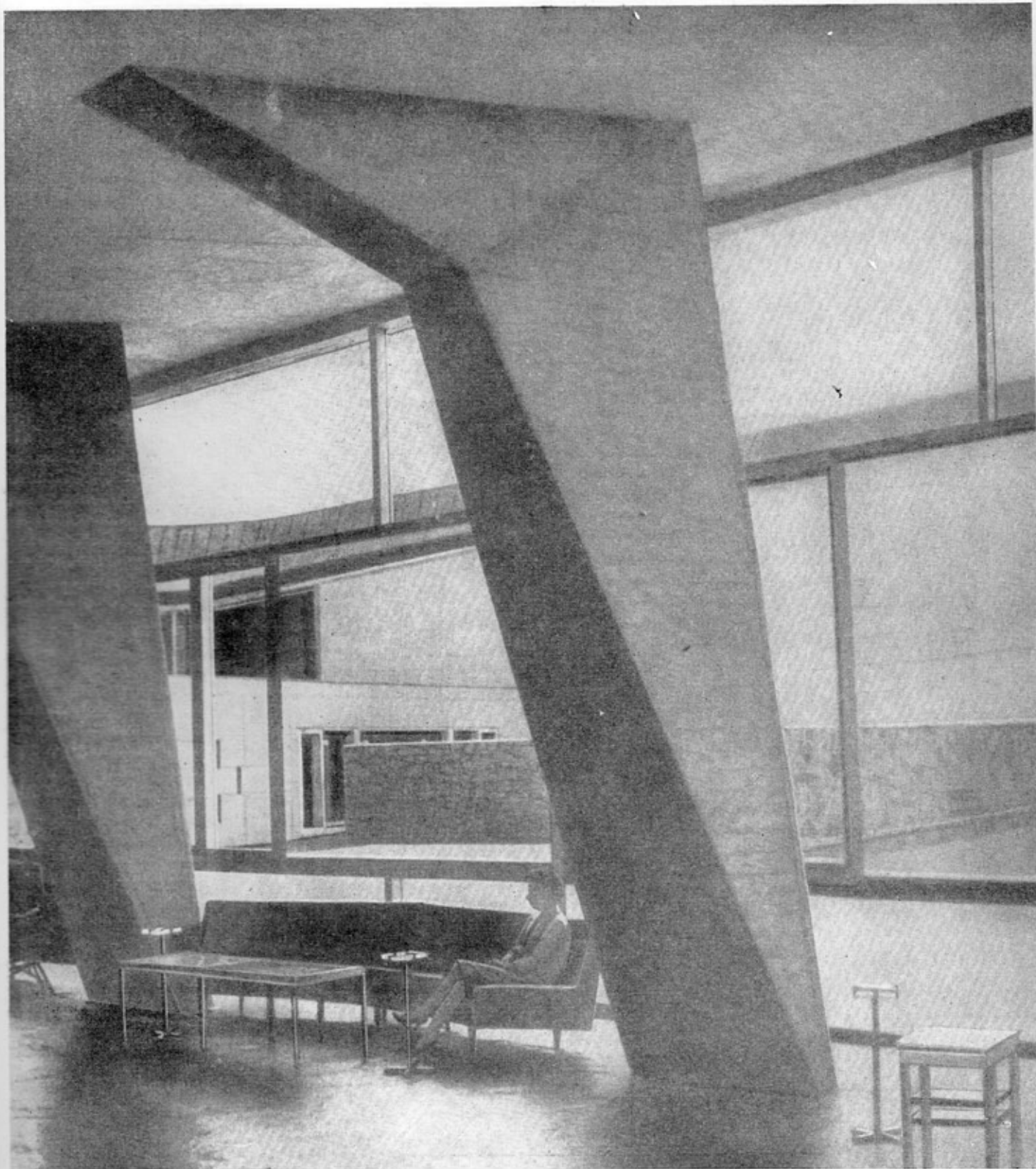


Фото 18. Здание секретариата ЮНЕСКО в Париже. Деталь рамной опоры.
Архитекторы Бройер, Церфусс, инж. Нерви
10 Курт Зигель

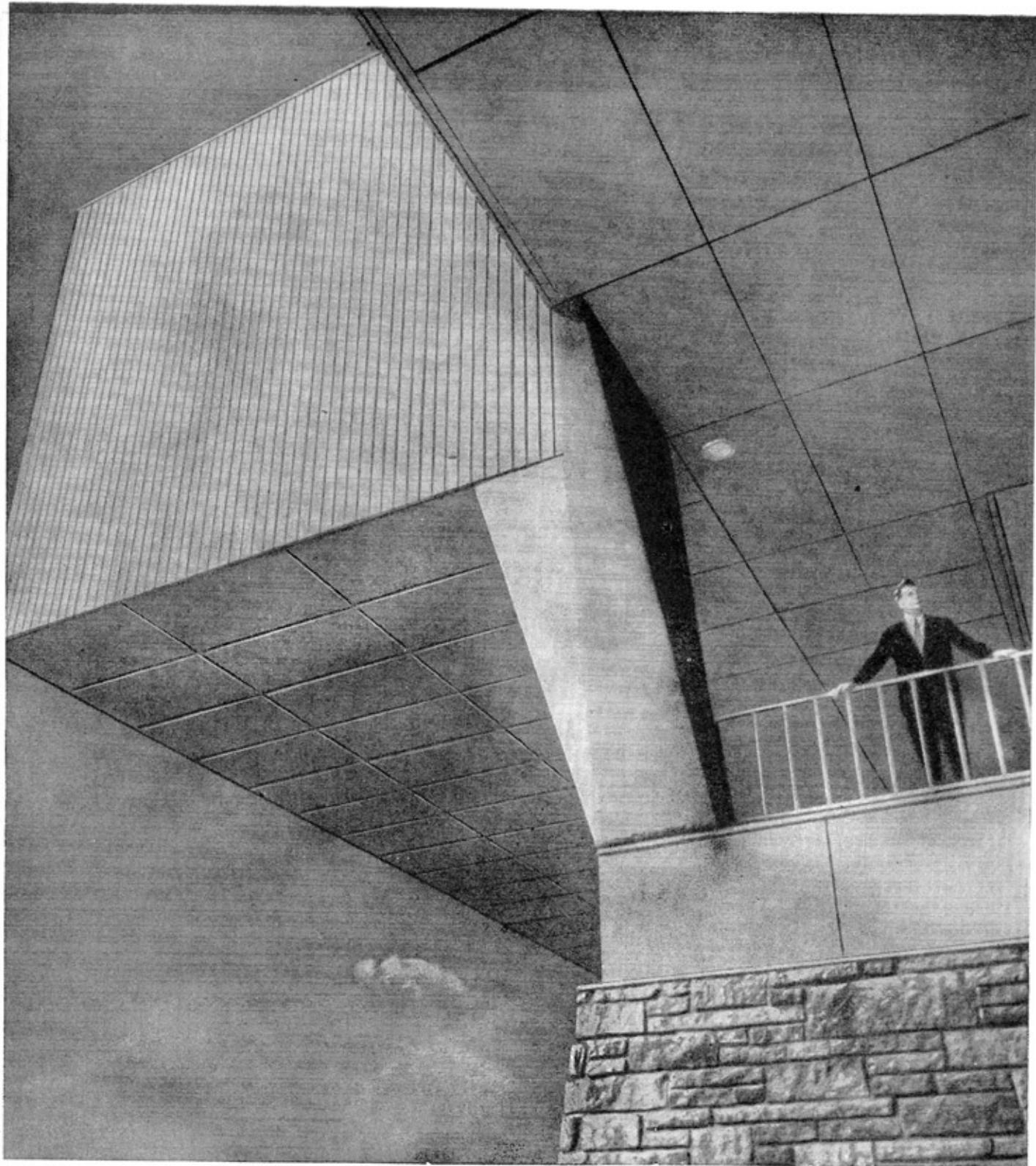


Фото 19. Фрагмент здания Уор Мемориэл в милуоки (США). Арх. Э. Сааринен

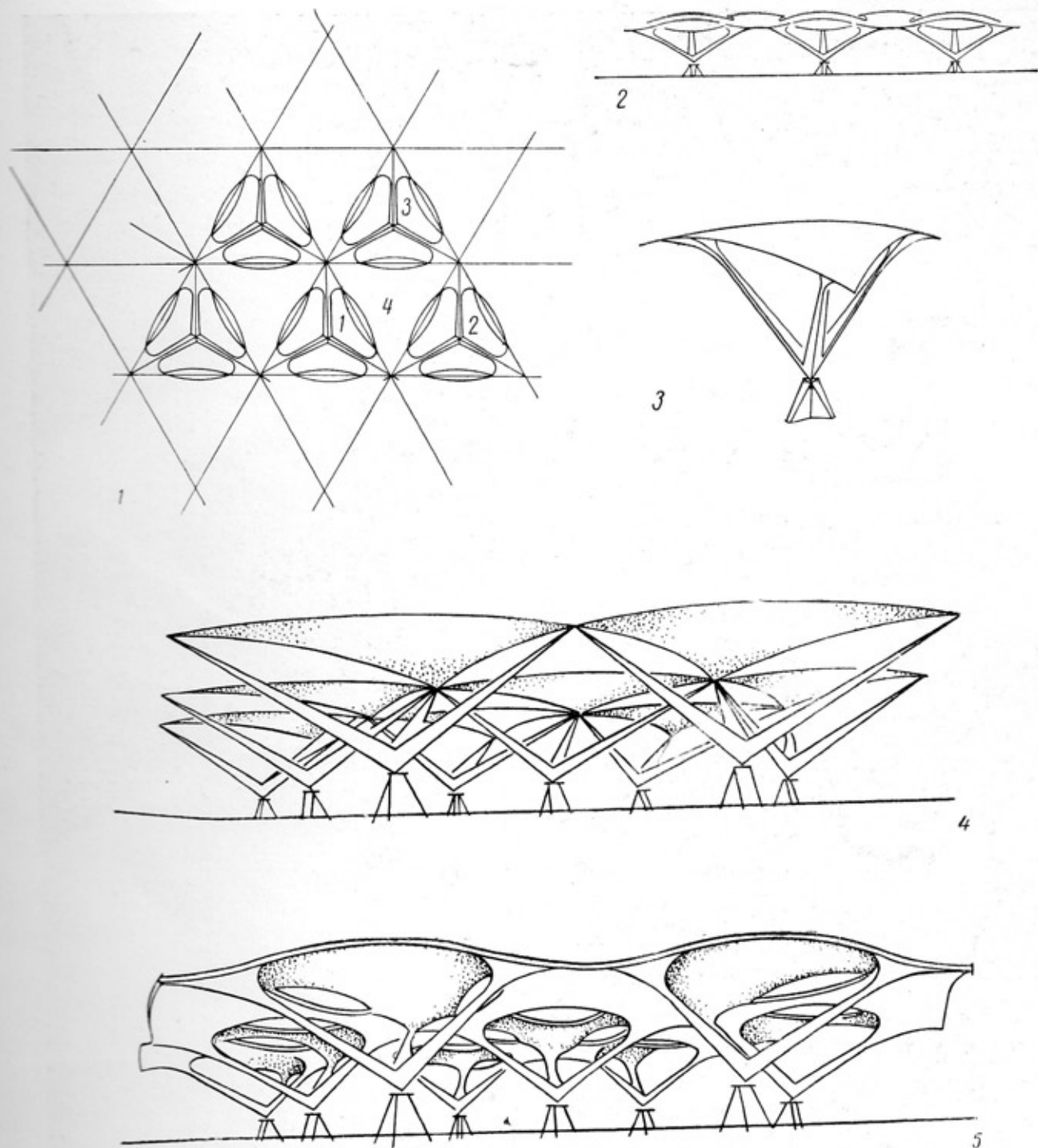


Рис. 113. Проект вокзала в Неаполе

1. Вид сверху на покрытие, спроектированное на базе треугольной модульной сетки. Трехветвевые, вилочные опоры несут на себе треугольные оболочки покрытия 1, 2, 3. Между тремя оболочками устанавливается четвертый элемент покрытия 4
2. Разрез
3. Элемент покрытия, опирающийся на трехветвевую опору
4. Эскиз общего вида конструктивной схемы
5. Эскиз общего вида спереди

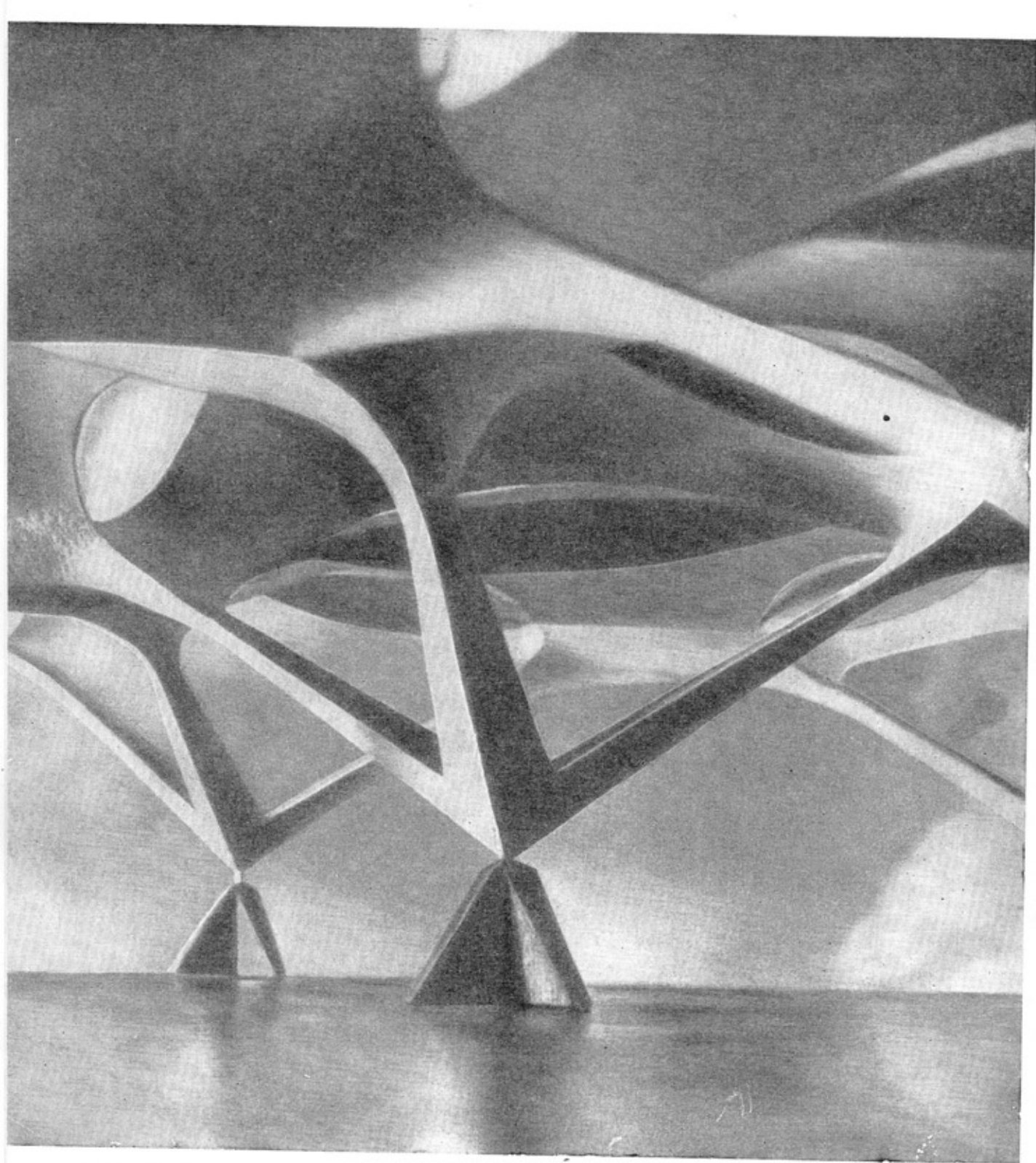


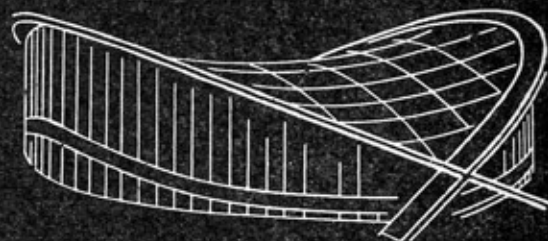
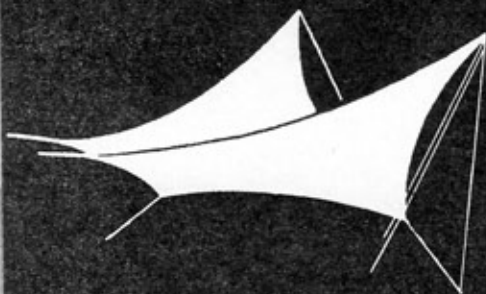
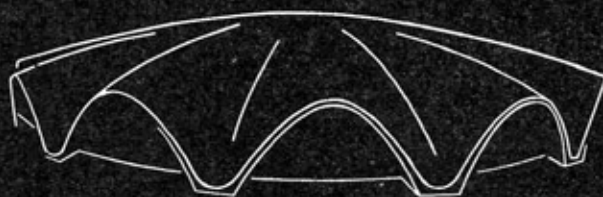
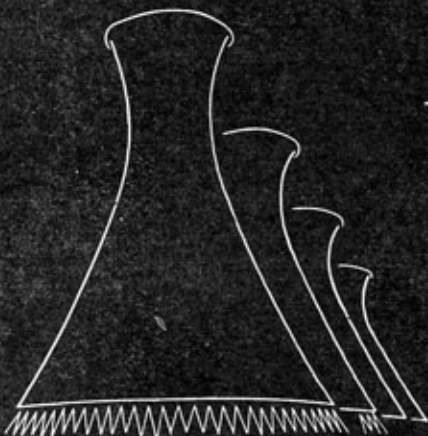
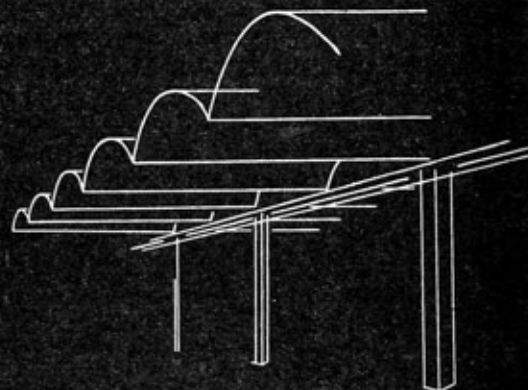
Фото 20. Проект вокзала в Неаполе. Фрагмент макета. Арх. Энрико Кастидиони

практике строительства занимает не последнее место. Широкое применение такой опоры, возможность создания многих вариантов, сознание того, что из-за плохого понимания ее сути было применено много неправильных решений формы V-образной опоры, — все это потребовало основательного ее анализа и описания.

В нашем исследовании группировка и подразделение опор производились по признакам формы, а не на основе теоретических выкладок. Строгий читатель, который ожидал получить научное обоснование конструктивных форм этих опор, будет, возможно, оспаривать целесообразность применения данного метода. Все же он должен учесть, что в этой книге речь идет не о том, чтобы, пользуясь законами статике,

наметить теоретические возможности создания определенных форм.

В книге прежде всего сделан анализ построенных зданий. Конечно, не все могло быть охвачено. Мы не претендуем на исключительность нашего толкования. Многое из того, что сказано, не является результатом одних только соображений технического порядка или соображений, основанных на расчете. Поэтому они не отличаются такой однозначностью, как $2 \times 2 = 4$, и не все сказанное доказуемо. Но дело совсем не в доказуемости. Автор стремился показать, что в области, в которой соприкасаются техника и искусство, трезвый рациональный анализ конструкции открывает путь к нахождению новых тектонических форм и их пониманию.



Пространственные несущие конструкции

Всякая строительная конструкция материальна и имеет три измерения. Следовательно, она представляет собой пространственную несущую конструкцию. В чем же особенность пространственных несущих конструкций, рассматриваемых в данной главе? Чем они отличаются от других конструкций, которые встречались при рассмотрении каркасных зданий и V-образных опор?

Все известные в истории строительства деревянные и каменные конструкции, а также описанные выше каркасные конструкции и конструкции с применением V-образных опор инженер не относит к пространственным конструкциям, несмотря на их пространственность. Всякую деревянную плотничную конструкцию, всякую современную железобетонную каркасную конструкцию и даже всякую каменную сводчатую конструкцию инженер мысленно разлагает на плоскостные, т. е. не пространственные системы. Инженер, рассматривающий деревянную строительную конструкцию при расчете стропил (рис. 114.1), в первую очередь представляет себе поперечный разрез здания в плоскости y . Во вторую очередь он рассчитывает перпендикулярный стропилам прогон (2) в продольной плоскости здания x . Существующая в действительности пространственная взаимосвязь между несущими элементами стропил и прогона вполне сознательно не принимается в расчет. Основанием для этого служит стремление к упрощению методов расчета и тот факт, что для расчета традиционных конструкций учет пространственной несущей способности практически почти ничего не дает. Причем затраты труда на такие сложные методы расчета себя не оправдывают.

При рассмотрении конструктивных систем каркасных зданий и V-образных опор мы не считали нужным останавливаться на вопросах их пространственной устойчивости. В этих кон-

струкциях метод расчета «плоскостных несущих систем» оправдал себя теоретически и на практике. Инженер знает, что рассматриваемые им конструкции имеют вполне определенные резервы несущей способности. Если, например, стропильная конструкция еще держится в то время, как под ней едва сохранились развалины стен, и давно следовало бы ожидать обрушения крыши, или если сгоревшие остатки каменного строения выделяются только своими торчащими кверху дымовыми трубами, которые держатся благодаря их жесткому коробчатому сечению или перевязке в углах стенок трубы, то это является свидетельством большой пространственной жесткости, обычно не учитываемой инженерами во всех традиционных и современных каркасных конструкциях.

Во всей истории мировой архитектуры, включая и современную, за исключением тонкостенных глиняных куполов, применяемых на Востоке, мы не находим несущих конструкций, у которых пространственная жесткость являлась бы решающим фактором формообразования. Именно в этом заключаются новизна и типичность «пространственной несущей конструкции». Последняя представляет собой такую несущую конструкцию, у которой используется пространственная работа элементов. Внутренняя структура и внешняя форма такой конструкции в решающей степени являются результатом ее пространственной работы.

В настоящий момент, когда мы находимся в стадии первых исследований тектоники современных форм, когда наблюдается быстрое развитие всех технических дисциплин, может показаться смелым желание сказать что-либо о тектонике форм пространственных несущих конструкций. Если автору удастся заставить читателя призадуматься над этой темой, то это уже можно считать большим достижением. Критическое обдумывание темы является первой

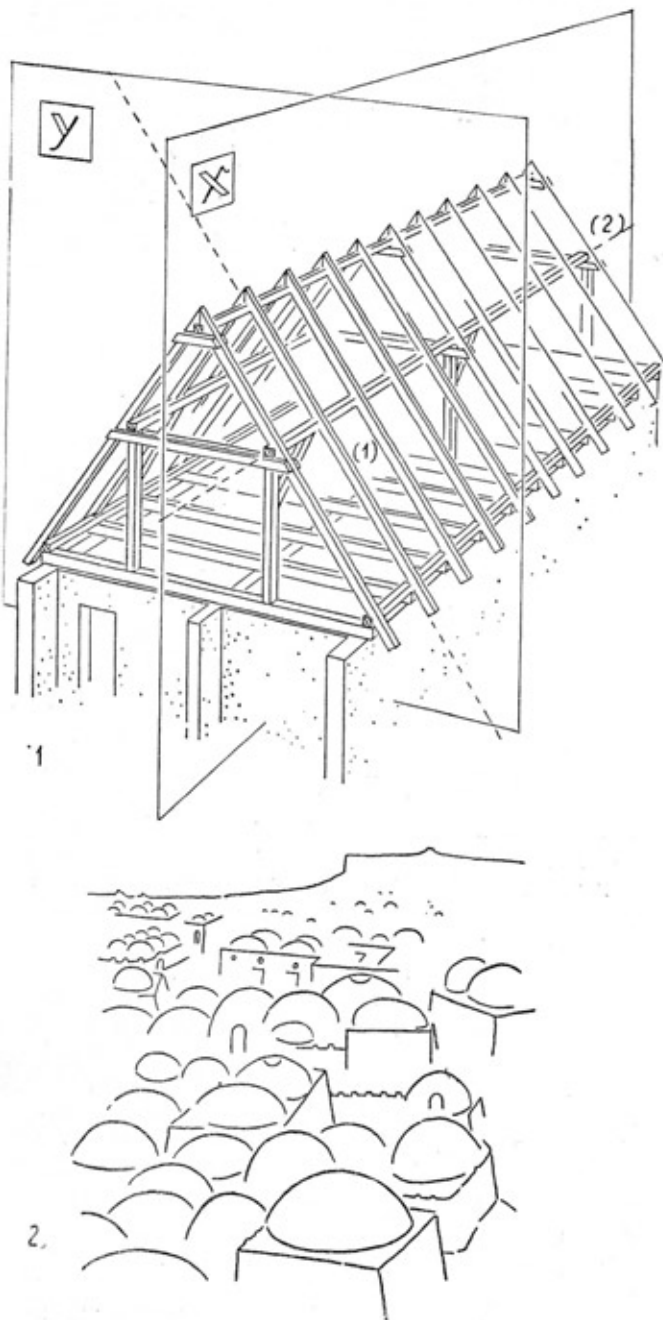


Рис. 114. Принципиальное различие между плоскостной и пространственной несущей конструкцией

1. Деревянную стропильную систему и другие традиционные конструкции инженер обычно не рассматривает как пространственные конструкции. Например, конструктор рассчитывает стропила 1 в поперечной плоскости у, а затем независимо от этого рассчитывает прогон 2 в плоскости х. Каждый элемент рассматривается изолированно, и его несущая способность определяется независимо от всей системы.
2. Глиняные купола Древнего Востока принадлежат к немногим пространственным конструкциям, которые знает история. Их устойчивость обеспечивается благодаря общей пространственной работе конструкции. Их нельзя разложить на отдельные элементы и рассчитывать статически в различных плоскостях

предпосылкой для борьбы с модным формализмом, который уже дает себя чувствовать в области применения пространственных несущих конструкций.

Среди предметов повседневного обихода давно существуют прототипы пространственных несущих конструкций (рис. 115). Глиняный или металлический горшок, ложка, шлем и колесо с косо расположенными спицами, являются давно известными формами; каждый из этих предметов в сущности является пространственной несущей конструкцией. То же самое относится к стальной броне и деревянной лодке, которые даже при самых тонких стенках обладают высокой прочностью благодаря присущей им пространственной жесткости.

В последнее время такого рода формы мы встречаем во всех областях техники. Автомобильный кузов обладает большой прочностью благодаря тому, что он состоит из штампованных пространственно изогнутых листов стали. При создании форм самолета и корабля, телефонной трубки и лампочки накаливания использован все тот же принцип. Когда тонкой жести или листовой стали сообщается высокая прочность путем придания изогнутой формы, то действуют те же принципы, что и в несущих пространственных конструкциях.

Использование пространственных конструкций приводит архитекторов и инженеров к необходимости создания новых необычных форм в строительном искусстве. Будь то ажурные трубчатые конструкции строительных лесов, современные своеобразно изогнутые оболочки, сетки из тросов, простирающиеся, как большие паруса, над помещениями без внутренних опор, — происхождение всех этих форм основывается на законах несущей способности пространственных конструкций. Перед нами открывается новый мир форм, границы которого необозримы и который пока еще не подвластен художественному осмысливанию. Революционизирующее влияние этих новых выразительных форм является неоспоримым. Однако пока еще нет масштаба для них и определенного внутреннего отношения к ним. Приводимые ниже примеры являются попыткой внести ясность в эту проблему.

Прекрасная архитектурная форма является завершающим этапом в развитии каждой новой конструкции. Поскольку технические решения пространственных конструкций пока еще не отработаны, окончательное суждение об их форме во многих случаях невозможно. Но иногда ясность формы, созданной в результате художественной интуиции до того, как отработана конструкция, может явиться определяющим этапом для развития последней.

Различают следующие четыре группы пространственных конструкций.

1. Пространственные решетчатые конструкции, состоящие из большого количества отдельных стержней, подвергающихся действию продольных усилий, т. е. растяжению или сжатию. Стержни пространственно раскрепляют друг друга.

2. Складчатые конструкции, несущая способность которых объясняется наличием складок из плоских плит. Последние в своей плоскости воспринимают усилия растяжения, сжатия и сдвига, а в поперечном направлении — изгибающий момент.

3. Оболочки, являющиеся несущими конструкциями из пространственно искривленных поверхностей, материал которых в идеальном случае подвергается действию нормальных усилий и усилий сдвига, но не усилий изгиба.

4. Висячие покрытия, состоящие из тросов, тросовых сетей, ткани или тонких листов. Они работают только на растяжение. Необходимые поддерживающие строительные элементы, воспринимающие усилия сжатия или изгиба, являются составной частью общей конструктивной схемы.

Данная классификация произведена по принципу аналогичных конструктивных форм. Но в некоторых случаях трудно определить, к какой группе относится конструкция. Границы групп сливаются. Будущее покажет, не пропущено ли что-либо важное, не откроются ли новые пути, не исчезнут ли те границы, которые в настоящий момент кажутся прочными. На первое время предложенная классификация конструкций дает возможность рассмотреть их более подробно.

Пространственные решетчатые конструкции

Всякая решетка состоит из стержней. Из истории строительного искусства нам известны фахверковые дома, состоящие из ригелей и стоек, наклонные крыши, состоящие из стропил, прогонов, стоек и подкосов, и деревянные мосты шпренгельной системы, состоящие из подкосов и балок. Все эти конструктивные части решетчатых систем являются стержнями. В современной архитектуре плоскостная решетчатая конструкция применяется редко. Проект театра в Мангейме арх. Мис ван дер Роэ (рис. 116.4) был одной из немногих попыток использовать решетчатую конструкцию в архитектуре здания. Несмотря на то, что у архитекторов существует все возрастающая склонность к ого-

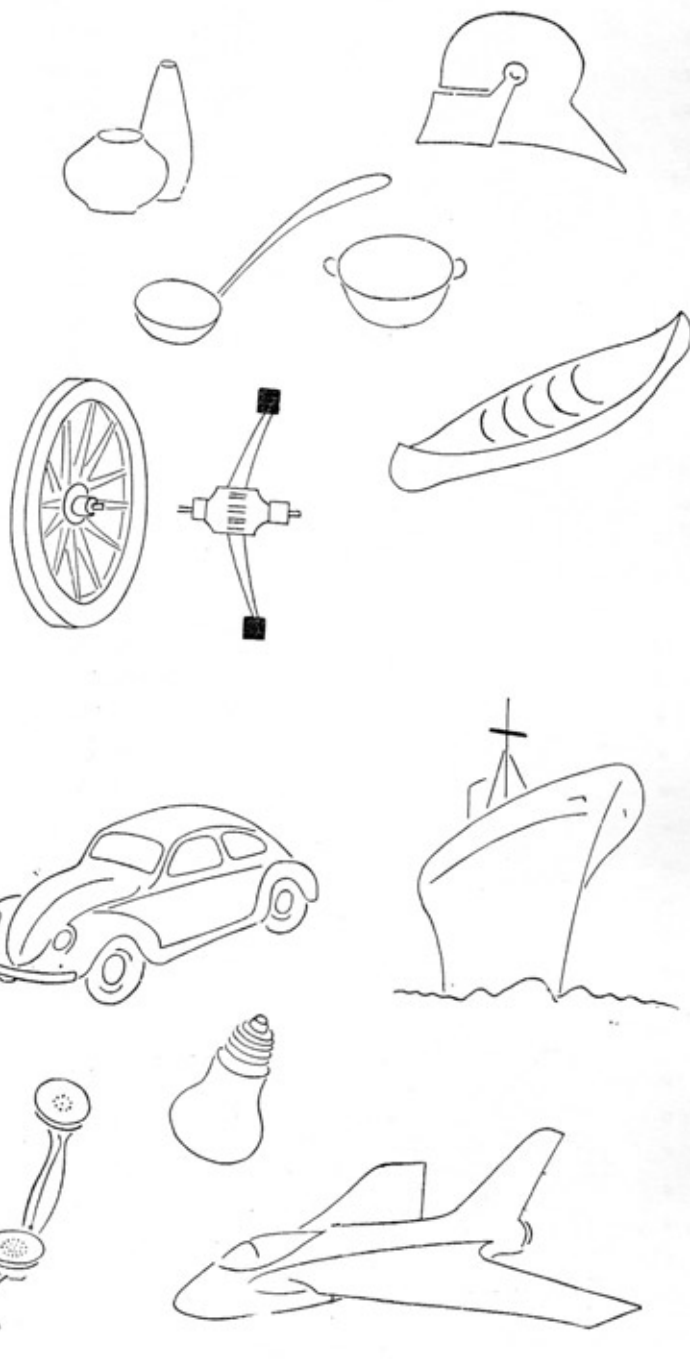
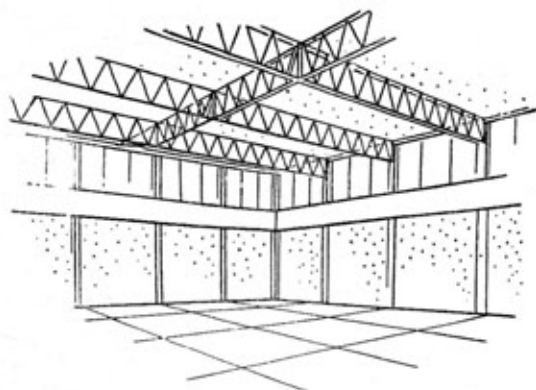


Рис. 115. Пространственные несущие конструкции мы находим среди древних предметов обихода и среди современных утилитарных вещей, выпускаемых промышленностью.

Большая жесткость как глиняного горшка, так и штампованного стального автомобильного кузова объясняется одними и теми же причинами



1



2

Рис. 116. Плоские решетчатые фермы не нашли большого распространения в современной архитектуре.

1. Проект театра в Мангейме арх. Мис ван дер Роэ был одной из немногих попыток архитектурно использовать плоскую решетчатую ферму
2. Школа в Англии с открытыми решетчатыми прогонами

лению стальных конструкций и применению фахверковых и решетчатых конструкций не только в промышленных сооружениях, но и в школах, залах собраний и т. п., эти конструктивные формы для зданий более высокой архитектурной значимости пока еще не используются.

Названные решетчатые конструкции являются «плоскостными системами». Это видно на примерах дома со стенами из фахверка и моста из решетчатых ферм, конструкции которых рассматриваются как совокупность отдельных несущих плоскостей, каждая из которых представляет собой самостоятельную плоскую несущую систему. Деревянные стропильные системы с пересекающимися во многих направлениях стропилами, подкосами и диагональными связями создают впечатление пространственной связи и жесткости. В действительности такая связь и жесткость имеются. Но неточность кустарно выполненных плотничных соединений и трудности аналитического определения

пространственной работы стропильных систем не позволяют рассматривать деревянную стропильную конструкцию как пространственную стержневую систему и соответствующим образом рассчитать ее. Поэтому до настоящего времени стропильные конструкции рассчитываются обычно не как пространственные системы, а как плоскостные. Мысленное разложение конструкции с действующими на нее усилиями на плоскости, расположенные под прямым углом друг к другу, является элементарным правилом статике сооружений. Однако оно теряет свой смысл для всех пространственных несущих конструкций, и тем самым для «пространственных решетчатых» конструкций. Именно о пространственных, а не о «плоскостных» решетчатых конструкциях будет говориться ниже.

Строение тазобедренного сустава человека (рис. 117 и фото 21) может служить прекрасным примером пространственной решетчатой конструкции. Вес тела человека давит на шаро-

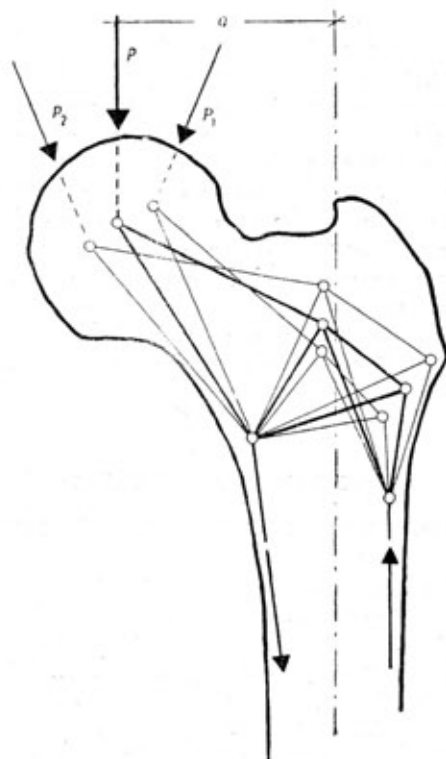


Рис. 117. Структура тазобедренной кости человека представляет пространственную решетчатую систему. Схематическое изображение усилий различных направлений показывает, как несущая система кости приспосабливается к любому изменению направления силы P .

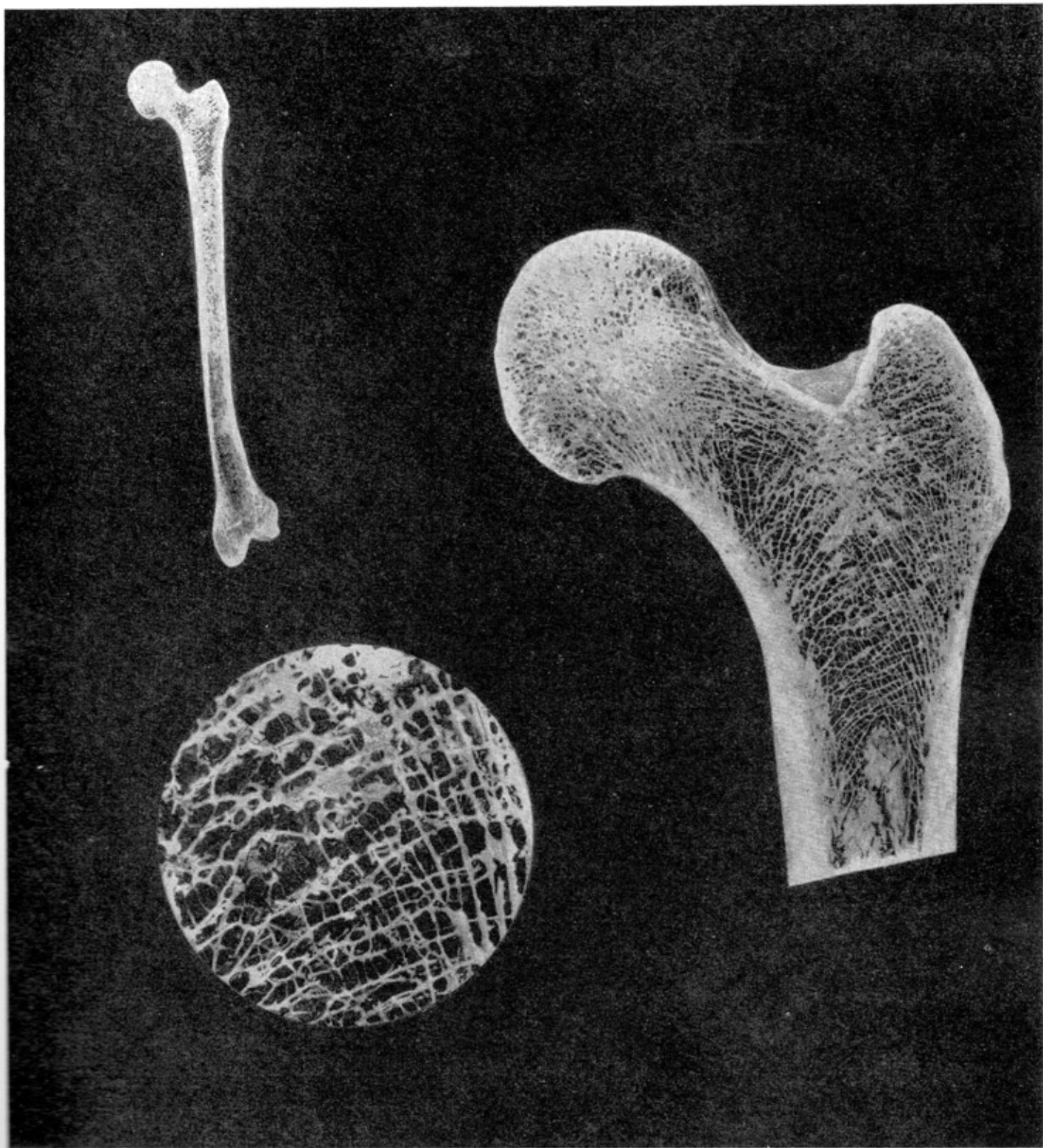


Фото 21. Разрез сустава тазобедренной кости человека

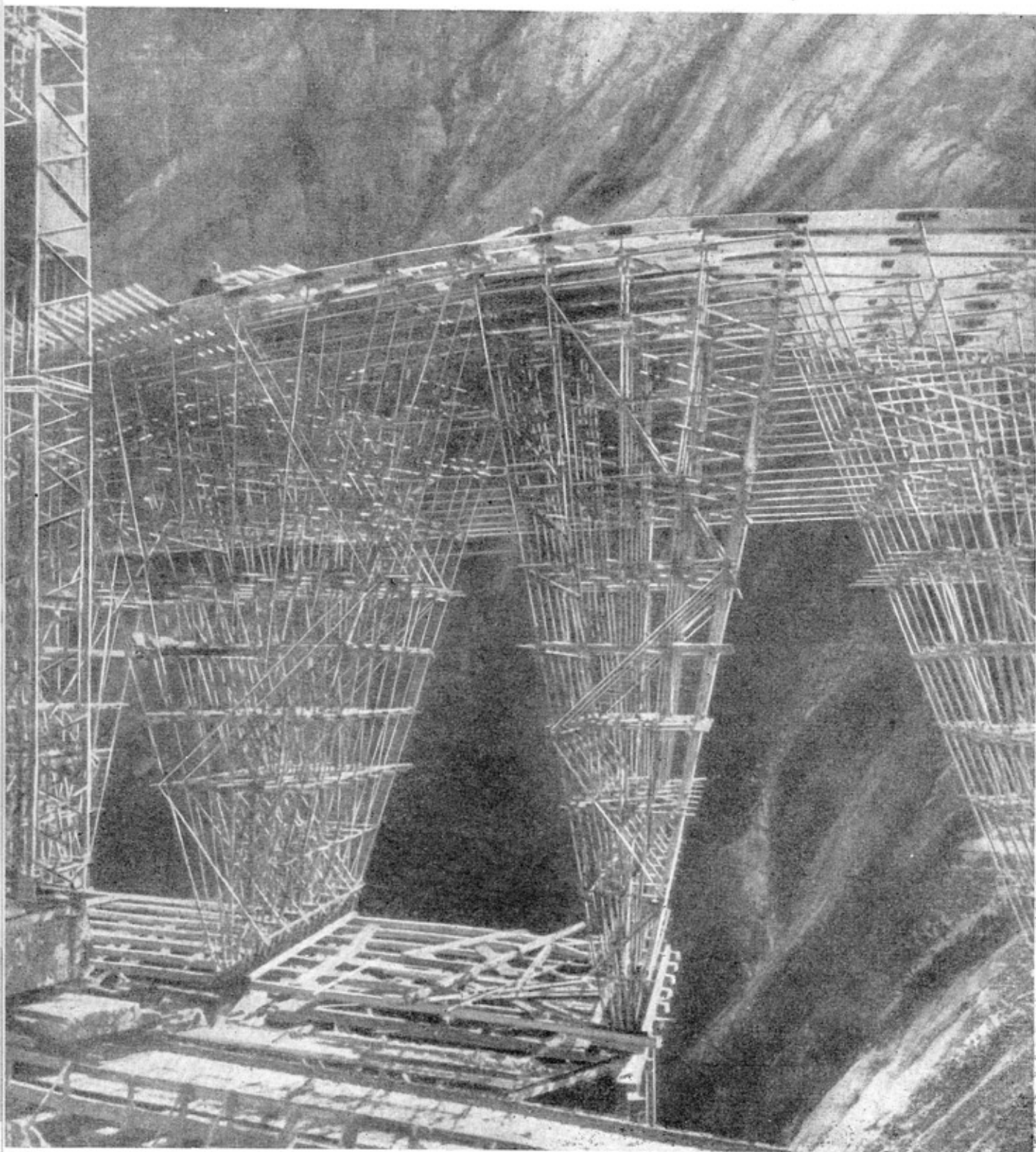


Фото 22. Трубчатые леса системы Маннесманна

Система Маннесманна для строительства мостов

видную консольно выступающую часть сустава. Отнесенный к оси бедренной кости он вызывает изгибающий момент $M = P \times a$. Эта нагрузка не является постоянной. Она меняется при различных усилиях во время прыжка и движения человека. В зависимости от положения тела и поворота сустава результирующая нагрузка принимает различное направление. Эти изменения нагрузки хорошо воспринимаются суставом, так как в нем для любого направления силы P имеется соответствующая несущая система. Множество этих систем образует пространственное целое, а каждая из них пронизывает остальные, делит на части расчетную длину отдельных стержней, придает им жесткость, разгружает их и повышает в целом несущую способность всего сустава.

Природа не нуждается в решении дифференциальных уравнений высшего порядка для определения размеров сложных пространственных конструкций. В ней все развивается органично при постоянном приспособлении к меняющимся статическим и динамическим силам. Соответственно этому природа создает свою решетчатую систему без прямых углов и без единой прямой линии, тем не менее такая система совершенна по своей красоте и, вероятно, более экономична, чем то, что мог бы создать человек. Его творения, очевидно, всегда будут отставать от форм, созданных природой. Все же сходство пространственных конструкций природы с пространственными конструкциями, созданными человеком, поразительно.

Пространственная несущая конструкция подобная той, которую создает природа, отличается от плоскостной несущей конструкции большей выразительностью. По существу, она более совершенна, и признание этого в настоящее время означает переворот в инженерном мышлении. В будущем авторы истории развития техники, несомненно, отметят этот перелом, когда ход мысли инженера перенесся из плоскости в пространство. Тем самым инженер приблизился к сфере творчества, которая является достоянием архитектора, т. е. к области организации пространства. Желательно, чтобы в будущем в данной области они стояли ближе друг к другу.

Трубчатые леса системы Маннесманна (рис. 118 и фото 22) основаны на применении труб произвольной длины одинакового диаметра, к которым под любым углом с помощью зажимных хомутов присоединяются другие трубы. Путем соединения простых трубчатых элементов можно получить оригинальные и выразительные архитектурные формы.

До недавнего времени трубчатые конструкции применялись только в виде вспомогатель-

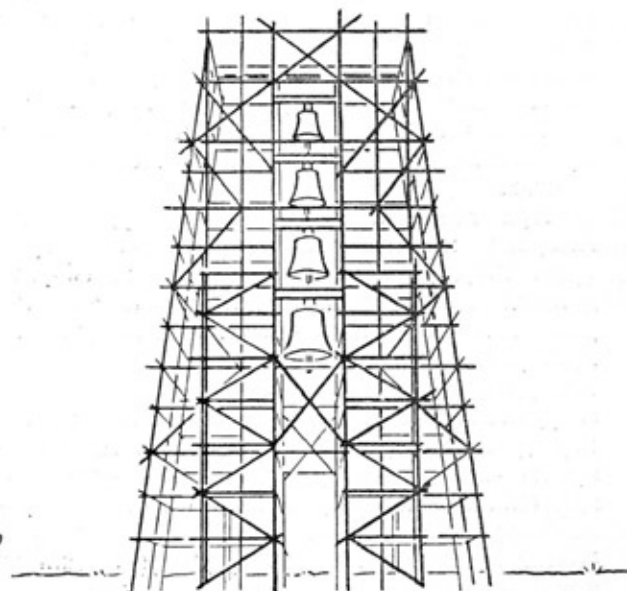
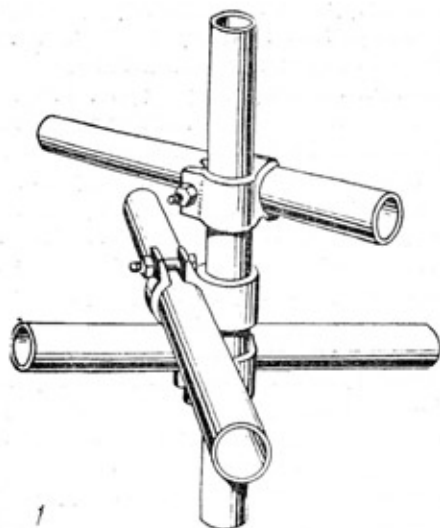


Рис. 118. Трубчатые леса с соединительными зажимами (система Маннесманна)

1. Зажимы могут быть установлены в любом месте. Число и длина трубчатых звеньев не ограничены
2. Временная колокольня, смонтированная из стальных труб

ных сооружений, строительных лесов и подмостей. Архитекторы еще не открыли эстетическую привлекательность и все возможные формы этой конструкции. Объясняется это отчасти тем, что детали стержней и узлов всегда носят характер подвижных и гибких элементов, приспособленных для повторного применения, и потому никогда не могут произвести впечатления законченной формы. С точки зрения статики недостаток состоит в том, что усилия в по-

добных конструкциях всегда передаются стержням эксцентрично, поэтому последние никогда не свободны от влияния сил изгиба.

Применяя систему Мери (рис. 119), можно ограничиться небольшим количеством типоразмеров различных стержней. При помощи остроумного винтового соединения стержни скрепляются в узлах, не подвергаясь при этом изгибающим усилиям. В каждом узле может быть соединено 18 стержней, направление которых определяется тремя перпендикулярными друг к другу основными осями и диагоналями, проходящими между ними под углом 45° . Возникают формы конструкции, отличающиеся строгой геометричностью, но производящие живое впечатление благодаря большому количеству пересечений и ажурности всего объема.

Удачные комбинации этой конструкции можно встретить во временных сооружениях выставочных павильонов. В статическом отношении мощность системы является ограниченной. В одном узле можно соединить только определенное число унифицированных стержней. Поэтому несущая способность стержней и узлов ограничена. Таким образом, предельная несущая способность всей системы в целом определяется прочностью ее наиболее напряженных элементов.

При возведении зданий и сооружений в Америке применяется система «Юнистрот» (рис. 120), разработанная на основе сборных деталей из профилированных металлических реек. Такая система применялась, например, в пристройке к зданию архитектурного факультета университета Уэйн в штате Мичиган и для сооружения навеса над детской площадкой для игр (рис. 120.3). Конструкция этого навеса представляет собой пространственную стержневую систему, конструктивная высота которой несколько больше 1 м. Узловые соединения на болтах предельно просты. Стержни соединяют при помощи детали из складчатой листовой стали. Несущая способность системы определена чисто эмпирически. Она равна приблизительно 300 кг/м^2 при свободном расстоянии между опорами, равном $12,5 \times 12,5 \text{ м}$. Считается возможным увеличение пролетов между опорами до $15 \times 15 \text{ м}$. Эмпирическое определение несущей способности свидетельствует о том, что аналитически трудно определить действующие в данной конструкции усилия. Воронкообразное уширение опор кверху объясняется тем, что трудно сосредоточить усилия, передающиеся от навеса к опорам. При точечном опирании на более тонкую опору неизбежно возникли бы перенапряжения в стержнях, сопрягающихся с опорой.

Эта система до настоящего времени не наш-

ла широкого распространения. Но в ней заложены новые весьма интересные архитектурные возможности.

Подобная конструкция использована также в проекте здания Колизея в Чикаго Мис ван дер Роэ, 1953 г. (рис. 121). Размеры этого здания в плане равны $214 \times 214 \text{ м}$ при отсутствии внутренних опор. Поэтому не могло быть и речи об эмпирическом определении несущей способности системы. Конструктивная высота покрытия должна составить приблизительно 9 м, а высота всего сооружения — 36,5 м. Конструктивная система является такой же, как и «Юнистрот», только в увеличенном масштабе. По окончании строительства будет видно, насколько архитектору удалось использовать бесчисленное количество пересекающихся стержней этой пространственной несущей конструкции покрытия для создания привлекательной ажурной формы. В зависимости от того, как и чем будет подшита конструкция с нижней стороны, и в зависимости от ее освещения может быть достигнут тот или иной архитектурный эффект покрытия, конструктивная высота которого равна почти 10 м. В одном из вариантов проекта этого сооружения Мис ван дер Роэ сделал попытку выразить на фасаде внутреннее конструктивное содержание здания (рис. 121.2).

Инженер Конрад Ваксманн в Америке разработал легко монтируемую сборную трубчатую конструкцию ангаров (рис. 122) большого размера со свободно выступающими консолями. Конструкция была задумана, как пространственная фахверковая. Размер перекрытой площади проектировался $116 \times 245 \text{ м}$. Было предусмотрено только несколько опор в середине покрытия. Самое замечательное в этом проекте то, что конструкция монтируется из сборно-разборных легко транспортируемых деталей, чтобы ангар можно было перевозить на самолетах. Замечательные фотоснимки макета этого сооружения были напечатаны во всем мире в специальных журналах. Это заставило многих задуматься над проектированием архитектурных сооружений из пространственных решетчатых конструкций. Вопрос о том, возможно ли выполнение столь смелых проектов в виде переносных сооружений, остается открытым. Требуются дальнейшие исследования возможностей осуществления этих проектов в натуре, так как на практике будет трудно совместить мобильность этих сооружений с укрупнением их размеров, поскольку еще мало опыта в строительстве таких сооружений. К сожалению, об этом, как и о возникающих в данном проекте задачах статики, до сих пор было написано мало несмотря на то, что проект публиковался много раз.

Рис. 119. Леса трубчатой конструкции с болтовыми соединениями (система Мери)

1. В одном узле может быть соединено 18 стержней заданного направления
- 2 и 3. Павильоны выставки на территории Интербау в Берлине, 1957 г.

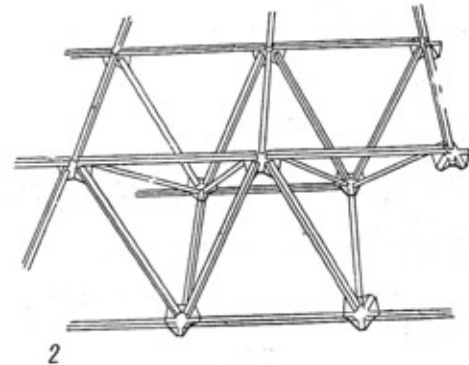
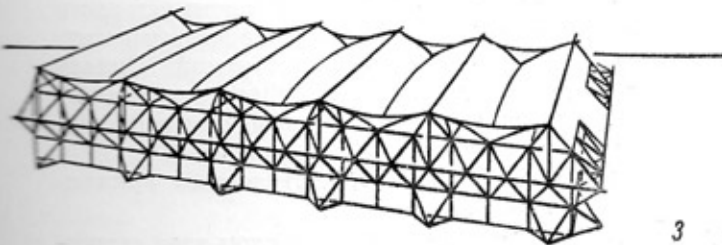
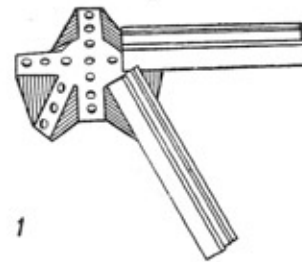
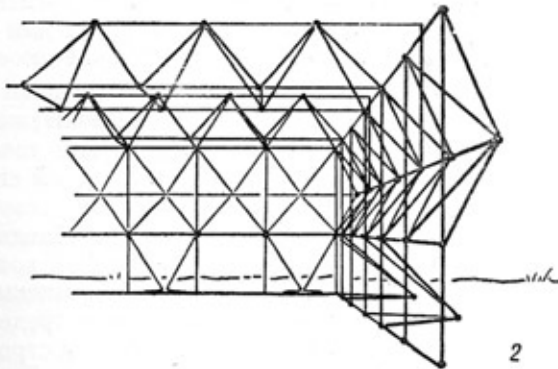
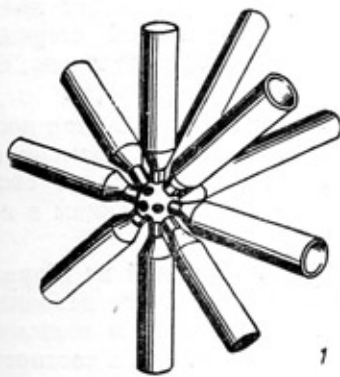
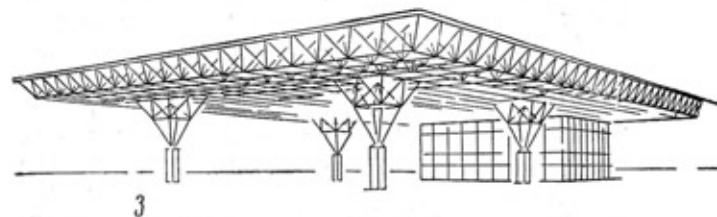


Рис. 120. Сборная конструкция из профилированных металлических стержней, соединяемых болтами (система «Юнистрот»)

1. Узел
2. Пространственная система из стержней
3. Детский павильон в Уэйне, США



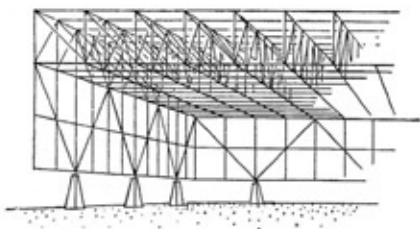
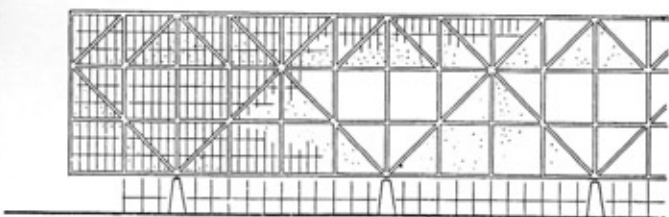
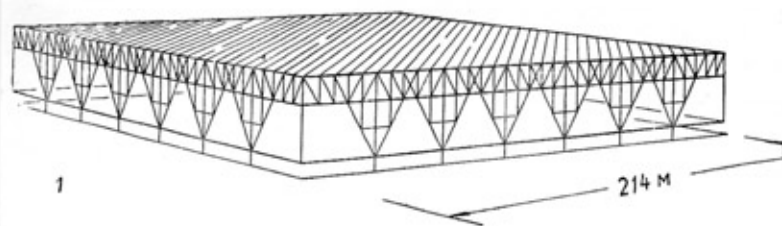


Рис. 121. Проект зала для собраний. Арх. Мис ван дер Роэ

1. Перспектива модели. Площадь в плане 214×214 м, высота зала 36,5 м. Конструктивная высота решетчатого покрытия равна приблизительно 9 м
2. В одном из вариантов фасада отражена конструкция здания
3. Внутренний вид зала. Хорошо видна «паутина» решетчатого покрытия

Мы попытаемся разобрать типичные свойства такого рода пространственных решетчатых конструкций, составленных из сборных частей.

1. Если применяются совершенно одинаковые стержни или ограниченное количество типоразмеров стержней, то, с точки зрения статике и экономики, из стержней одинаковых типоразмеров полностью используется только один стержень, не считая случайных совпадений и повторений. Из 1000 одинаковых стерж-

ней, примененных в различных местах конструкции, несущая способность 990 стержней полностью не используется. Следовательно, они имеют завышенные сечения и размеры.

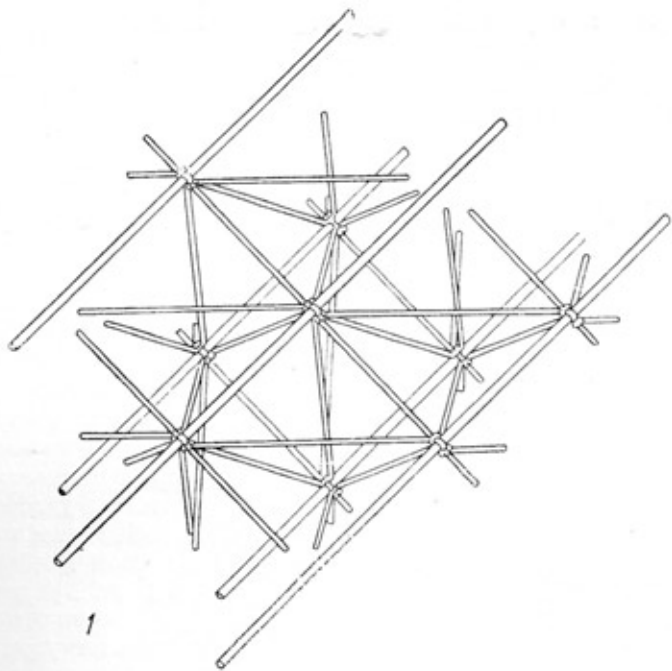
В природе дело обстоит иначе. Сустав кости не состоит из одинаковых по типоразмеру волокон, и, очевидно, каждое волокно по своей форме полностью отвечает действующим в нем усилиям.

Принцип монтажа конструкций из сборных одинаковых деталей в данном случае находится в резком противоречии с принципом экономичного использования материала. Это, в частности, касается решетчатых конструкций, в основном подвергающихся усилиям изгиба. Напряжения в отдельных стержнях весьма различны. В арочных системах, например, спроектированных Нерви и применяемых в ангарах для самолетов (см. рис. 105 и 124), положение иное.

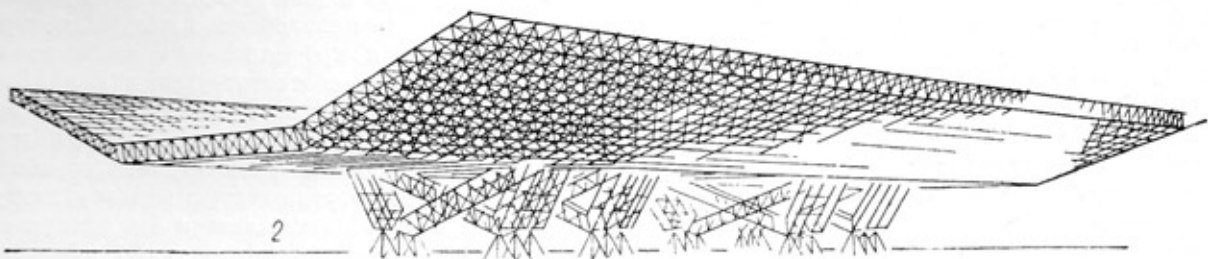
2. Допуски отдельных стержней в целях точности подгонки во время монтажа должны быть меньше, чем требуется для точности выполнения здания в целом. Каждый специалист, имеющий дело с производством, знает, что детали с небольшими допусками обходятся очень дорого. Поэтому он стремится по возможности обойтись без них. Но сборка стержневых элементов требует точности размеров в пределах долей миллиметра, тогда как допуски в строительстве обычно измеряются сантиметрами. Высокая степень точности, которую в настоящее время можно достичь во всех областях промышленного производства, без сомнения, содействует развитию пространственных конструкций. Однако несмотря на это следует принять во внимание, что техническое совершенство и чрезмерно высокая точность подгонки, принятые там, где в этом нет необходимости, противоречат принципу экономичности.

3. Неизбежный люфт в каждом узле суммируется из люфта многих других узлов. Не следует при этом недооценивать опасности чрезмерных остаточных деформаций конструкции из-за податливости соединений. Поэтому к люфту в соединительных узлах сборно-разборных сооружений следует относиться внимательно.

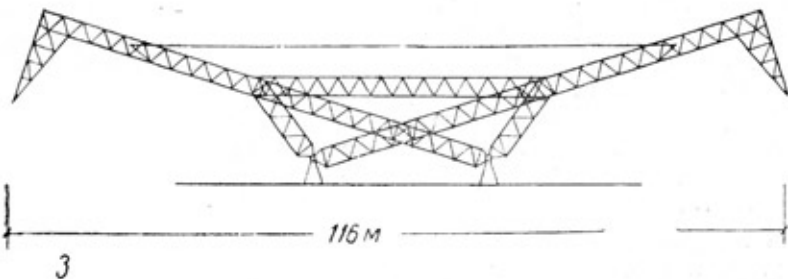
4. Определение упругих деформаций, а тем самым и работы внутренних сил данной статически неопределимой конструкции очень трудно, если оно вообще аналитически возможно. Даже применение электронной вычислительной машины для решения сложнейших задач тоже не всегда является выходом из положения. Затрата средств при применении такого рода методов расчета должна быть экономически оправдана. Если при небольших размерах сооружения его несущая способность может быть



1



2



3

Рис. 122. Сборная конструкция из стальных труб. Проект Конрада Ваксманна

1. В направлении основного пролета верхний и нижний пояса составлены из цельных по длине труб. Диагональные стержни укрепляются при помощи заклиненных узловых элементов
2. Перспектива ангара для самолетов, перекрывающего площадь почти 3 га
3. Разрез ангара.

определена эмпирически, то при больших размерах сооружения такой метод определения, конечно, недопустим.

5. Сложная техника инженерного оборудования здания требует использования чердачного пространства и вызывает необходимость подшивки решетчатой конструкции снизу. Отрицательное свойство этих конструкций — скопление в них пыли — тоже говорит в пользу подшивки потолка. Однако такая подшивка лишает решетчатую конструкцию всякой выразительности.

6. Преимущества пространственной решетчатой конструкции как и костного сустава заключаются в приспособляемости к самым различным видам и направлениям усилий. Перегрузка в отдельных местах воспринимается смежными зонами. Конструкция обладает резервами несущей способности для восприятия повышенной местной нагрузки. Это особое преимущество пространственной решетчатой конструкции не используется в гражданском строительстве. Нагрузки от перекрытий и крыш распределены равномерно. Существующие в мостах местные сосредоточенные нагрузки здесь возникают редко.

7. Преимуществом решетчатых конструкций является возможность использования их в качестве сборно-разборных переносных конструкций. Поэтому пространственные решетчатые конструкции находят применение в тех областях, где мобильность действительно является необходимой; причем желательно, чтобы передвижные сооружения или их части были небольшого размера. В тех случаях, когда применение пространственной решетчатой конструкции действительно целесообразно, сама собой должна выявиться ее своеобразная архитектурная форма.

На фотографии (рис. 123) показано сооружение итальянца Кастилиони. Мы видим, как многообразны возможности пространственной решетчатой конструкции. Кастилиони применяет ее для садовых оград и ворот, которые сваривают из круглых стальных стержней. Остроумно используя при этом свойства пространственных решетчатых конструкций, он достигает в этих образцах наряду с легкой ажурностью большой жесткости.

До сих пор речь шла о пространственных решетчатых конструкциях. Под ними подразумевались системы, у которых отдельные стержни хотя и расположены в различных направлениях, но вся конструкция в целом представляет собой своего рода плоское покрытие, приспособленное к прямоугольным формам здания. Однако из пространственных конструкций мож-

но создавать и непрямоугольные формы. В таком случае стержни располагаются по кривым поверхностям, непосредственно определяющим форму всего сооружения. Если плоскости изгибаются только в одном направлении, то возникают цилиндрические формы.

В 20-х годах в Германии были созданы стержневые сооружения из стальных элементов в качестве каркаса, поддерживающего опалубку железобетонных сводов-оболочек (рис. 124.1). Нерви воспользовался аналогичной системой, применив для этого железобетонные сборные детали, которые становились частью готового свода.

О таких сводах уже говорилось в главе 2 в связи с применением V-образных опор. Здесь «стержни» представляют собой сборные замощенные детали из железобетона, скрепляющиеся друг с другом в узловых точках. В противоположность ранее рассмотренным сооружениям прямоугольной формы перед нами изогнутая форма больших размеров. Она получается благодаря соединению отдельных стержней, расположенных в изогнутой поверхности.

В сводах двоякой кривизны пространственная стержневая конструкция достигает максимальной жесткости. Возникает купол. Интересно отметить, какими путями была открыта эта конструкция в начале 20-х годов. Заводам Цейсс в г. Йене понадобилась для Планетария поверхность для проецирования изображения, возможно точнее соответствующая полусфере. По состоянию строительной техники того времени это было трудной задачей. Проф. Бауэрсфельд, автор проекта планетария, разработал пространственную решетчатую конструкцию из стержней, которая вписывается в заданную полусферу. Он математически точно определил длину и положение отдельных стержней и после этого построил стальное стержневое сооружение с высокой степенью точности. Все сооружение было затянато проволоочной сеткой и покрыто бетоном методом торкретирования.

Развитие оболочек началось в Германии в 20-х годах со строительства пространственных решетчатых конструкций из профилированного железа. Такие же детали в ряде случаев были использованы в конструкциях опалубки (рис. 124.1). Но вскоре в конструкциях оболочек отказались от применения профильного железа и стали применять круглое арматурное железо.

В те же годы американец Букминстер Фуллер также начал строить купола пространственной конструкции. Он с самого начала пытался применять сборные монтируемые элементы. С полным основанием Фуллер считал, что пространственные конструкции обладают достаточ-

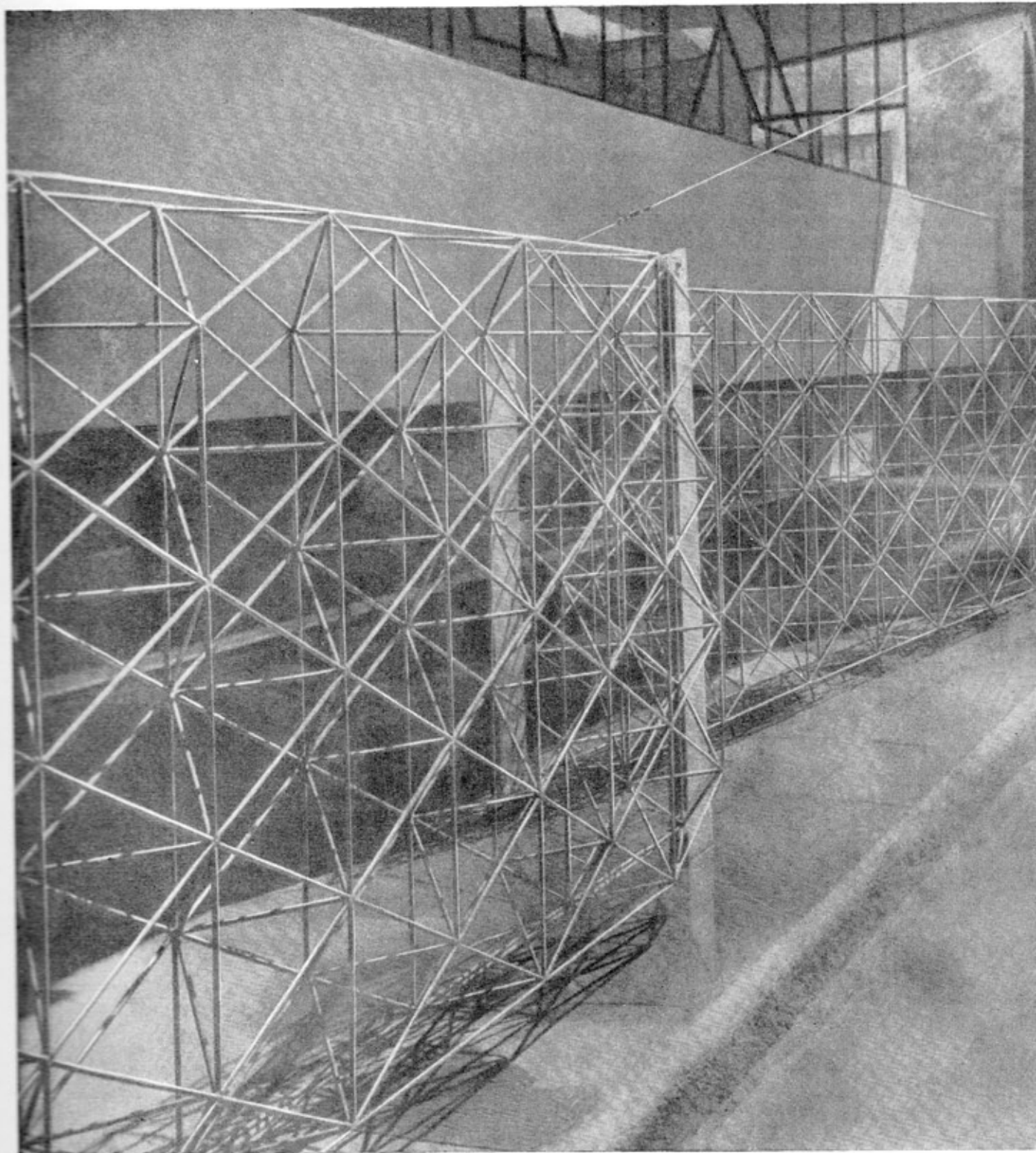


Рис. 123. Пространственная решетчатая конструкция из круглого железа со сварными соединениями. Ограда и ворота. Арх. Кастильони

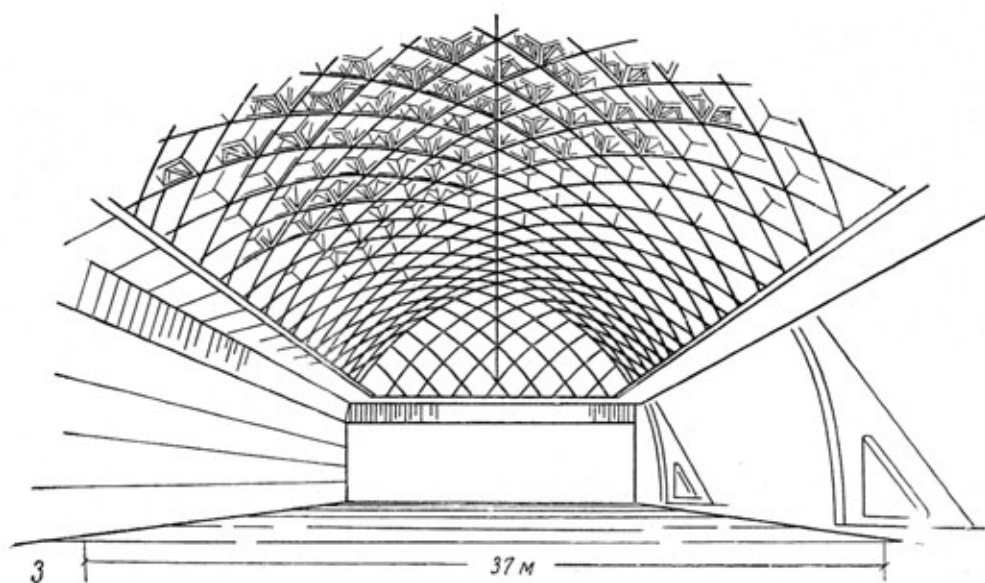
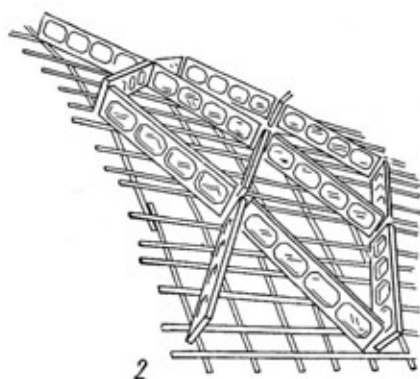
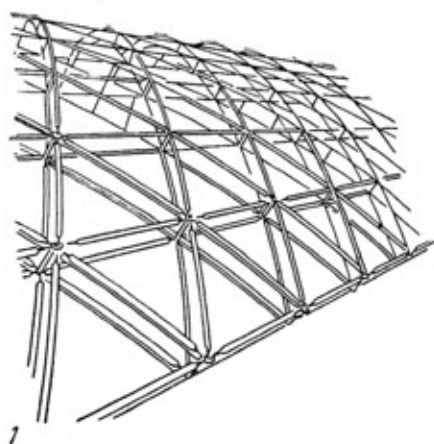


Рис. 124. Пространственные решетчатые конструкции цилиндрической формы

1. Решетчатый свод из стальных полос, который в 1927 г. служил для опалубки одной из первых цилиндрических железобетонных оболочек (крытый рынок во Франкфурте-на-Майне)
- 2 и 3. Ангары для самолетов из сборных железобетонных элементов, инж. Нерви

ной несущей способностью для перекрытия больших помещений без применения опор при небольшом собственном весе конструкции. Фуллер в течение многих лет добивался своей цели. Он сумел окружить себя группой молодых энтузиастов, стремящихся с той же настойчивостью осуществить поставленную цель. В настоящее время по проектам Фуллера или в соответствии с его конструктивными идеями во всем мире построено большое количество такого рода куполов (рис. 125.2).

Для выявления конструктивной системы Фуллер к несущей конструкции часто подвешивает изнутри кровельные листы из металла или пластмассы соответствующей формы.

Многие залы для выставок, знаменитое алюминиевое купольное сооружение завода Форда в Детройте, а также интересные сооружения радарных установок являются примерами использования структуры и формы пространственной решетчатой конструкции. Помимо жесткости, свойственной самой конструкции, и минимальной затраты материала (чем она и похожа на структуру, созданную природой), ее монтаж может быть осуществлен самыми необычными методами. Так, например, купол здания завода Форда монтировали сверху вниз при помощи мачты. Благодаря тому, что купол поворачивался вокруг мачты, к которой он был подвешен, оказалось возможным монтировать каждую деталь, пользуясь лишь боковыми подмостями.

Позже были успешно предприняты попытки монтировать конструкции при помощи надувных баллонов. Баллон заменял строительные леса. Монтаж велся сверху вниз, а баллон по мере того, как монтировались все более низкие части пространственной стержневой конструкции, поднимался все выше. По окончании монтажа воздух из баллона выпускался, и его оболочку удаляли.

При всех своих достоинствах пространственная конструкция имеет также и недостатки, кроющиеся в самой природе вещей. Мы восторгаемся правильным делением в конструкциях Фуллера поверхности шара, который, согласно законам геометрии, не может быть разделен на полностью одинаковые плоскости. Структура брони броненосца показывает, что и природа безуспешно трудилась над аналогичной проблемой (рис. 126.2).

Геометрия многоплоскостных фигур неправильной формы, вписывающихся в шар, очень сложна. Мы знаем, что фигура, имеющая двадцать плоскостей, так называемый додекаэдр, является самой большой среди правильных многоплоскостных фигур, которая может вписываться в шар. Всякая попытка натянуть на шарообразную полусферу более мелкую сетку

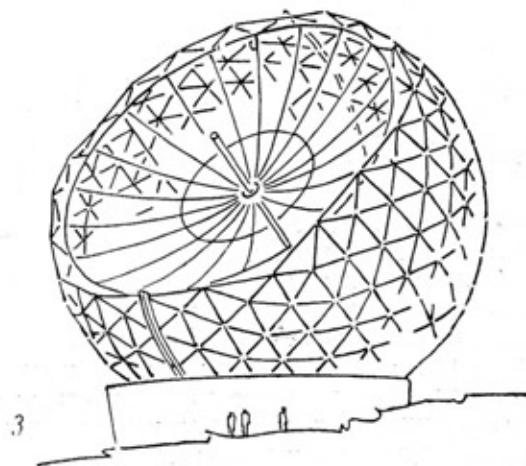
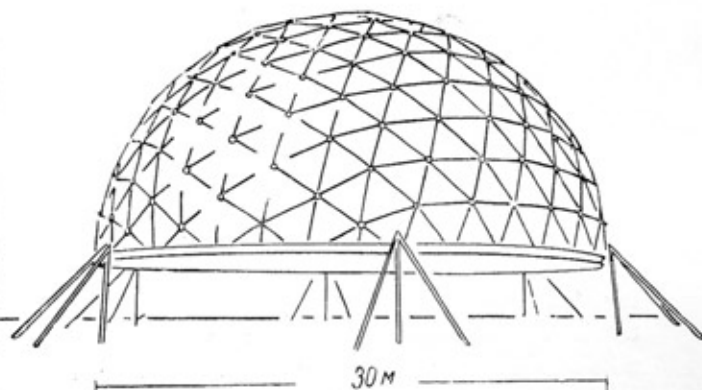
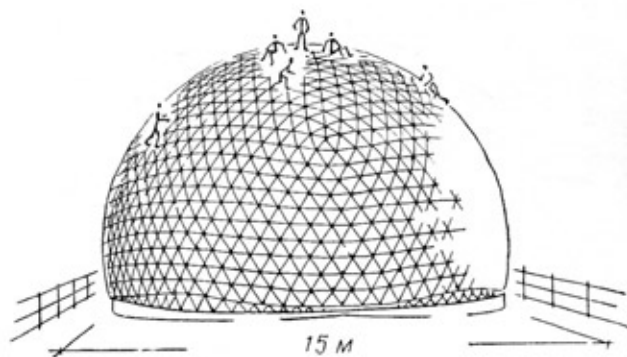


Рис. 125. Пространственные решетчатые конструкции в форме купола

1. Решетчатый каркас купола первого планетария в Мие. Его поверхность составлена из неодинаковых геометрических элементов
2. Купол системы Фуллера
3. Экран радара

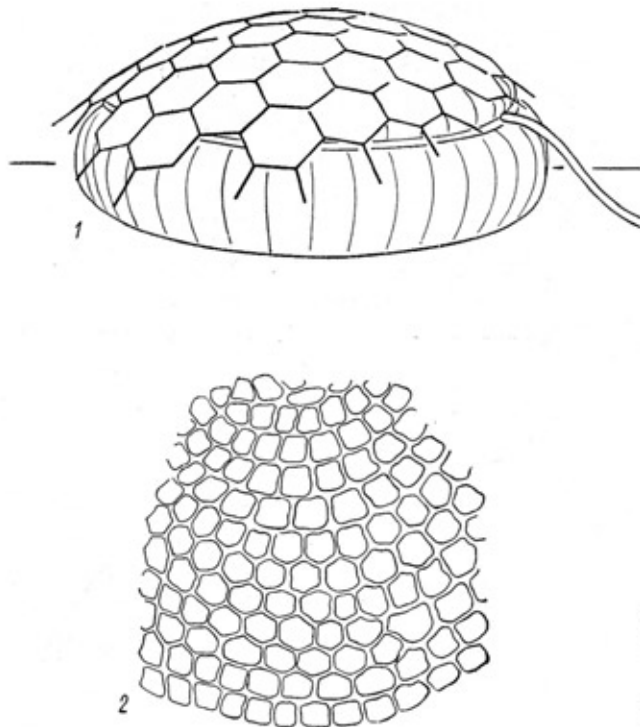


Рис. 126.

1. Монтаж купола сверху вниз при помощи надувного баллона, заменяющего строительные леса
2. Природе тоже не удалось создать шаровидную поверхность, которая была бы разделена на произвольное количество равных частей (панцирь броненосца)

одинаковых правильных многоугольников обречена на неудачу. Как известно, правильные шестиугольники образуют плоскость. Чтобы вписать их в шарообразную поверхность, необходимо придать им неправильную пространственную изогнутую форму (фото 23). Точное определение длины крайних элементов купола является очень сложной проблемой сферической геометрии. Длина сторон многоугольников, образующих купол, не равна. Поэтому для строительства таких куполов приходится применять стержни различной длины. Окончательная форма сооружения и точность монтажа зависят от размеров отдельных частей. Необходимые в данном случае малые размеры допусков усложняют изготовление элементов и обуславливают такую степень точности выполнения конструкции, которая не требуется в строительстве.

Количество возможных форм таких сооружений невелико. До настоящего времени строились почти исключительно сферические купола. Но их применение весьма ограничено. Шаровая полусфера в качестве пространственной формы почти неприменима, за исключением больших

круглых в плане помещений (выставочных залов, арен и стадионов).

С развитием техники намечаются следующие усовершенствования:

а) длина отдельных стержней будет вариабельной, т. е. ее можно будет увеличивать или уменьшать с помощью простых технических средств;

б) несущая способность отдельных стержней в рациональных пределах может быть разной благодаря изменению сечения или соединению стержней в пучки;

в) универсальный узловый элемент позволит жестко соединять любое количество стержней, расположенных в различных направлениях;

г) геометрические размеры элементов любой поверхности двойкой кривизны могут быть рассчитаны при помощи счетных машин без большого труда, что дает возможность легко устанавливать длину отдельных стержней с точностью, необходимой для производства и монтажа;

д) напряжения во всех стержнях пространственной решетчатой конструкции точно определяются путем расчетов.

При этих предпосылках можно монтировать любые формы из сборных деталей и предвидеть их поведение в эксплуатации. Названные выше технические усовершенствования дадут архитектору возможность создать такие формы, которые будут близки к формам, создаваемым природой.

Складчатые конструкции

Понятие «складчатая конструкция» является новым. В истории строительного искусства нет складчатых конструкций. Среди предметов повседневного обихода только складные ширмы и меха гармонии принадлежат к тем немногим предметам, которые напоминают нам складчатые конструкции. В растительном мире существуют отдельные экземпляры листьев, имеющих ребристую форму и форму веера (рис. 127). В остальном в природе почти нельзя найти форм, подобных складчатым структурам. Поэтому трудно пояснить данное понятие ссылками на исторические примеры или на образцы, встречающиеся в природе. Однако некоторые теоретические пояснения все же необходимы. Они будут наиболее понятными, если продемонстрировать их на модели.

Лист бумаги, опирающийся двумя противоположными сторонами на подставки, не выдерживает нагрузки от собственного веса. Почти без сопротивления лист прогибается (рис. 128.1). Если сложить его «гармошкой», параллельными

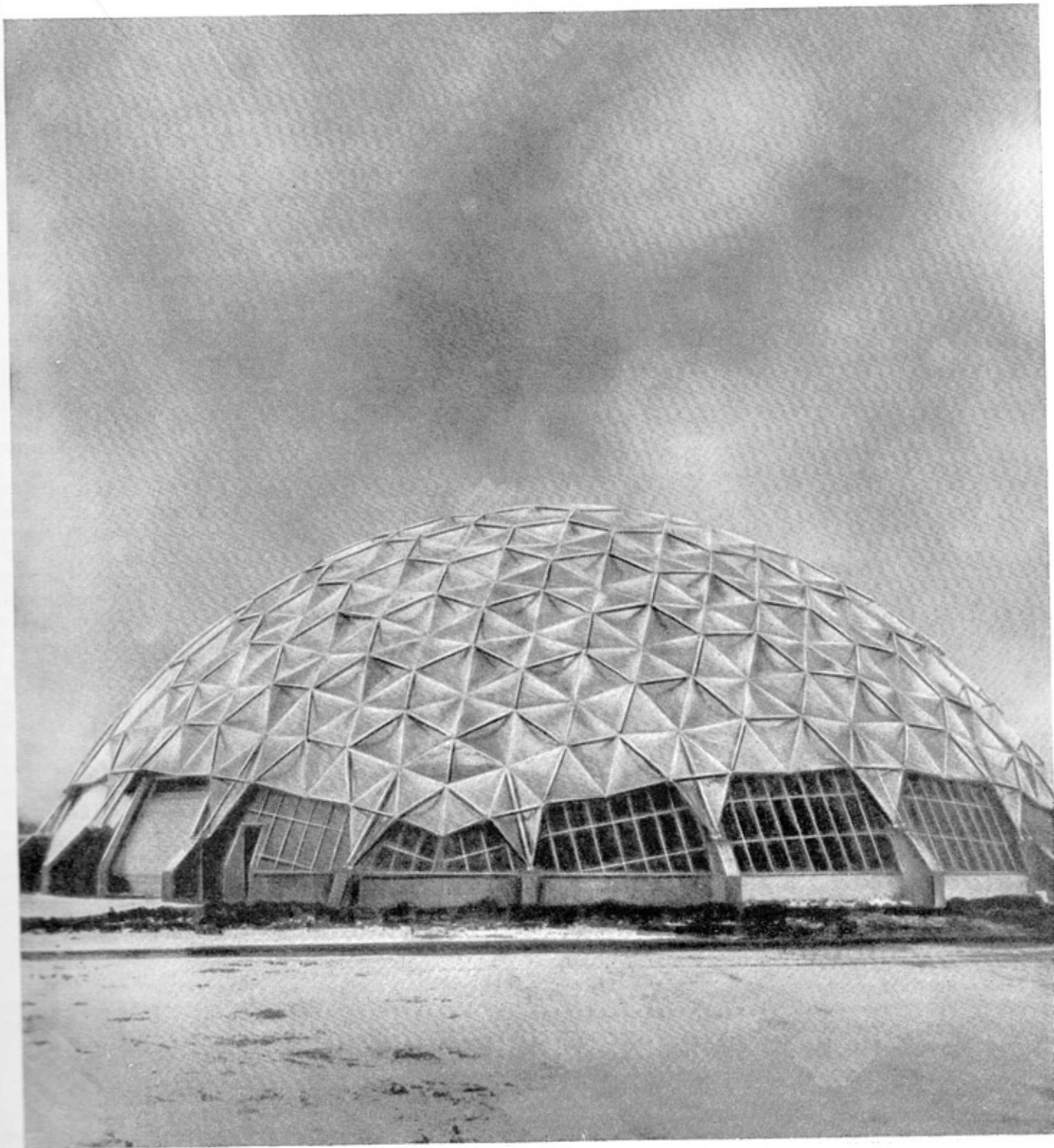


Фото 23. Купол системы Фуллера с подвешенными алюминиевыми пластинами

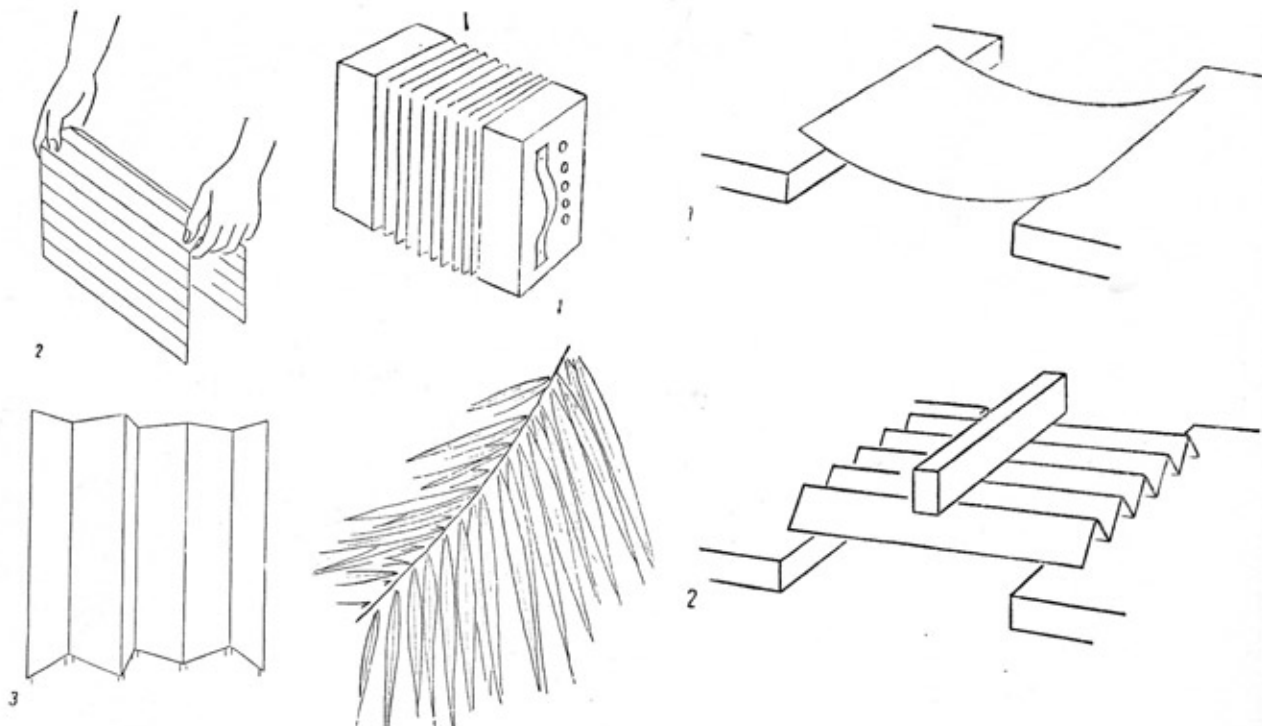


Рис. 127. Складчатые формы предметов обихода и подобные формы в природе

1. Межа гармонь
2. Прокладка из шарнирно соединенных планок
3. Ширма
4. Жесткость листьев дерева обеспечивается складчатой формой

складками в направлении пролета, лист приобретает жесткость. Он легко выдерживает нагрузку, равную стократной величине его собственного веса (рис. 128.2). Если увеличить вес груза до момента разрушения модели, то непосредственной причиной нарушения конструкции будет выпрямление складок (рис. 128.3). Выпрямление складок можно предупредить при помощи простых конструктивных мер. К торцам складок следует приклеить усиливающую полоску, в результате чего сложенная складками бумага выдерживает еще более высокую нагрузку. При этом предполагается, что полоска опирается на опору. Таким образом, получается «полосовая затяжка», без которой складчатая конструкция не может существовать (рис. 128.4).

Те же явления, которые наблюдаются у бумажной модели, имеют место у больших складчатых конструкций. Для последних требуется строительный материал с большим сопротивлением на изгиб, т. е. материал, обладающий достаточной прочностью на сжатие и растяжение. Теоретически дерево вполне подходит для этой цели, но из него очень трудно изготовить пли-

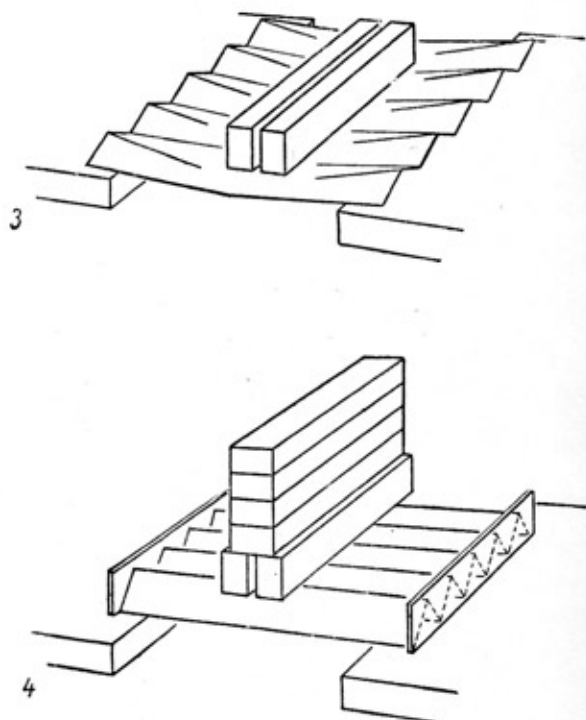


Рис. 128. Бумажная модель складчатой конструкции

1. Ровный лист бумаги прогибается почти без сопротивления
2. Придав листу складчатую форму, мы повышаем его несущую способность
3. При перегрузке складки распрямляются
4. Торцовые стенки (диафрагмы) придают складкам жесткость и повышают их несущую способность

ты большой величины, необходимые для складчатой конструкции. Кроме того, в складках очень сложно создать крепкую связь деревянных плит между собой. Поэтому до настоящего времени дерево не применяется в качестве строительного материала для складчатых конструкций.

Сталь и алюминий не могут быть применены для складчатых конструкций больших размеров, так как благодаря высокой прочности листы будут настолько тонкими, что имеется опасность их выпучивания. Только в случаях, когда из металлических листов делают двухслойные панели, можно применять их для конструкций больших размеров. Но изготовление таких панелей находится лишь в самом начале развития. Таким образом, в настоящее время для складчатых конструкций наиболее подходящим является железобетон.

Работу складчатой конструкции можно разложить на три отдельные функции (рис. 129).

1. Несущая функция плоскостей в поперечном направлении к складкам. Плоскости защемлены в местах складок и работают в направлении от желобка к коньку и от конька к желобку. Совместно они работают как сплошная железобетонная плита, плоскость которой многократно изломана. Верхние и нижние ребра совпадают с линиями опирания отдельных полос складок.

2. Несущая функция граней в продольном направлении. Складки (верхние и нижние ребра) воспринимают как опоры нагрузку изломанной плиты. Силы разлагаются на составляющие в направлениях наклонных граней и воспринимаются этими гранями. Последние в качестве несущих плит, работающих в продольном направлении, выполняют свою вторую функцию, а именно: отводят нагрузку по направлению к точкам опоры аналогично двум балкам, которые опираются друг на друга. Несущая способность плит возрастает с конструктивной высотой, т. е. пропорционально ее уклону. При очень малом уклоне складчатая конструкция теряет свою эффективность.

Если из большого количества одинаковых складок выделить пары смежных, то они будут работать аналогично балке. Эта аналогия не

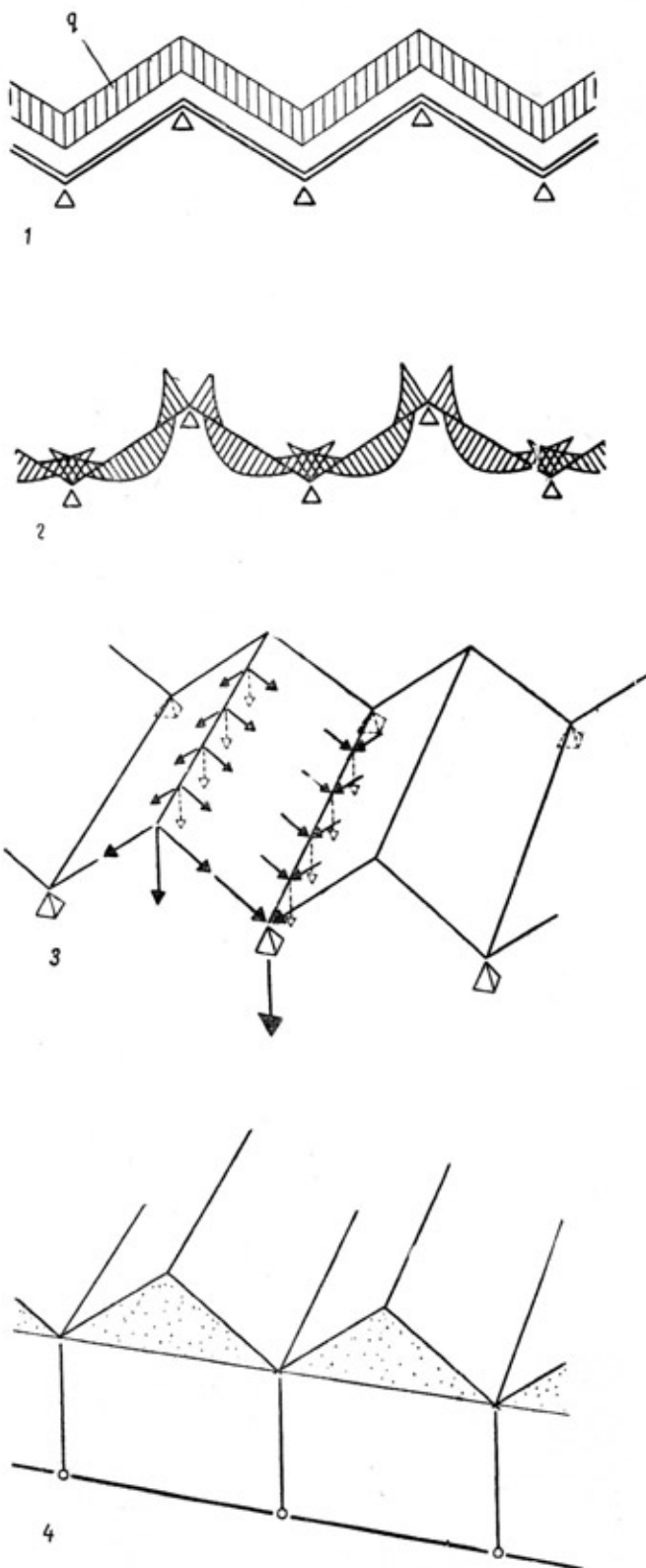


Рис. 129. Работа складчатой конструкции

1. Перпендикулярно направлению пролета грани между складками работают как изогнутые плиты
2. Эпюра моментов изогнутой плиты
3. В направлении пролета плоскости между ребрами ведут себя как наклонные балки, опирающиеся друг на друга
4. Постоянство формы складок должно обеспечиваться при помощи торцовых стенок в местах опирания

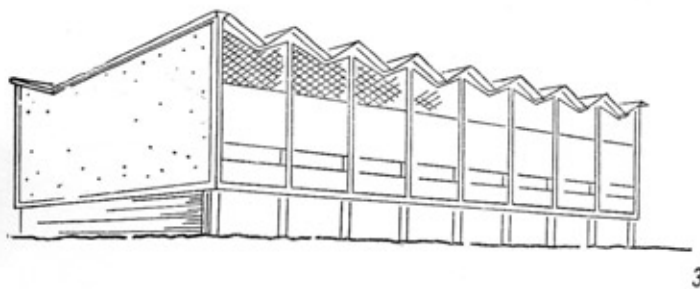
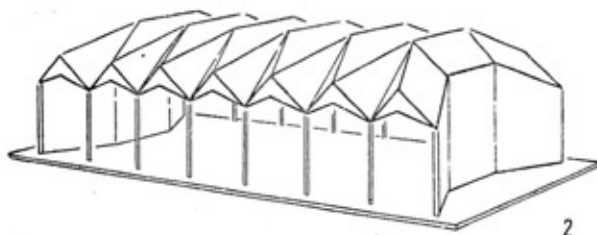
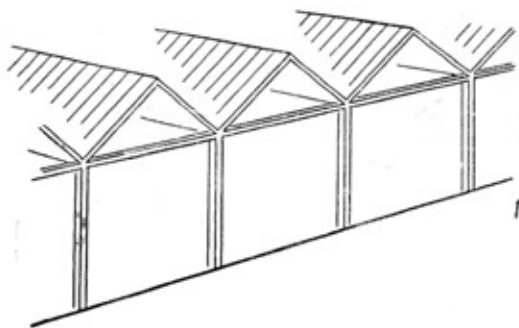


Рис. 130. Различные формы торцовых стенок

1. Затяжка между точками опоры
2. Диафрагмы виллообразной формы в виде фронтонов
3. Подвешенные виллообразные диафрагмы

справедлива для крайних и несимметричных складок. В этих случаях в ребрах и желобках двух смежных складок возникают различные формы деформации, развитие которых предупреждается взаимной связью плоскостей складок, устойчивых против сдвига и изгиба. Именно благодаря этому активизируются резервы мощностей, характерные для пространственных несущих конструкций, которые делают последние более эффективными, чем конструкции, рас-

считанные только на изгиб. Об этом будет более подробно рассказано в связи с рассмотрением цилиндрических оболочек.

3. Несущая функция торцовых диафрагм. Назначение торцовой диафрагмы — обеспечить жесткую связь складок на опорах. Распрямление складок приводит к потере конструктивной высоты, и тем самым к обрушению. Торцовая диафрагма выполняет свою функцию наиболее просто и эффективно, если она представляет собой сплошную стенку. Тогда она надежно сохраняет форму складчатой конструкции.

Учитывая эти три функции, можно создать много вариантов складчатых конструкций. Наиболее важным их свойством всегда является складчатость. Отношение высоты складки и ее уклона к пролету определяет жесткость и несущую способность конструкции. Пропорции складок, форма торцовых стенок (диафрагм), а иногда и видимый на торцах рисунок складчатой конструкции — все это элементы, выражающие несущую способность складчатой конструкции. Умелое использование в архитектуре здания этих элементов приводит к созданию тектонической формы.

Вместо торцовой стенки (диафрагмы) можно применить также и затяжки, когда складчатая конструкция опирается на нижние ребра, между которыми и устанавливаются затяжки. Нижние ребра складчатой конструкции в таком случае должны быть достаточно утолщены, чтобы усилия, сосредоточенные в них, могли быть переданы на опоры.

Другим вариантом решения жесткого торца складок является применение виллообразного жесткого элемента, представляющего нечто среднее между диафрагмой и затяжкой. На модели (рис. 130.2), сделанной студентами, ясно видна форма этого элемента. В здании гидротехнического института в Хайфе применен аналогичный элемент (рис. 130.3) с другой системой опирания. В примерах, приведенных выше, складчатая конструкция опирается на нижние точки складок, а в данном примере она подвешена к верхним ребрам. Оба варианта являются возможными.

Еще раз вернемся к зданию электростанции, о которой уже шла речь в главе 2. Складчатая конструкция покрытия благодаря выносу над фасадом создает впечатление большой легкости. Никакими торцовыми стенками или затяжками не скрывается четкая структура складчатой конструкции. В данном сооружении функция торцового элемента, состоящая в том, чтобы препятствовать смещению складок, выполняется не диафрагмами или затяжками, а виллообразными опорами наружных стен. Последние соприкасаются друг с другом в вершинах образо-

Рис. 131. Несмещаемые опоры вместо диафрагм

1. Видообразные колонны здания электростанции в Бирсфельде, Швейцария, непосредственно соприкасаясь друг с другом, образуют непрерывную цепь несмещаемых точек опоры
2. Конструкция, поддерживающая трибуны спортивного зала (студенческая работа), обеспечивает неподвижность точек опоры складчатого навеса

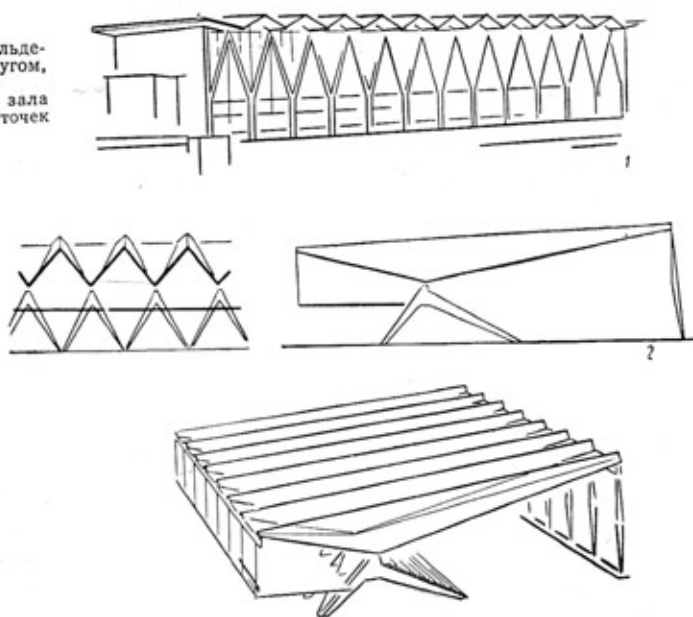
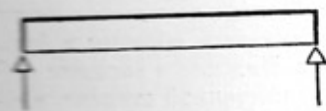
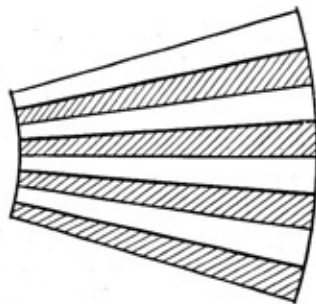
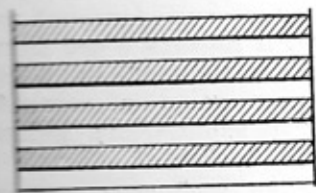
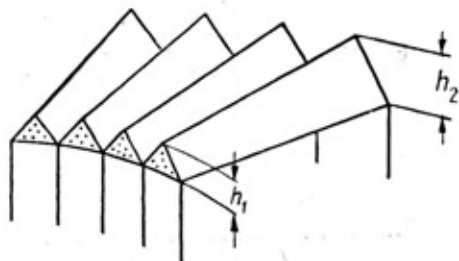
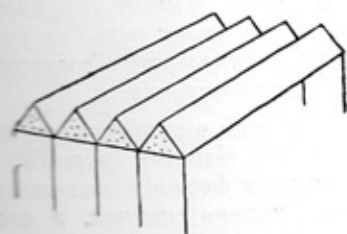
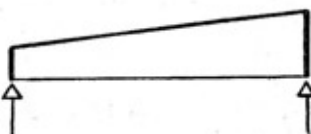


Рис. 132. Разновидности складчатой конструкции

1. Параллельные складки
2. Влееробразные складки



2



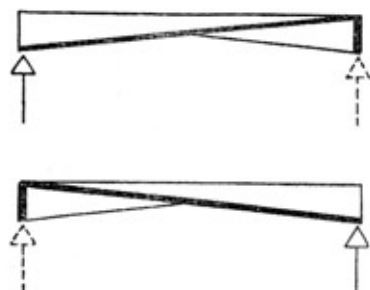
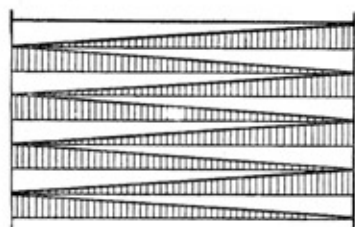
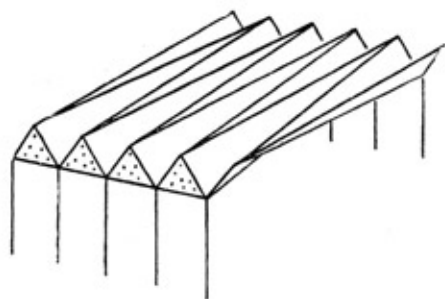


Рис. 133. Варианты встречных складок

ванных ими треугольников и создают цепь неподвижных узлов, противодействующих любому смещению складок. На рис. 131.2 изображена складчатая конструкция навеса над трибуной (проект студента). Навес также опирается на несмещаемое нижнее основание и торцовая диафрагма в данном случае является излишней. Жесткость нижней части сооружения достигнута благодаря применению виллообразных опор, которые, непосредственно соприкасаясь друг с другом, образуют ряд жестких треугольных связей. С противоположной стороны навес опирается на шарнирные опоры, а не на треугольные связи. Поэтому здесь предусмотрена ранд-балка, обеспечивающая продольную связь.

Складки с параллельными ребрами имеют наиболее простую форму (рис. 132.1). При трапециевидальном плане применяют формы веера, при которых ширина и высота складок постепенно увеличиваются по направлению к наружной стороне (рис. 132.2). Если принять высоту складок постоянной, то их поверхности получаются перекошенными. Можно спорить о том, не нарушается ли при этом сама суть складчатой конструкции. Возможно, что форма складчатой конструкции более ясна и выразительна, если складки состоят из плоских поверхностей. Однако будущее покажет, какой путь наиболее правилен для развития этой конструкции и какие преимущества они имеют. Однако перекошенные поверхности складок могут обладать устойчивостью, если будут работать как мембраны (см. раздел об оболочках). Благодаря сокращению толщины складок будет достигнут значительный экономический эффект. В этом случае высказанные выше сомнения по поводу чистоты формы складчатой конструкции явились бы необоснованными, так как речь идет о новой конструктивной форме.

Кроме параллельных и веерообразных складок применяются встречные складки, вклинивающиеся друг в друга на протяжении всего пролета (рис. 133). В другом варианте складки взаимно пересекаются на определенных небольших отрезках, и, таким образом, в несущей конструкции создаются изломы (рис. 134). Если складки будут повернуты вниз под острым углом, образуются жесткие узлы и складчатая конструкция превращается в рамную. Для этого требуется, чтобы складки в узлах рамы не распрямлялись, как в вышеописанной бумажной модели, опирающейся на подставки.

Такие идеи использованы в конструкции зала конгрессов ЮНЕСКО в Париже (рис. 135 и фото 24). Трапециевидальная форма плана создает веерообразное расхождение складок, а соединение покрытия со складчатыми стенами — рамную конструкцию. Последняя имеет три стойки. Эпюра моментов в целом отличается от известной эпюры моментов двухшарнирной рамы. Однако у узлов рамы имеется с ней некоторое сходство. Максимальные изгибающие моменты появляются в узлах и в середине пролетов, а наибольшие напряжения наблюдаются над внутренней опорой.

Для формообразования этой конструкции важно, что сжимающие напряжения от изгиба в узлах и на внутренней опоре возникают снизу, а в середине пролетов главным образом в большем пролете — наверху. Нижние и верхние ребра складок только в ограниченной степени в состоянии воспринять напряжения, вызываемые

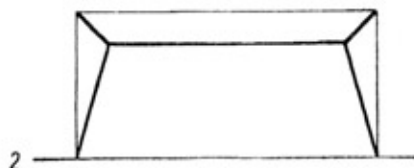
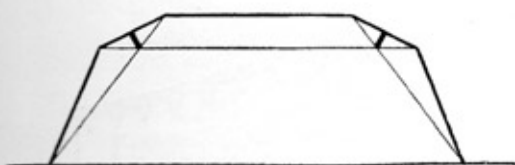
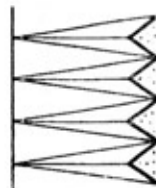
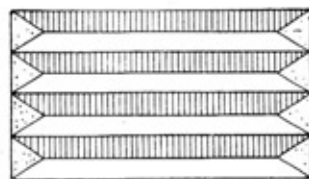
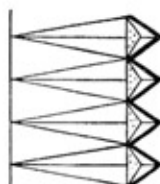
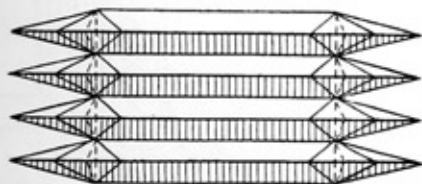
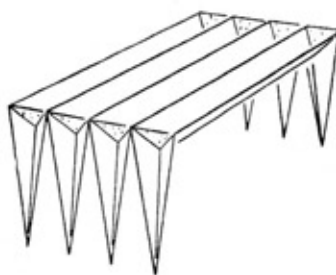
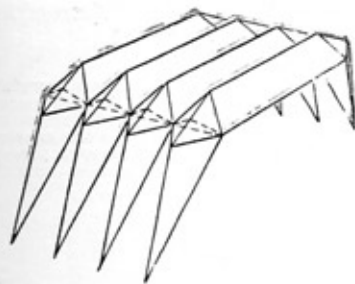


Рис. 134. Образование жестких узлов рамы из ребер складок

1. Пяты стоек находятся в одной плоскости с верхними ребрами складок
2. Пяты стоек находятся в одной плоскости с нижними ребрами складок

сжатием при изгибе. Поэтому в каждой зоне максимальных усилий сжатия предусмотрена сплошная плита, проходящая через всю складку. Она опирается на узлы рамы и на внутренние опоры внизу и отгибается кверху по направлению к середине ригеля в зоне сжатия. Эта изогнутость покрытия придает помещению характерную форму. Но все же она продиктована, в первую очередь, законами, определяющими форму конструкции. Изогнутая сплошная плита, проходящая через всю складчатую конструкцию, не только воспринимает значительные усилия сжатия, вызванные изгибом, но и укрепляет складки по всей ширине несущей конструкции и, таким образом, содействует повышению устойчивости сооружения в целом.

В проекте архитектора Марселя Брейера церкви святого Джона в Колледжвиле, штат Миннесота, США, использованы аналогичные формы конструкции двухшарнирной рамы из складок (рис. 136).

Проект спортивной арены в Павии свидетельствует о богатой фантазии автора арх. Беллони. Игра расширяющихся и взаимно пересекающихся в противоположных направлениях складок весьма эффектна, и все же форма здесь не является произвольной, а подчиняется законам геометрии и тектоническим законам архитектуры. Складки как бы взаимно проникают одна в другую, образуя свод. В направлении свода складки сообщают системе необходимую жесткость. В поперечном к своду направлении горизонтальный пояс связывает тонкие

Рис. 135. Зал конгрессов ЮНЕСКО в Париже. Архитекторы Брейер и Церфусс, инж. Нерви

1. План, имеющий форму трапеции
2. Зал перекрывается двухпролетной рамой, ригели и стойки которой образуют складчатую конструкцию. В том месте, где от изгиба возникают сжимающие напряжения, запроектирована изогнутая плита, которая проходит через все складчатое покрытие. В узлах предусмотрены наклонные распорные диафрагмы. Поперечный прогон над средней опорой служит для придания конструкции жесткости
3. Перспектива

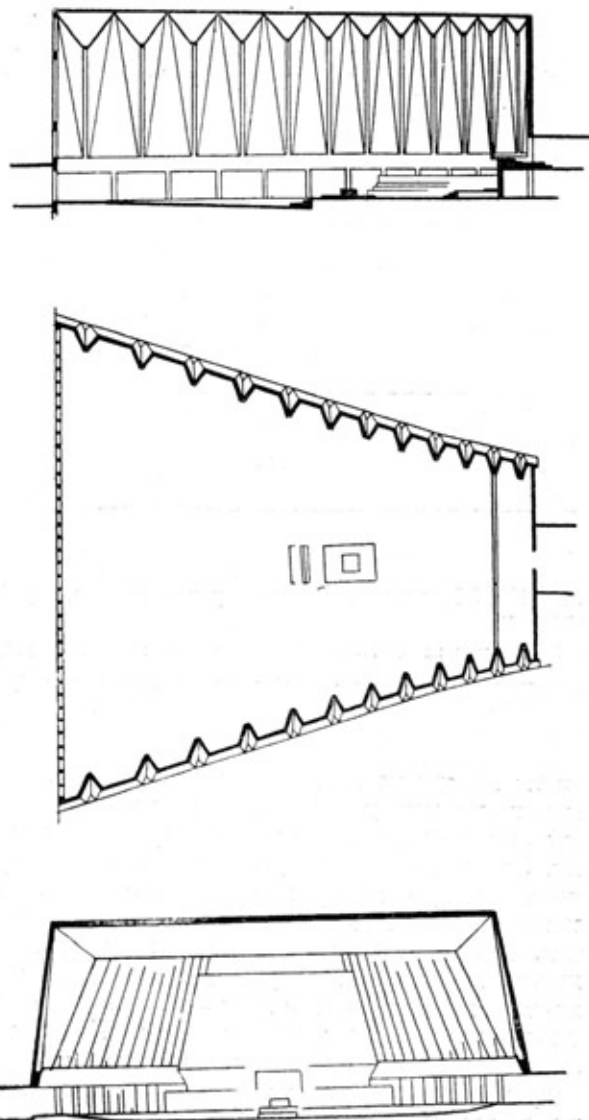
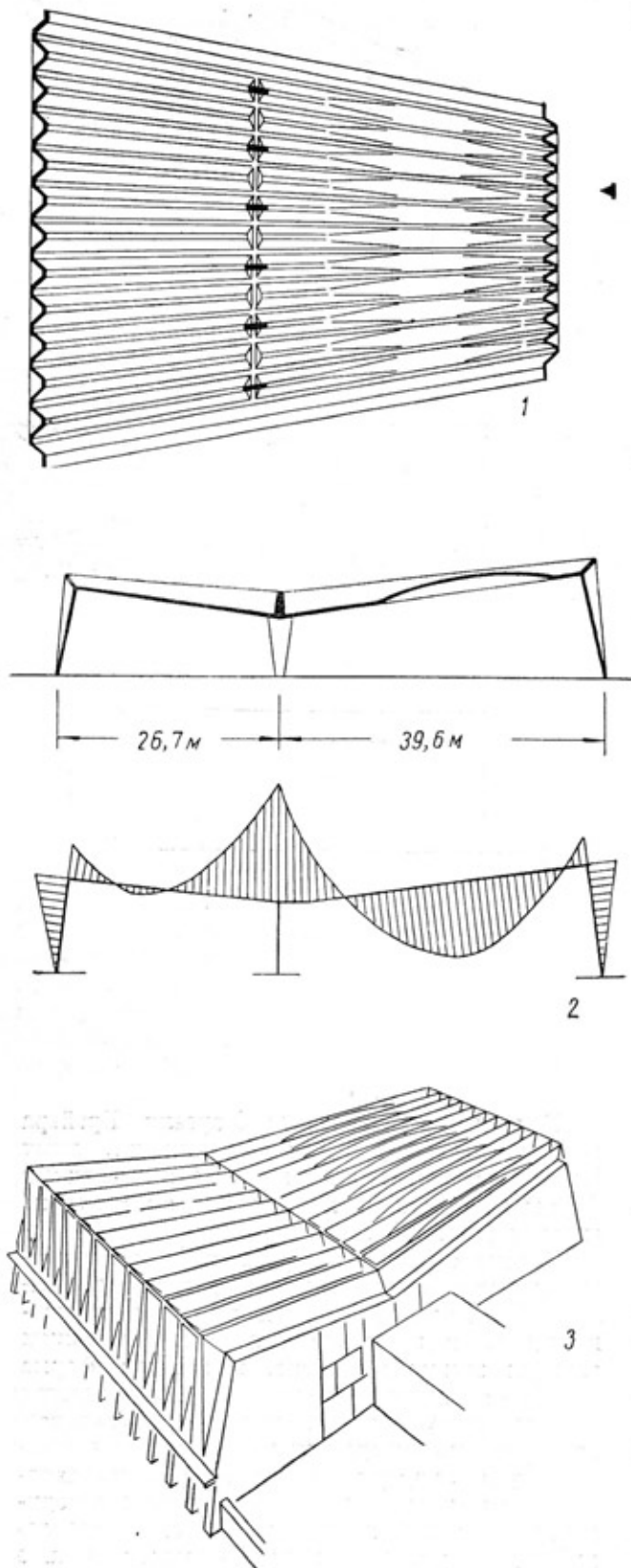
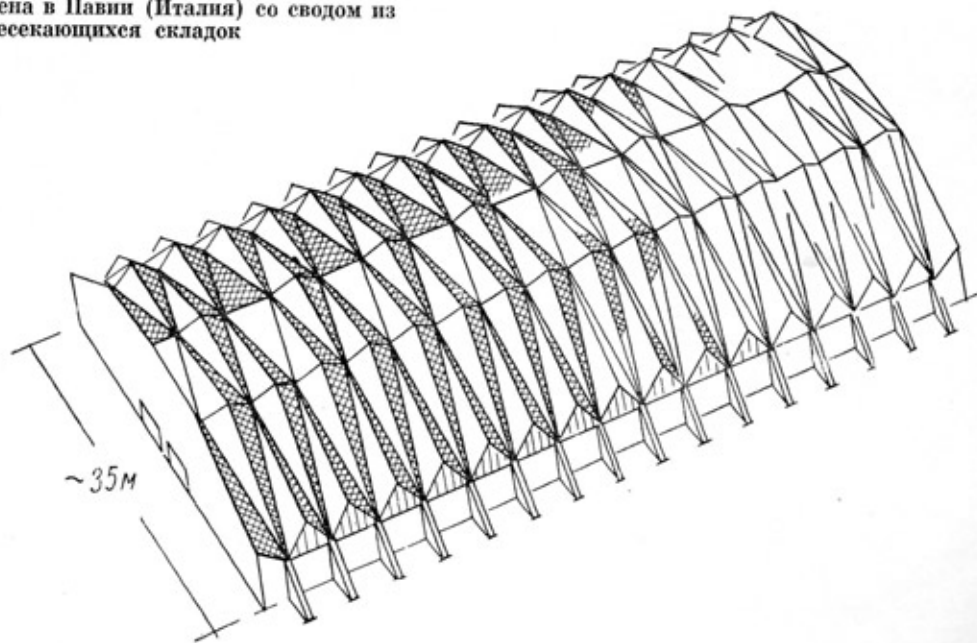


Рис. 136. Церковь, построенная по проекту арх. М. Брейера, с несущей конструкцией из однопролетных складчатых рам



Фото 24. Вид складчатой конструкции зала конгрессов ЮНЕСКО в Париже

Рис. 137. Спортивная арена в Павии (Италия) со сводом из встречных взаимно пересекающихся складок



пять вместе, чем и препятствует выпрямлению складок. Наружные контрфорсы воспринимают усилия сдвига свода.

Такая форма еще кажется нам несколько необычной, но если подвергнуть ее тщательному анализу, она оказывается вполне правильной. Ни в коем случае нельзя рассматривать форму складчатой конструкции, показанную на рис. 137, как плод формализма. Перед нами конструкция, созданная на основе тех новых возможностей, какие в настоящее время представляются железобетоном. Ее следует развивать дальше и энергично внедрять. Однако своеобразие кристаллоподобных форм позволяет применять их только в исключительных случаях. Но, очевидно, и эта конструкция станет «модной» и будет применяться неправильно и не по назначению.

В тех случаях, когда складчатая конструкция применяется без всяких претензий на художественный эффект, ее чисто утилитарная форма все же носит явно тектонический характер. Например, у стенки из рифленой жести (широко распространенного в Америке строительного материала для облицовки наружных стен промышленных зданий), волнистого стекла, волнистой жести и волнистого этернита жесткость является следствием рифлености и волнистости. Применение этих строительных материалов преследует чисто конструктивные цели; формы этого типа облицовки еще недостаточно используются для выразительности фасадов (рис. 138). Это в такой же степени относится к формам шедовых покрытий (рис. 139).

Одним из наиболее удачных примеров применения в архитектуре складчатой конструкции, пожалуй, является мемориальное здание конференц-зала в Детройте, построенное по проекту Ямасаки (рис. 140). Очень ясная и простая конструктивная схема определила архитектуру всего здания. Сложные детали, которые получаются в результате косых врезок в конструктивные части, нигде не маскируются и выполнены так, что ими можно только восхищаться. И все же именно в этой конструкции до предела доведены жесткость и угловатость форм, свойственные образованиям кристаллов. Здание, которое должно служить целям науки, превращается в мемориальное сооружение. Все детали носят жесткий, геометрический характер, присущий складчатым сооружениям. Окна, двери, остекление верхнего света, короче говоря, все детали здания имеют форму, отвечающую прежде всего не функциональному назначению здания, а необходимости создания архитектурно-художественного образа, геометричность форм которого должна выразить мемориальный характер этого сооружения.

Аналогичное впечатление производят своеобразные формы новой церкви в Руайане, показанной на рис. 141. Они также отличаются монументальностью, которая в данном случае отчасти является уместной. Возможно, что многим язык этих форм покажется слишком претенциозным или рассчитанным на эффект. Но это объясняется прежде всего его новизной и оригинальностью. Окончательное эстетическое суждение невозможно без знакомства с конструкцией, образующей эти формы. Конструкция

наружных стен состоит из пилонов V-образного сечения. Они установлены без конструктивной связи независимо друг от друга. Между ними расположены лишь остекленные полосы для освещения. Благодаря складчатой форме каждый пилон является жестким. Все пилоны соединены горизонтальными наружными галереями, связывающими их в единое целое как в пространственном, так и в конструктивном отношении. Авторы проекта (архитектор Жиле и инженеры Лафай и Сарже) использовали эту новую железобетонную конструктивную систему, как основную архитектурно-художественную тему здания. Авторы церкви в Руайане, не прибегая к каким-либо декоративным приемам, попытались использовать конструкцию для эмоционального воздействия на зрителя. Фактура бетона оставалась такой, какой она получалась после снятия опалубки. Форма самой конструкции в этом сооружении является главной, а отделке ее поверхности не придано никакого значения.

Следует признать, что создание церкви в Руайане — серьезный вклад в дело развития складчатых конструкций. Поэтому должны отступить на задний план все соображения, обусловленные различными вкусами.

Желание увеличить несущую способность складчатой конструкции иногда приводило к созданию интересных вариантов этого вида конструкций.

Примером служит конструкция покрытия здания магазина «Сирс Компани» в США. Сосредоточивая материал в местах верхних и нижних ребер складок, т. е. в местах, где действуют максимальные напряжения от изгиба (по аналогии с балками), и придавая этим местам форму горизонтальных плоских вставок, можно значительно повысить несущую способность складчатой конструкции.

В Америке находит широкое применение складчатый листовый металл для облицовки стен, а также для опалубки железобетонных перекрытий в случаях, когда требуется большая прочность на изгиб. Форма складок этого листового облицовочного материала очень похожа на форму конструкции кровли, показанной на рис. 142.1. Возможно, данные формы свидетельствуют о дальнейшем развитии складчатой конструкции. В то же время эта форма открывает новые возможности ее архитектурно-художественного использования.

Такие же тенденции наблюдаются в разработке форм складчатой конструкции крытого рынка в Турине, построенного Нерви. Речь идет в данном случае скорее об арочной, чем о складчатой конструкции, но в разрезе это волнистое покрытие следует рассматривать как складча-

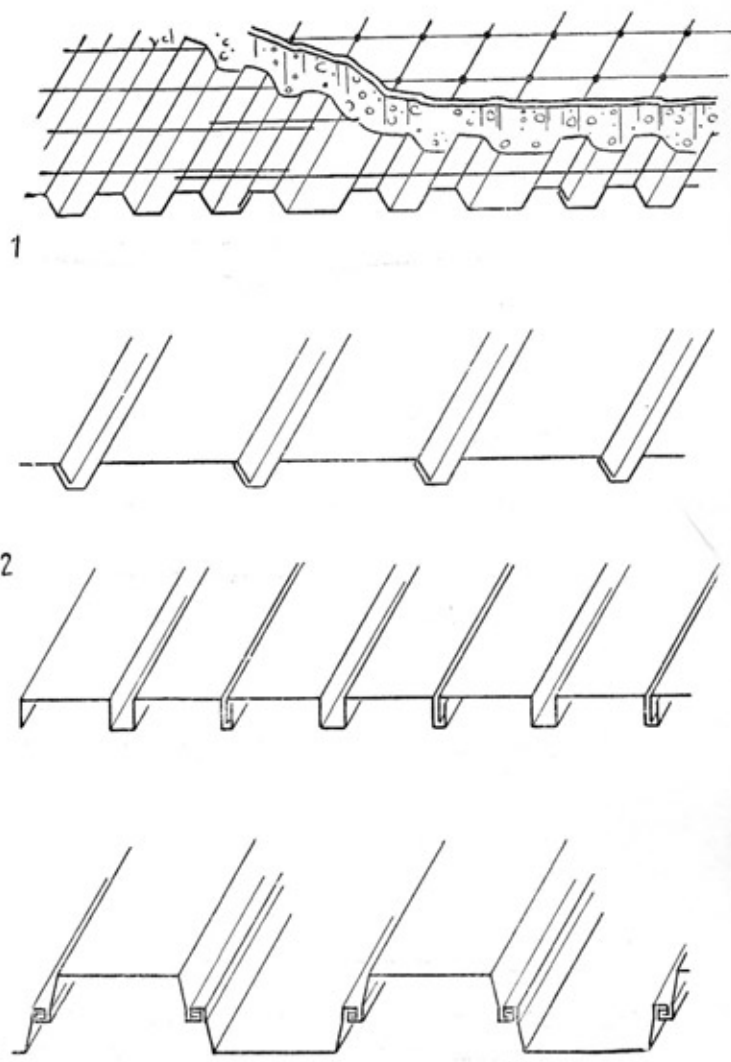


Рис. 138. Чисто утилитарные формы складок

1. Складчатые металлические листы служат одновременно опалубкой и арматурой железобетонного перекрытия
2. Желобчатые листы для облицовки стен
3. Шпунтовая стенка



Рис. 139. Шедовое покрытие промышленного здания можно рассматривать как складчатую конструкцию, если в ней нет вертикальных несущих элементов

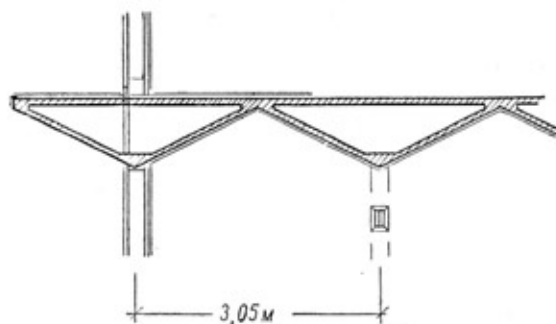
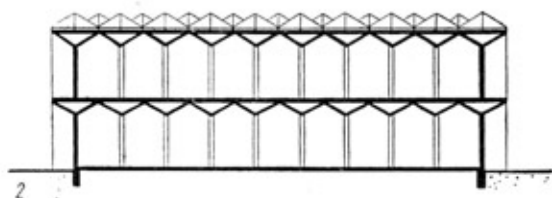


Рис. 140. В Детройте, США, Ямасаки создал складчатую конструкцию весьма выразительной архитектуры

1. Общий вид
2. Продольный разрез и детали

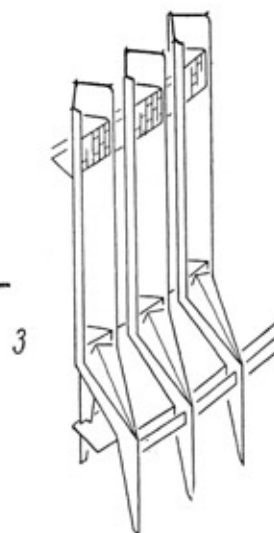
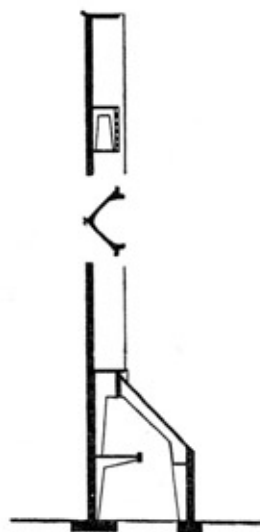
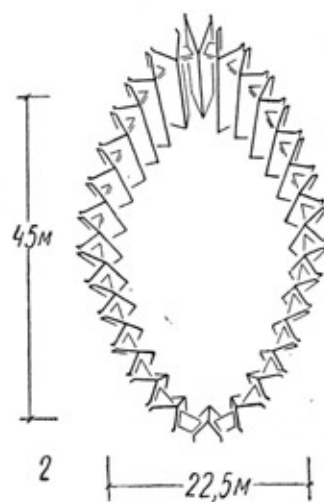
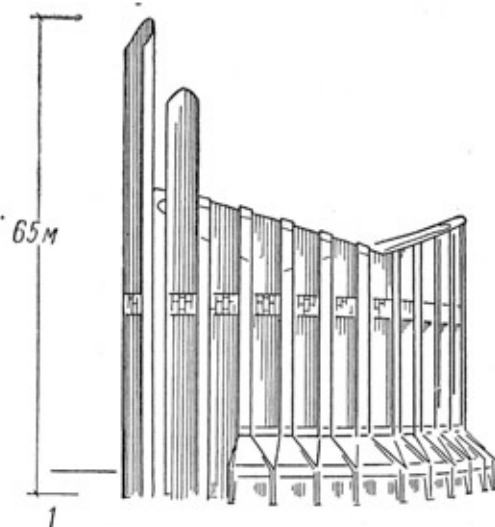


Рис. 141. Церковь Нотр-Дам в Руайане, Франция. Складчатая конструкция придает жесткость высоким наружным стенам. Арх. Жиле, инженеры Лафай и Сарже

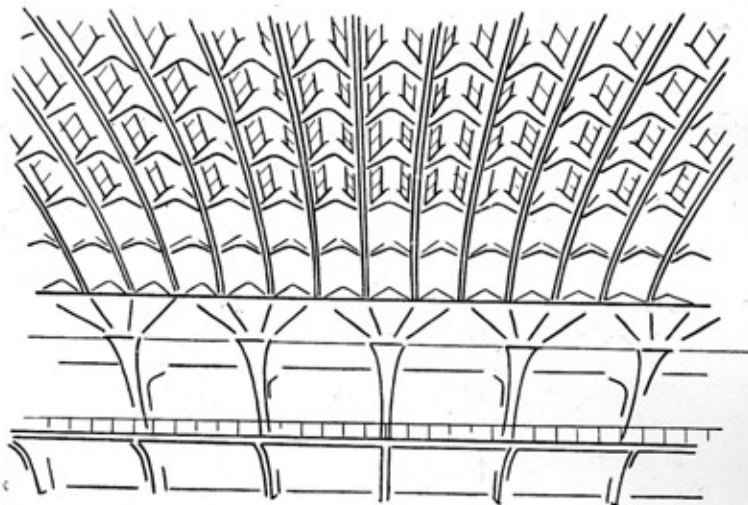
1. Общий вид
2. Складки наружных стен в плане
3. Детали складок



2

Рис. 142. Дальнейшее развитие складчатой конструкции

1. Горизонтальные вставки на месте нижних и верхних ребер складок увеличивают несущую способность конструкции
2. Поперечный разрез по своду над залом выставки в Турине, Италия (инж. Нерви), также показывает концентрацию материала в наиболее напряженных местах конструкции складок

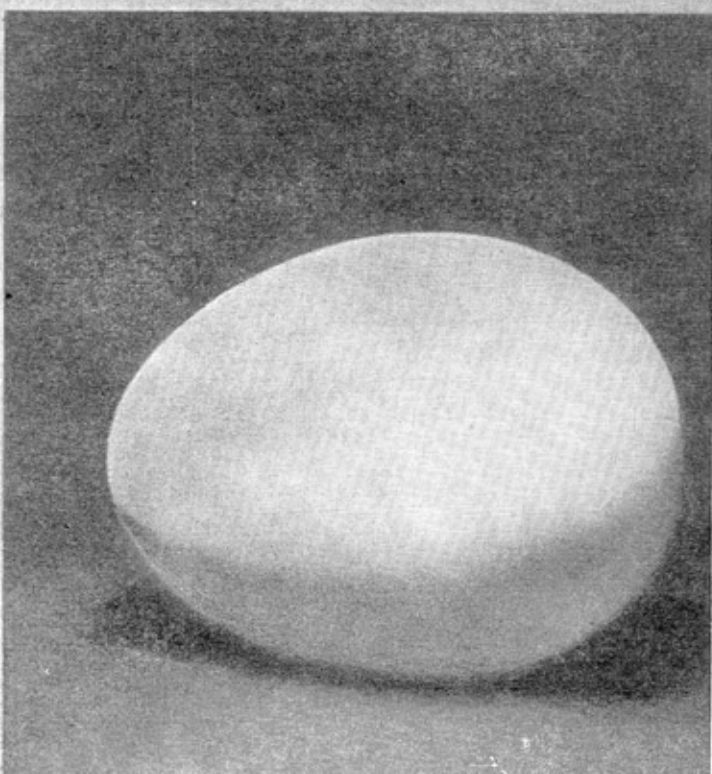
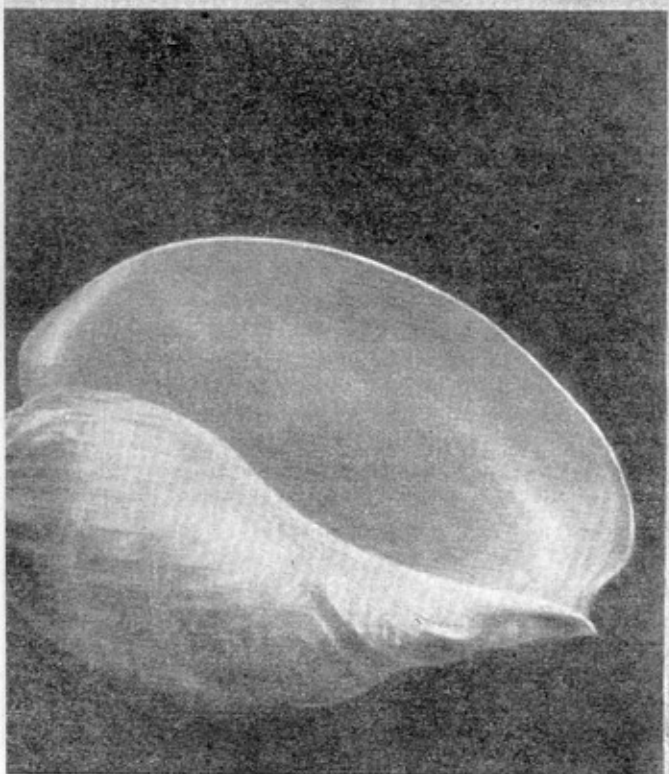
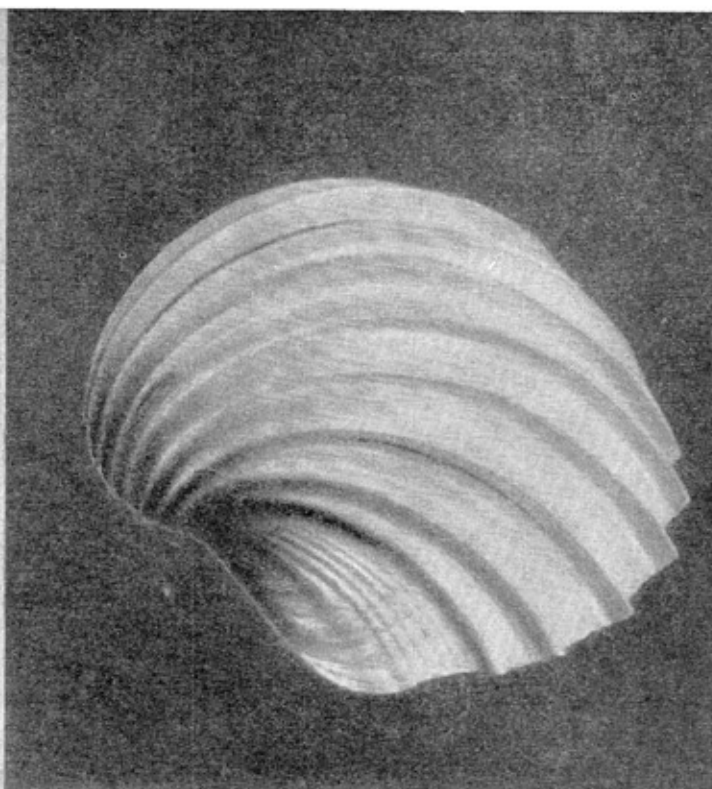
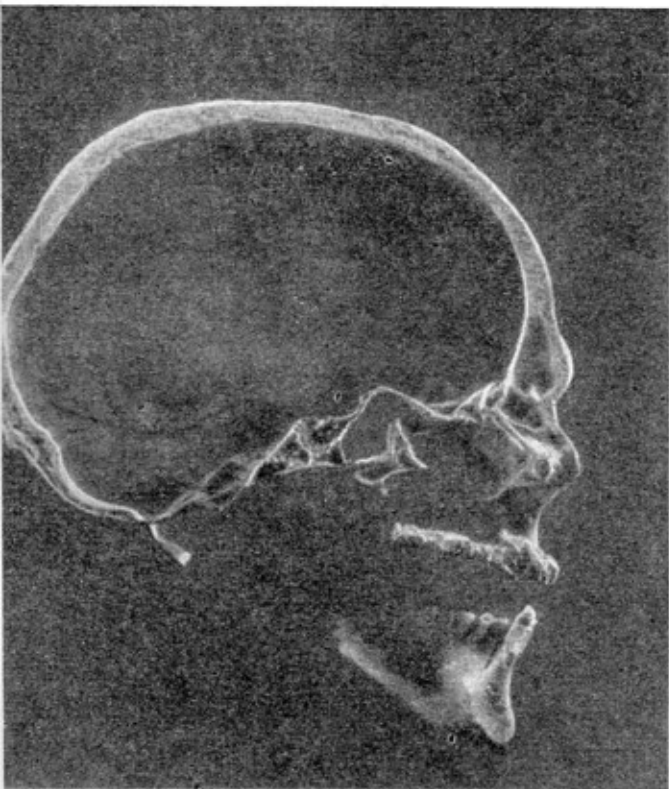


тую конструкцию, которая придает аркам требуемую жесткость. В сечении заметно утолщение верхних и нижних ребер. Не удивительно, что Нерви уже давно применял эту конструкцию (крытый рынок в Турине построен в 1948 г.).

Идея использовать складчатость для создания жесткости является столь элементарной и убедительной, что возникает вопрос, почему аналогичные конструкции не были осуществлены значительно раньше. Видимо, не было соответствующего строительного материала. В настоящее время в нашем распоряжении имеется железобетон. В будущем, возможно, появятся еще и другие подходящие для этой цели строительные материалы. Для архитектора, обладающего фантазией, открывается широкое поле деятельности. Но одной фантазии недостаточно. Без основательного знания геометрии складчатых несущих конструкций и работы их внутренних сил тектоника этой формы может быть искажена формалистами еще до того, как она разовьется.

Гранные формы складчатых конструкций очень эффектны. Поэтому их иногда применя-

ют только для достижения чисто архитектурного эффекта, не учитывая при этом функциональные и конструктивные закономерности, которым эти формы подчинены. К тому же детали складчатой конструкции трудоемки и сложны в изготовлении. Как никакая другая конструкция, складчатая четко читается изнутри и снаружи, и это придает ей особую живость, которая может быть потеряна при подшивке или облицовке. Поэтому прокладка в ней проводов, труб, коробов и каналов санитарно-технического и другого оборудования, необходимого в современных зданиях, а также тепло- и гидроизоляция крыш трудно осуществимы. Легко создать проект, который красив на стадии эскиза. Но если у проектировщика нет технических знаний, необходимых для осуществления проекта во всех его деталях, то он легко может потерпеть неудачу. Кто не в состоянии создавать ясные и мощные оголенные конструктивные формы, подобные тем, которые осуществлены в зале заседаний ЮНЕСКО, тому лучше отказаться от применения капризной в своих деталях складчатой конструкции.



Формы оболочек в природе

«Оболочка» (скорлупа) напоминает некоторые формы, встречающиеся в природе. Мы вспоминаем скорлупу яйца, ореха, кожуру фруктов, панцирь рака, насекомых и ракушки. Когда мы думаем о них, у нас возникают ассоциации: оболочки (скорлупы) по своей форме являются всегда изогнутыми; материал, из которого они состоят, прочный.

Мягкий материал используется природой для создания безграничного богатства форм, но отнюдь не для создания оболочек. Для оболочек (скорлуп) не подходят так же и волокнистые материалы, как солома, или упругие материалы, как кожа или шкура. Понятие оболочка, которое мы хотим сейчас определить, не совместимо с применением этих материалов. Материал, из которого делаются оболочки, характеризуется высокой жесткостью и твердостью. Изогнутая поверхность и прочный материал — вот чем характеризуются формы оболочек (скорлуп), встречающихся в природе. Эти же качества характерны для строительных конструкций, называемых оболочками. Не случайно, что во всех странах инженеры, занявшиеся первыми этой проблемой, каждый на своем языке назвал эти конструкции скорлупами. Возможно, это свидетельствует о том, что в будущем формы зданий и сооружений все больше будут приближаться к формам природы, и благодаря этому в архитектуре появятся новые причудливые формы, до настоящего времени встречающиеся только в органическом мире. Но такого рода размышления легко порождают претензии, об удовлетворении которых пока не может быть и речи. Необходимо сначала решить ряд проблем. Если задаться целью строить сооружения из оболочек, то согласно условиям строительства помимо соблюдения выше указанных свойств «изогнутости» и «прочности» необходимо принять во внимание ряд ограничений, которые должны быть учтены в рассматриваемых конструкциях.

Техника строительства требует, чтобы форма оболочки была выполнима. Форма должна иметь вполне ясные геометрические очертания, чтобы ее без больших затруднений можно было изготовить в мастерских, на сборочном полигоне и строительной площадке.

С точки зрения статики выдвигается требование, чтобы нагрузка соответствовала несущей способности оболочек. Последние без применения особых устройств не подходят для восприятия сосредоточенной нагрузки. Неизбежное сосредоточение нагрузки в точках опоры требует придания оболочкам в этих местах спе-

циальной формы, чтобы можно было сосредоточенные усилия передать на опоры.

Инженер-конструктор, рассчитывающий оболочку, должен подбирать такие части конструкции, которые поддаются математическому анализу. Если в конструкции это не учтено, то требуемая затрата труда на расчеты не соответствует экономическому эффекту конструкции.

Кроме того, расчетчик требует, чтобы оболочка была в основном очень тонкой. Для создания теории расчета желательно исключить все силы, вызывающие явление изгиба в оболочках. Лучше всего исходить из состояния напряжения мембраны, когда предполагается, что на оболочку действуют усилия, направленные только по касательной к ее кривизне. Чтобы действующие усилия приблизились к тем, которые принимались в расчет при создании соответствующей теории, оболочка должна быть настолько тонкой, чтобы последняя не воспринимала никаких усилий, кроме тех, которые направлены по касательной к ее кривизне.

Утолщения оболочки, являющиеся подчас неизбежными из практических соображений, математиком в расчет не принимаются, так как они «нарушают» принципы распределения усилий. Для расчета он предпочитает иметь дело с идеальным случаем — неизменной по толщине оболочкой; любое нарушение этого постоянства представляет собой «помеху» для инженера.

Такого рода условия ограничивают выбор форм сооружений, строящихся в настоящее время из оболочек. Обусловлено ли это самой сутью конструкции или только ограниченными пока возможностями расчета оболочки — вопрос другой. Природа не знает этого лимитирующего условия. И если мы в данном случае интересуемся главным образом формой конструкции, которая зависит от естественной несущей способности, а последняя в свою очередь только от условий, определяемых законами природы, но не от ограниченных возможностей расчетов, то это дает нам право весьма критически оценивать все временные ограничения, затрудняющие пока развитие формы. Мы хотим, чтобы наше представление о тектонической форме оболочек не было бы ограничено какими-либо узами, ничего общего не имеющими с сутью рассматриваемого предмета. Обязательными являются только упомянутые выше основные требования (так как они соответствуют природе вещей), чтобы оболочка была по форме изогнутой и материал ее был прочным (т. е. устойчивым против действующих усилий сжатия, сдвига или растяжения).

Классификация материала в данной главе произведена на основе форм, обусловленных конструкцией. Нас в данном исследовании не интересует, относится ли та или иная группа форм оболочек к одной и той же группе с точки зрения математики. Для нас более важным является то, чтобы они были похожи по форме и работали одинаково с точки зрения статики. Изогнутый полуцилиндр и гиперболоид вращения могут быть настолько похожими друг на друга, что их можно спутать, но в математическом отношении они резко отличаются друг от друга. В данном случае нам не важно, следует ли рассматривать форму купола с точки зрения геометрии как часть шара или форму, образованную путем вращения кривой. Яйцо, как форма, остается яйцом, хотя ни одно яйцо в точности не повторяет другое. Две оболочки также могут иметь одну и ту же конструктивную форму, хотя их математическое построение не одинаково. То, что мы называем конструктивной формой, имеет более широкий смысл, а именно: единство функций, материала и законов статики. Из этого единства возникает искомая форма, а использование для ее построения математики является лишь подсобным процессом.

Согласно закономерности образования тектонической формы сооружения можно наметить ряд схожих по внешнему облику групп. Последние создаются без строгой классификации. Наглядность и интуиция в данном случае играют решающую роль. Различают следующие пять основных групп оболочек.

1. Цилиндрические оболочки.
2. Оболочки, как тела вращения.
3. Коноиды.
4. Гиперболические параболоиды.
5. Произвольные формы.

Цилиндрические оболочки

Для цилиндрической оболочки так же, как и для складчатой конструкции, трудно найти аналогичные формы в природе. Форма замкнутой трубы встречается в растительном мире в виде тростника и различных видов бамбука. В технике мы встречаем эти формы в конструкции лесов и транспортных средств. Но трубчатый или цилиндрический сегмент появился только несколько десятилетий назад в современной архитектуре в качестве новой формы конструкции. Сегмент цилиндра является типичной формой, рассматриваемой нами в данной главе. Ниже, для краткости, речь будет идти о «сегментных оболочках», под которыми следует всегда понимать цилиндрические сег-

менты, а не как обычно — сегменты шара или круга. В группу цилиндрических сегментов мы также включим и такие формы оболочек, которые сюда, строго говоря, не относятся, но которые вследствие родства их форм с формами цилиндрических сегментов нельзя отнести ни к какой из других групп. Мы рассмотрим также конусообразные сегменты, изогнутые по продольной оси цилиндрические сегменты и, наконец, оболочки совсем другого характера, например известные гиперболоиды вращения. Нас, в первую очередь, интересует, имеется ли взаимосвязь между выразительностью оболочек и их несущей способностью.

Несмотря на кривизну сегментные оболочки не имеют ничего общего с известными формами сводов и их работой; они представляют собой нечто совсем новое. Чтобы сделать понятной их работу, не прибегая к математике, мы снова воспользуемся моделью (рис. 143). Кусок бумаги, вначале не обладающий никаким сопротивлением, приобретает жесткость после свертывания его в трубку. Если на свернутом листе бумаги через равные расстояния сделать складки, то получается многоволновая цилиндрическая оболочка, обладающая сравнительно большой несущей способностью. При перегрузке волны выпрямляются в поперечном направлении и в результате этого теряют свою несущую способность. Если к торцам волн приклеить плитки и установить их на опорах, то форма волн сохранится и несущая способность их повысится. Если мы попытаемся разложить цилиндрическую оболочку на составные элементы аналогично тому, как мы это сделали по отношению к складчатой конструкции, то можно снова различить три отдельные функции.

1. Работа криволинейных поверхностей в поперечном направлении. Представим себе криволинейную поверхность прежде всего в виде ряда параллельных плоскостей, т. е. оболочку в виде многогранного цилиндра. Представим себе далее, что узкие полосы между гранями обладают достаточной поперечной жесткостью на изгиб; по аналогии со складчатой конструкцией (см. рис. 129) ясно, что приложенная к граням нагрузка раскладывается по плоскостям полос. Грани работают, как опоры (рис. 144.1), в которых сосредоточивается нагрузка.

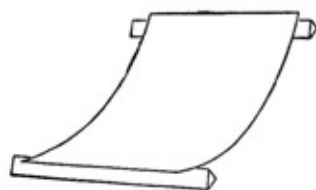
2. Работа криволинейных поверхностей в продольном направлении. Сосредоточенную в складках нагрузку можно разложить на составляющие в направлении смежных частей поверхности. Эти составляющие представляют нагрузку отдельных частей поверхности, которые, в свою очередь, в продольном направлении действуют как несущие полосы (рис. 144.2). Исходя из асимметричности устройства, напри-

мер по отношению к ребру AB , легко установить, что вызванная составляющими нагрузка обеих несущих полос по обеим сторонам ребра AB неодинаковой величины. Деформации у обеих смежных несущих полос у ребра AB в силу неравенства нагрузки будут, таким образом, также неодинаковы. Но ввиду того что обе несущие полосы соприкасаются по линии AB , они должны взаимно противодействовать друг другу, выравнивая разность деформаций, в силу чего вдоль линии AB наблюдается явление общей и одинаковой деформации. Тем самым в ребре AB возникают главным образом напряжения сдвига, которые могут быть хорошо восприняты и тонкой оболочкой.

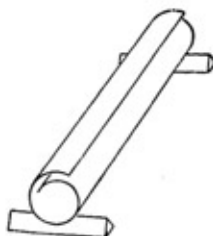
Представим себе теперь, что полосы становятся все уже, образуя плавную кривизну оболочки, и сразу становится понятным, что между описанной складчатой конструкцией и оболочкой непрерывной кривизны в характере несущей конструктивной схемы нет принципиального различия. Общим для обеих является то, что сопротивление напряжению сдвига обеспечивает высокую несущую способность конструкции.

3. Работа торцовых стенок. Для обеспечения несущей способности конструкции форма оболочки должна оставаться неизменной. Поэтому следует принять меры против распрямления ее в поперечном направлении. Кроме того, необходимо устойчивое против сдвига соединение оболочки и торцовых стенок. Оно имеет решающее значение. На рис. 144.3 это соединение изображено в виде решетчатого крепления обоих элементов. Очевидно, несущая способность оболочки зависит от эффективности соединения с торцевой стенкой.

Таким образом, цилиндрическая оболочка работает аналогично граненой конструкции, которая состоит из большого числа узких пластинок. Нагрузка передается прежде всего на ребра и там разлагается на составляющие, направленные по касательной к смежным пластинкам. Последние работают в продольном направлении как несущие полосы; соединение их со смежными пластинками, не допускающее сдвига, затрудняет свободную деформацию пластинок. Предпосылкой работы всей конструкции является сохранение формы при помощи торцовых стенок и прочного в отношении сдвига присоединения к ним пластинок. Если рассматривать цилиндрическую оболочку как замкнутую несущую конструкцию, то она работает аналогично балке (рис. 144.4). Соответствие армирования цилиндрической оболочки и балки, рассчитанной на изгиб, является очевидным. Оболочку в форме полуцилиндра можно рас-



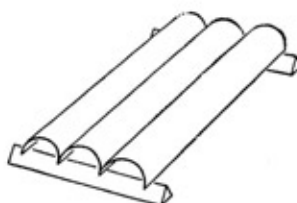
1



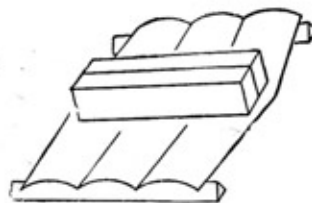
2



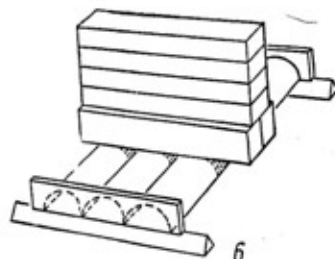
3



4



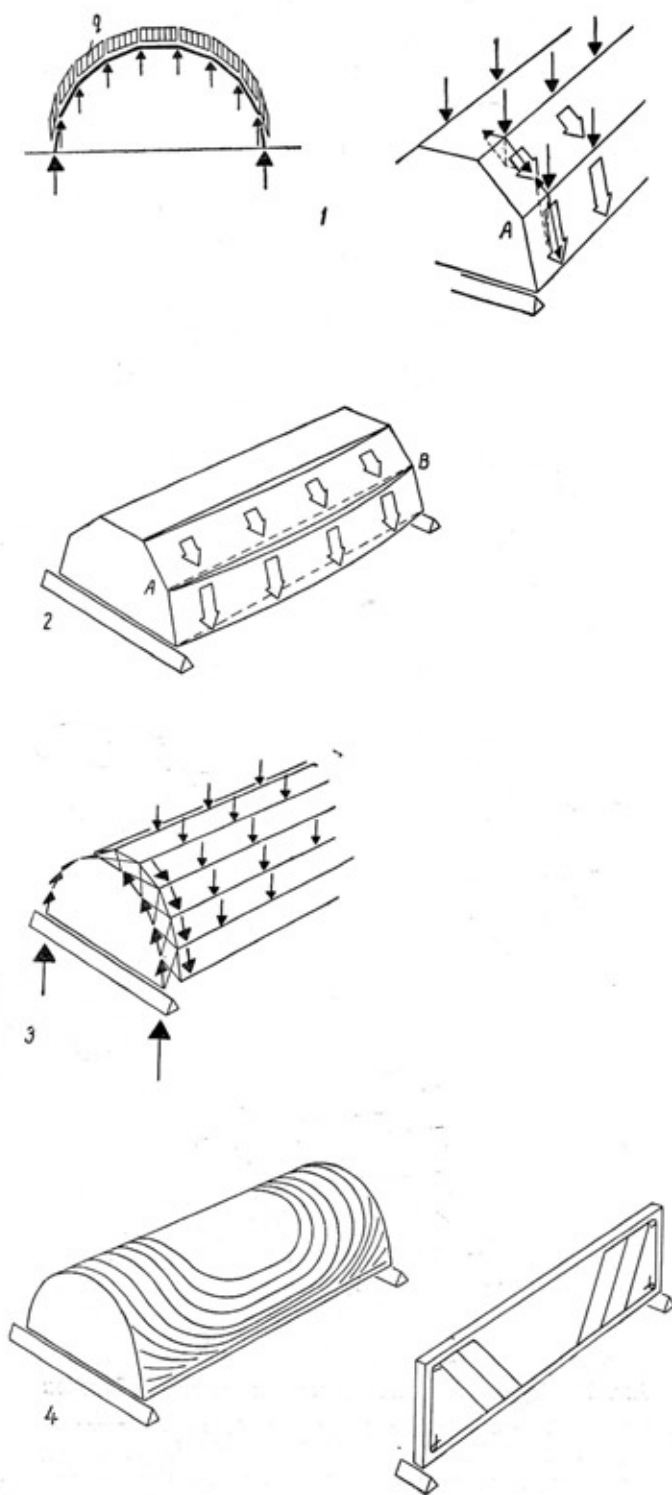
5



6

Рис. 143. Бумажные цилиндрические модели оболочек

1. Ровный лист бумаги прогибается почти без сопротивления
2. Свернутый в трубку, он становится жестким
- 3 и 4. Цилиндрические складки в направлении, противоположном изгибу, придают конструкции большую несущую способность
5. При перегрузке модели кривизна нарушается, цилиндрические складки сплющиваются
6. Наклеенные на торцы диафрагмы сохраняют форму цилиндров и повышают их несущую способность



смаатривать как балку с изогнутой узкой стенкой.

К сказанному выше необходимо добавить еще следующее. Для очертания цилиндрической оболочки не типична кривая давления, сходная с параболой, которая имеет определяющее значение для формы свода (рис. 145). Более того, такое сходство оказывало бы отрицательное влияние на несущую способность оболочки. Если бы цилиндрическая оболочка имела очертание кривой давления, то нагрузки передавались бы вдоль кривой давления к нижней грани оболочки без появления в местах поворота усилия сдвига. Под местами поворота условно следует понимать складки складчатой конструкции или кривизну оболочки, причем кривизна оболочки тем интенсивнее будет способствовать повороту усилий, чем менее форма оболочки похожа на кривую давления.

При сечениях, имеющих очертание кривой давления, нижняя грань оболочки начинает работать как несущая балка, что не соответствует природе работы оболочки, рассчитанной на напряжения сдвига. Если до настоящего времени у выполненных цилиндрических оболочек преобладает сечение в виде части окружности, то причину этого следует искать в геометрической простоте, легкости изготовления и возможности математически определить очертание круга, а не в самой сущности работы оболочек.

Строительство цилиндрических оболочек началось в 20-х годах в Германии по известному методу «Цейсс Дивидаг». Большие крытые рынки в Франкфурте и Будапеште были построены с применением цилиндрических сегментов. По краю каждого сегмента в направлении пролета предусмотрены связующие краевые (бортовые) элементы наподобие балок (рис. 146). Вначале считали, что без этих элементов обойтись будет невозможно. Наклонно установленные сегменты, чередующиеся со стеклянными плоскостями, образовали шедовые оболочки, которые стали одной из наиболее типичных форм промышленного строительства. Ранние архитектурные реше-

Рис. 144. Работу цилиндрической оболочки можно объяснить, если представить последнюю в виде многогранного цилиндра из отдельных полос

1. Нагрузка сосредоточена на жестких ребрах
2. В направлении пролета каждая грань работает как маленькая балка, передающая нагрузку точкам А и В. Вдоль ребер грани (полосы) связаны между собой, что предохраняет их от взаимного смещения. Их взаимодействие исключает возможность деформаций и повышает несущую способность всей конструкции в целом
3. Форма несущей конструкции сохраняется благодаря торцовым диафрагмам, к которым жестко прикреплены оболочки
4. Армирование оболочки в основном аналогично армированию балки

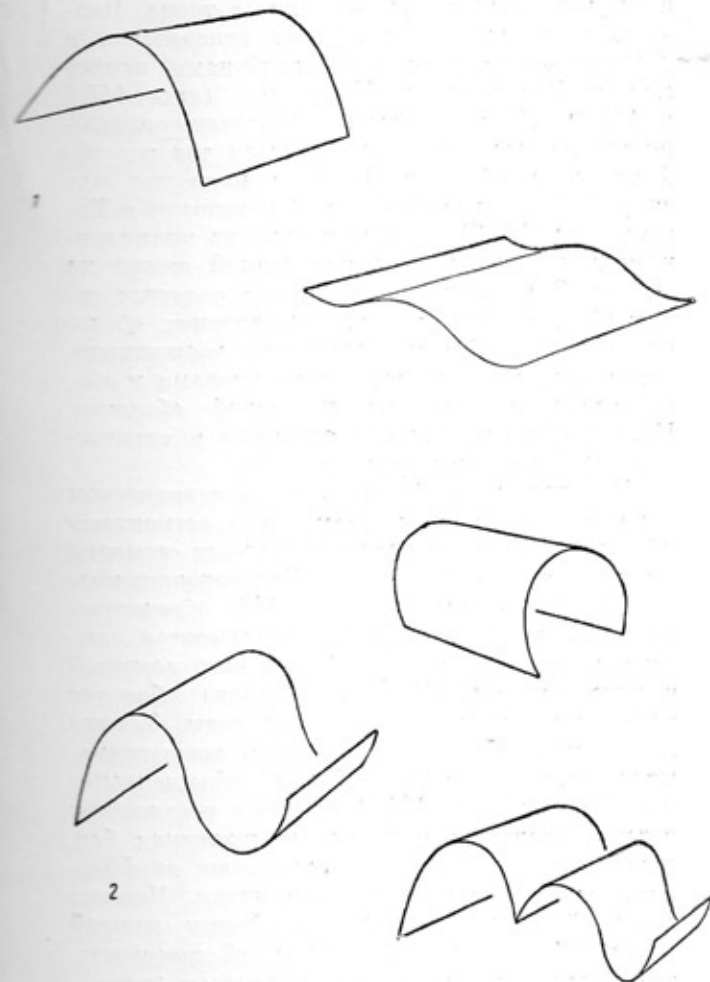


Рис. 145. Разновидности форм сечений цилиндрических оболочек

1. Форма, соответствующая кривой давления, не является типичной, малая кривизна для конструкции, работающей как оболочка, невыразительна и непригодна
2. Любая форма поперечного сечения применима, если кривизна достаточно сильно выражена

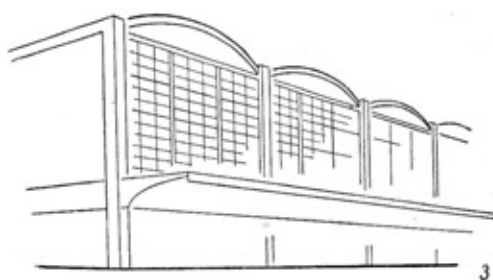
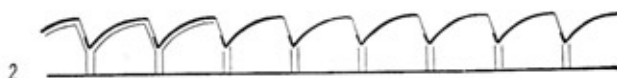
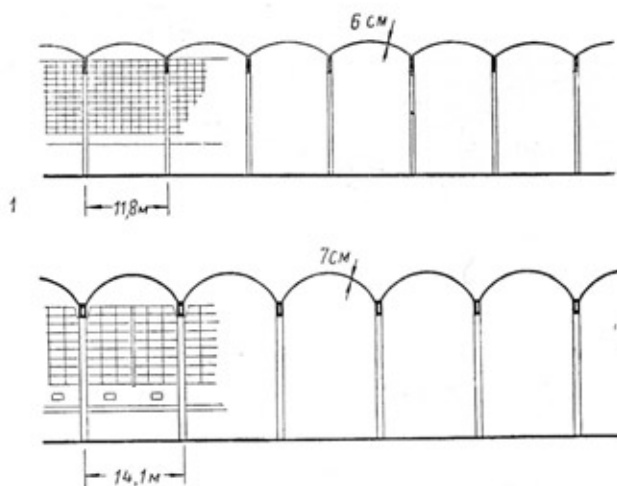
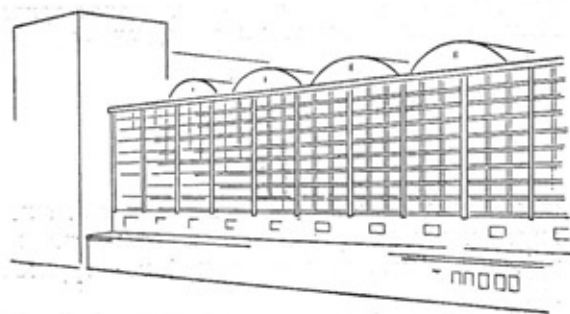
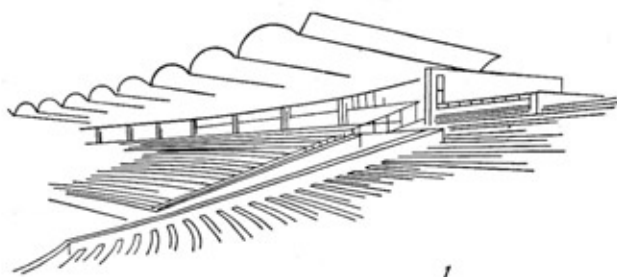


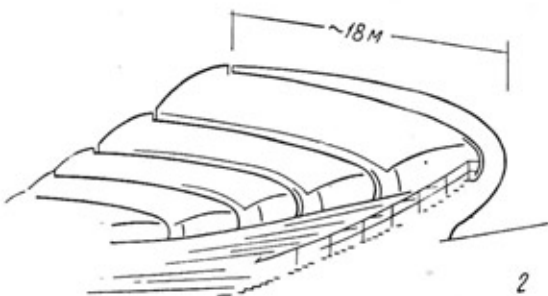
Рис. 146. В первых проектах цилиндрические оболочки опирались как балки на две опоры

1. Расположенные в ряд цилиндрические своды с большими ранд-балками (бортовыми элементами) (разрез здания - ж рис. 146.3)
2. Наклонные цилиндрические своды, образующие шедовое покрытие
3. Большой крытый рынок в Будапеште, Венгрия, (вверху) и во Франкфурте-на-Майне, ФРГ (внизу)

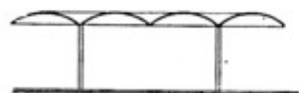




1



2



3

Рис. 147. Современное применение цилиндрических оболочек в виде консольных конструкций

1. Стадион в Ганновере
2. Стадион в Карфагене, штат Колумбия
3. Автобусная станция в Боготе, Колумбия

ния такого рода оболочек не обладали еще тем внутренним напряжением и изяществом, которые характерны для данной конструктивной системы.

Только в более поздних формах конструкции оболочек удалось отразить их тектонику.

Легкость и изящество оболочек лучше всего могут быть восприняты, когда их кривизна

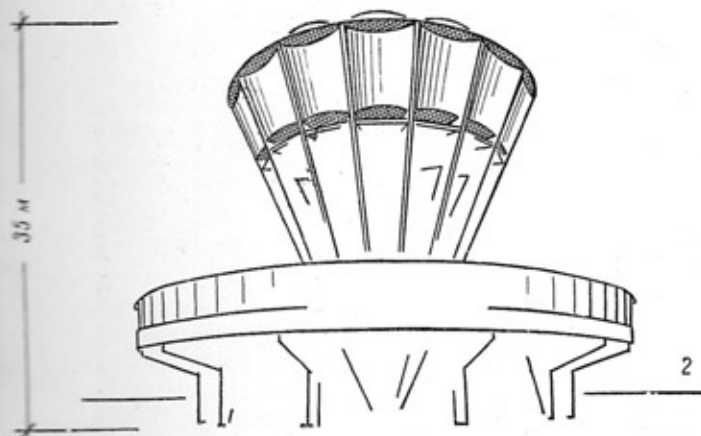
и удивительная тонкость видны с торца. Наилучшим образом этот эффект использован в консольных козырьках над трибунами, например в Ганновере и Карфагене (рис. 147.1 и 147.2). Но и у простых оболочек, опирающихся на две опоры, достигается тот же эффект, если оболочки немного нависают над опорой. Покрытие автобусной остановки в Боготе (рис. 147.3) состоит только из цилиндрических сегментов и из поперечной стенки на опорах. Эта стенка одновременно является системой диафрагм для цилиндрических оболочек. Таким образом, создается возможность вдвое увеличить пролет между опорами и сбояку свободно подвесить по одной оболочке. Чистая конструкция превращается в архитектурную форму сооружения.

Интересным в формальном и техническом отношении является применение сегментных оболочек для резервуаров, у которых сегменты видны с вогнутой стороны. Две водонапорные башни, показанные на рис. 148, образованы кольцеобразным соединением сегментов, высоко установленных и обращенных вогнутой частью наружу. Выпуклая сторона оболочек воспринимает усилия давления воды. Усилия растяжения оболочки в основном воспринимаются вертикальными ребрами, обращенными наружу (см. рис. 144.4), а силы растяжения в горизонтальных кольцах, стягивающих бак, сосредоточиваются в горизонтальных диафрагмах, расположенных по периметру. Помимо основной задачи — сохранить форму каждой отдельной оболочки и придать ей жесткость, диафрагмы также служат кольцевым креплением аналогично железным обручам на бочке. Эти примеры позаимствованы из области инженерных сооружений. Они показывают, что простые сегментные оболочки могут быть расположены не только рядом друг с другом. При небольшом изменении их основной формы, например, если придать им чуть коническую форму, как у водонапорной башни в Каннах, можно получить самые разнообразные комбинации и интересные решения с архитектурной точки зрения.

На конкурсе проектов по созданию административного здания городского и государственного центра в Торонто (фото 25) был премирован своеобразный проект, который еще не осуществлен. Здесь финский архитектор Вильо Ревелл впервые выдвинул идею использования вогнутой формы цилиндрического сегмента, как основного вертикального остова высотного дома. Инженеры подтверждают, что эту конструкцию можно решить в виде оболочки. Запроектированная как оболочка двойная стенка очевидно, может быть заменена одинарной, способной вы-



1



2

Рис. 148. Применение сегментов цилиндрических оболочек в конструкциях водонапорных башен

1. Водонапорная башня в Египте
2. Новая водопроводная башня в центре города Канн, Франция

держат нагрузку 36 консольно выступающих этажей. Благодаря изогнутости в плане это сооружение обладает требуемой поперечной жесткостью против ветра. Плоские перекрытия этажей выполняют функцию диафрагм, также придающих жесткость конструкции. Многократные критические нападки на этот проект свидетельствуют о том, что еще нет условий для того, чтобы эта конструктивная идея могла получить признание. Большинство критиков не представляло себе истинного смысла этого предложения.

Американская цементная компания «Юниверсал — Атлас» предложила выдающимся архитекторам и инженерам разработать в качестве чисто теоретических исследований принципиально новые проекты зданий, не ограниченных определенным целевым назначением. Благодаря печати наиболее интересные проекты конкурса стали отчасти достоянием публики.

К числу упомянутых проектов относится проект «Аудитория будущего», работа коллектива архитекторов Кэмбриджа под руководством Вальтера Гропиуса совместно с инженерами Вейдлингером и Сальвадори (рис. 149). Два веерообразных покрытия, составленные из оболочек, перекрывают здание, план которого продиктован его функциональным назначением. Веерообразность конструкций из оболочек создается за счет конического сужения отдельных оболочек, от которого их несущая способность не меняется.

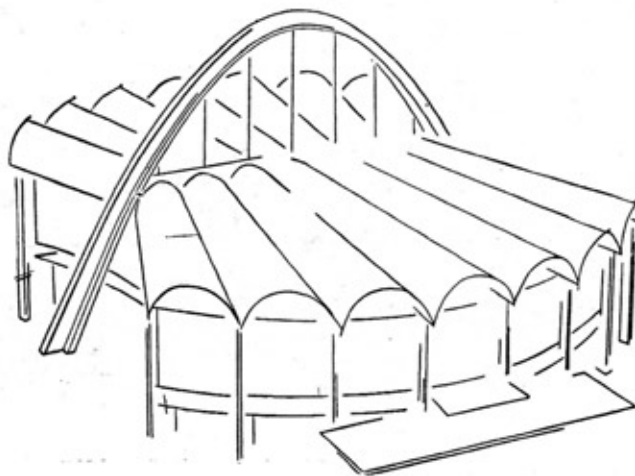
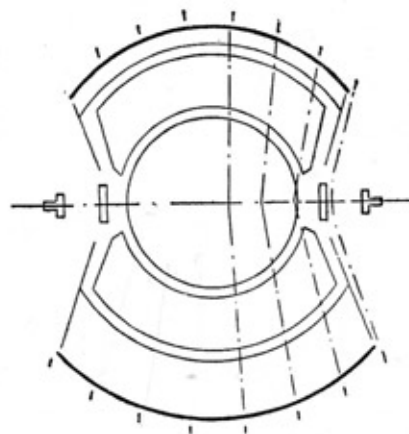


Рис. 149. Покрытие зрительного зала из сегментных оболочек. Арх. Вальтер Гропиус, инженеры Вейдлингер и Сальвадори

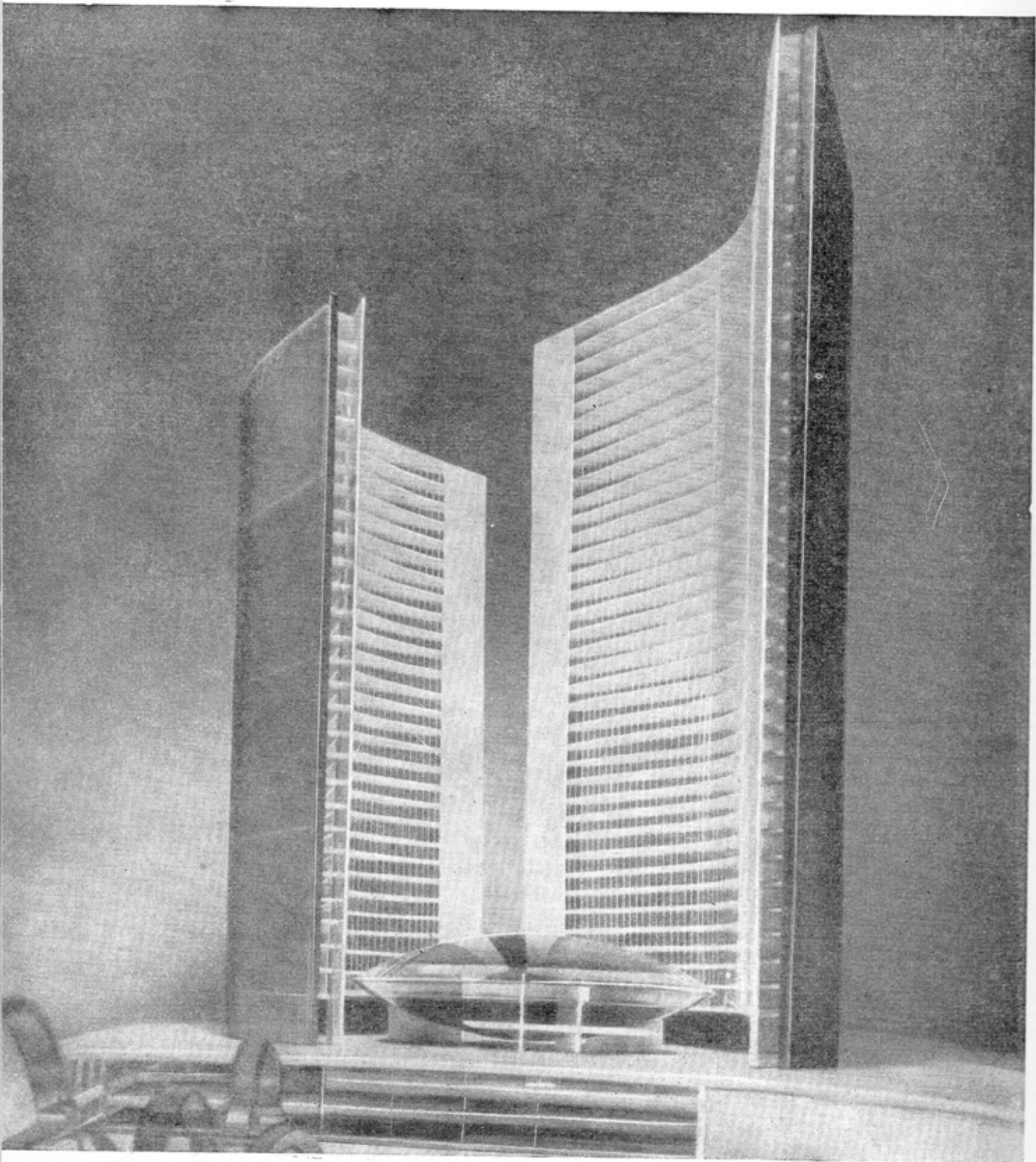


Фото 25. Проект высотного дома для административного центра в Торонто.
Арх. Вильо Ревелл

Архитекторы Хельмут, Обата и Кассабаум совместно с Нерви создали проект центрального зала для Аббатства в Сент-Луисе, США (рис. 150). Помещение состоит из двух концентрически расположенных друг над другом рядов конически сужающихся оболочек. В данном проекте больше, чем в проекте, показанном на рис. 149, наблюдаются отклонения от формы обычного цилиндрического сегмента. Оболочки изогнуты вдоль их продольной оси. Этот проект показывает, как шаг за шагом одна форма вырастает из другой и как выразительность конструкции из оболочек все больше определяется формой ее торцовых краев. Хотя торцы оболочек в этом здании еще напоминают ранее рассмотренные формы, но в самой форме круглого зала и в двойкой кривизне отдельных элементов уже намечается развитие таких форм, которые позднее можно будет увидеть в различных вариантах оболочек, имеющих форму тел вращения, гиперболических параболоидов и так называемых произвольных форм.

Сужающиеся в плане и вертикальной проекции оболочки образуют своего рода купол. Частично сохраняя свойства цилиндрических оболочек, они в данном сооружении представляют собой более сложную конструктивную схему. Жесткие краевые элементы, образующиеся на стыке и в местах пересечений оболочек, о которых речь будет идти ниже в связи с описанием взаимно пересекающихся оболочек, приобретают значение складок, сообщающих жесткость всей конструкции.

Как мы уже видели, форма цилиндрических сегментов оболочки сохраняется благодаря опиранию их на диафрагмы. В данном случае мы впервые встречаем открытые торцы оболочек без всяких торцовых заполнений и усилений. Это возможно только благодаря тому, что оболочки представляют собой поверхности не одинарной, а двойкой кривизны. Двойкая кривизна сегментов ясно заметна на эскизе. Благодаря этой двойкой кривизне оболочка становится настолько жесткой, что сохраняет свою форму без помощи диафрагм, так как усилия нагрузки передаются главным образом через жесткие разжелобки в местах пересечения, в результате чего разгружается торец оболочки. По-видимому, этому содействует также параболическая форма торца. В торце усилия, вызываемые нагрузкой, могут передаваться непосредственно на опоры так же, как в своде без участия работы оболочки. Параболическая форма сечения, которую мы охарактеризовали как не типичную для цилиндрических оболочек, в данном случае вновь приобретает значение. О целесообразности или нецелесо-

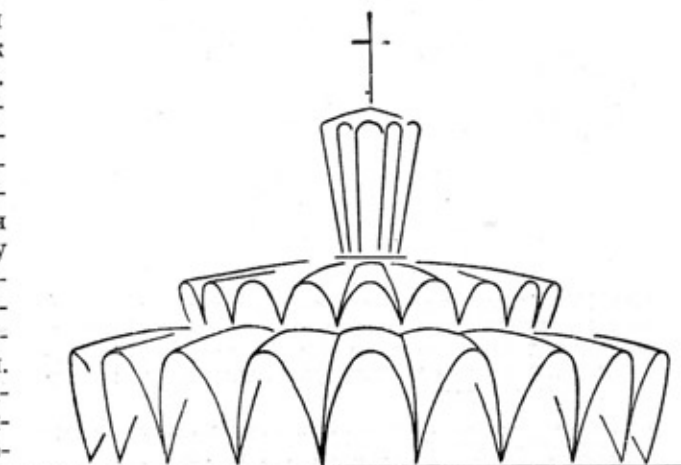
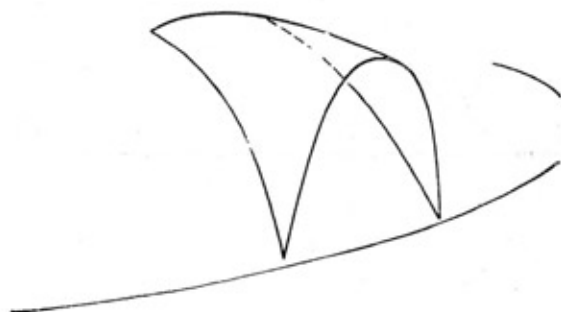
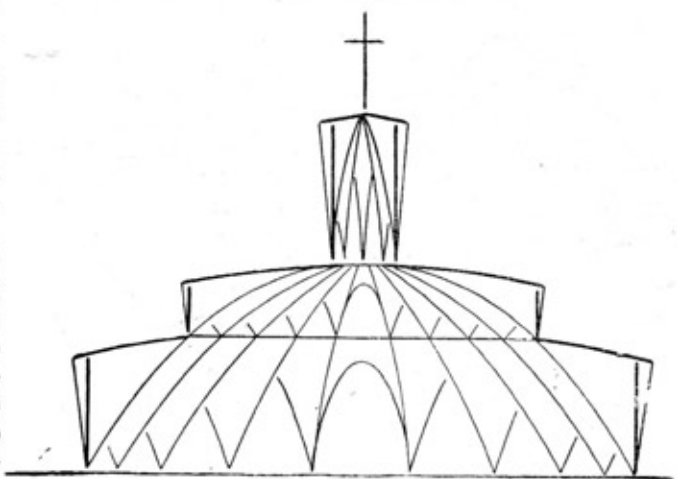


Рис. 150. Применение элементов оболочек для композиции круглого здания. Отказ от цилиндрической формы оболочки. Появление оболочек двойкой кривизны представляет собой следующий этап развития. Арх. Хельмут, Обата и Кассабаум

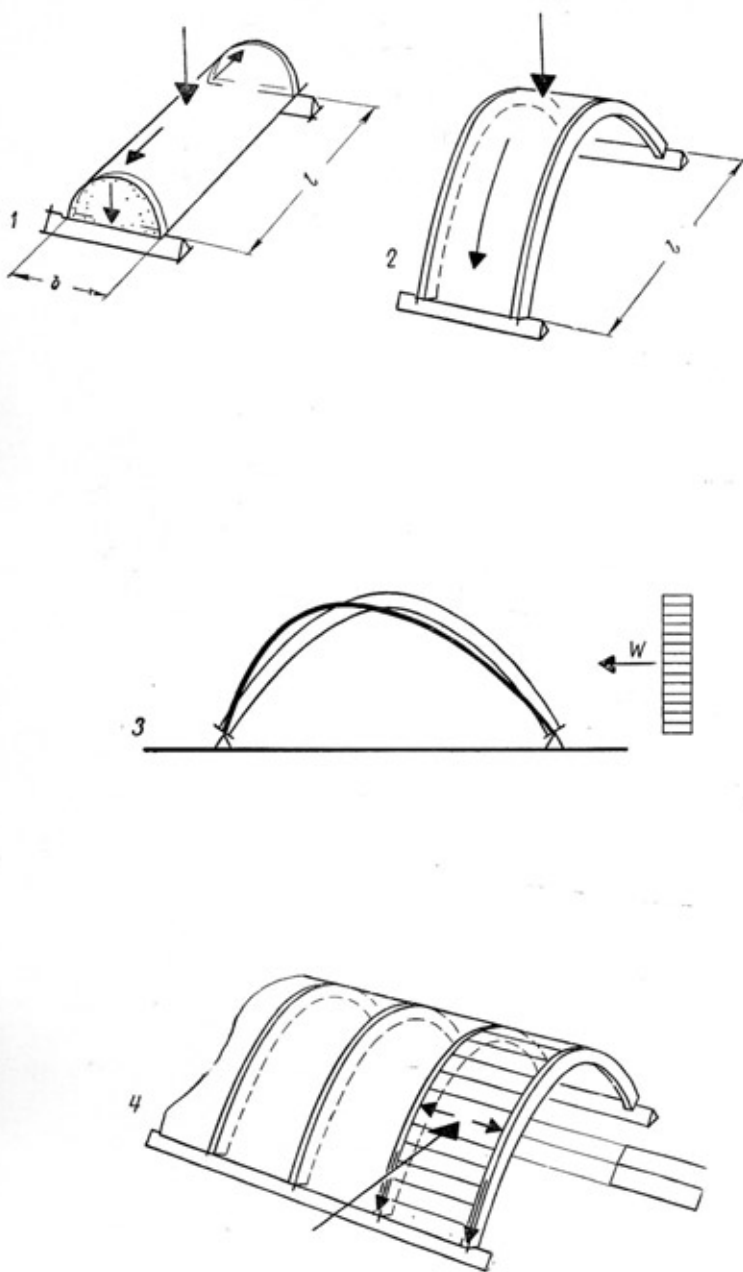


Рис. 151. Короткая оболочка также относится к группе цилиндрических оболочек, однако по своей системе восприятия и передачи усилий она коренным образом отличается от цилиндрических оболочек средней и большой длины

1. Кривизна обычной цилиндрической (длинной) оболочки перпендикулярна пролету
2. Кривизна коротких оболочек имеет с пролетом одинаковое направление и в основном совпадает с кривой давления. Вертикальные нагрузки передаются так же, как в своде
3. При изменении кривой давления в результате приложения несимметричных нагрузок сохранение формы оболочки и ее устойчивости обеспечиваются боковыми ребрами (арками) жесткости
4. Несимметричные нагрузки передаются по кривой аркам жесткости (можно кривую поверхность рассматривать как ряд узких пластин)

образности ее применения в связи с той или иной формой оболочек речь будет идти в следующих разделах.

Когда цилиндрическая оболочка изогнута в направлении, поперечном к ее свободному пролету, она не работает как свод и форма оболочки не зависит от кривой давления (рис. 151.1). Но имеются оболочки, которые изогнуты в направлении свободного пролета. Через небольшие промежутки они усиливаются ребрами. Такие оболочки называются «короткими оболочками». На форму их опять-таки оказывает влияние кривая давления. Короткие оболочки имеют большую высоту; их целесообразно применять только там, где необходимы высокие помещения, например в крытых рынках, спортивных аренах, ангарах и т.п. Если короткая оболочка опирается на фундамент двумя сторонами, то действующие усилия передаются непосредственно на опоры. Если кривизна короткой оболочки соответствует кривой давления, то при нагрузке, равной только собственному весу конструкции, действующие усилия будут передаваться через оболочку, минуя ребра жесткости. Но всякое отклонение от кривой давления (например, при ветровой нагрузке) нарушает равновесие и влечет за собой обрушение тонкой изогнутой относительно одной оси оболочки, если не сработают ребра жесткости. Во всех случаях, когда форма оболочки отклоняется от кривой давления, оболочка должна передавать несимметричные нагрузки на ребра жесткости, которые придают оболочкам жесткость и сохраняют их форму. Но ввиду того что ребра в противоположность диафрагмам не замыкают торцовую часть оболочки в виде сплошной стенки, они должны обладать достаточной жесткостью на изгиб при всех нагрузках. Минимум работы приходится на ребра в том случае, когда нагрузка от собственного веса погашается самой оболочкой и ребра воспринимают только временную нагрузку от снега и ветра. Это происходит тогда, когда оболочка имеет очертание, соответствующее кривой давления. Таким образом, у короткой оболочки кривая давления вновь становится фактором, определяющим форму оболочки.

Работа оболочки при несимметричной нагрузке и небольшом расстоянии между ребрами тектонически не выражена. Гораздо большее значение для формообразования короткой оболочки имеет соответствие ее формы кривой давления. В короткой оболочке передача нагрузки происходит как и в своде.

Для перекрытия широких одноэтажных помещений таких, как, например, крытый рынок в Кельне (рис. 152.1), короткая оболочка впол-

не соответствует своему назначению. Но эта форма оболочки не принадлежит к типичным. Отклонение формы короткой оболочки (круглая форма) от параболической кривой давления встречается в покрытии промышленного здания в Госсаяу (рис. 152.2) в Швейцарии. Это отклонение возможно только благодаря тому, что в данном случае в качестве ребер жесткости применена арочная решетчатая ферма, воспринимающая изгибающие моменты, неизбежно возникающие в оболочках цилиндрической формы, отличной от очертания кривой давления.

В павильоне, построенном по проекту Майара на выставке 1939 г. в Цюрихе (рис. 152.3), торцы оболочки выступают далеко вперед по обеим сторонам ребер жесткости. Поэтому тонкий край оболочки хорошо виден. Типичные для короткой оболочки сильно выступающие ребра жесткости параболического очертания легко читаются.

Покрытие цветочного рынка в Песчия является чем-то средним между оболочкой и сводом. Оно состоит из полых сборных элементов толщиной приблизительно 25 см; следовательно, покрытие намного толще, чем бетонная оболочка (рис. 153.1). Поэтому там отсутствуют видимые ребра жесткости. В тех местах, где они необходимы, у короткой оболочки предусмотрены незаметные бетонные ребра жесткости, скрытые в полости сборных элементов. Ребра придают своду жесткость при несимметричной нагрузке. Наклонно уложенная в теле свода арка заменяет собой открытые ребра жесткости, которые обычно устраивают у коротких оболочек. Благодаря этому конструктивная форма становится легче. Внутреннее пространство лучше проветривается и освещается, а тектоника сооружения выявляется ясней.

Очень важно не смешивать цилиндрические оболочки средней и большой длины с короткими оболочками.

Это нарушает ясность тектоники конструкции. Например, на рис. 153.2 показано большое помещение, перекрытое несколькими оболочками различных размеров. Две крайние оболочки опираются на землю. Это свидетельствует о том, что они работают как короткие оболочки в направлении кривизны. Кроме того, их

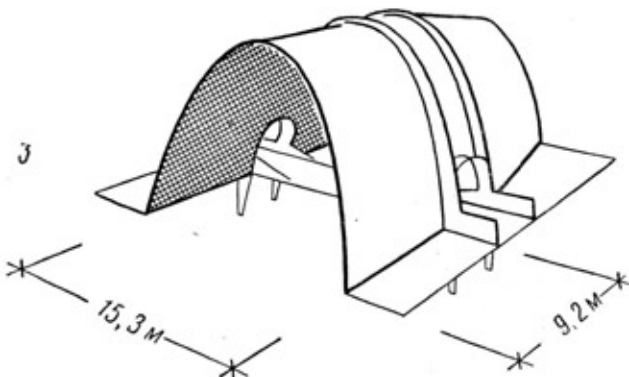
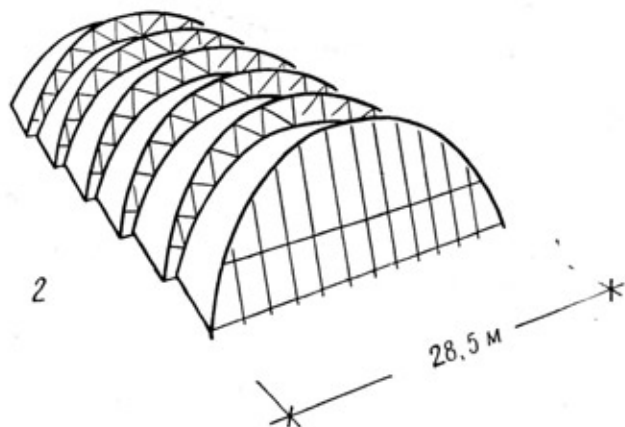
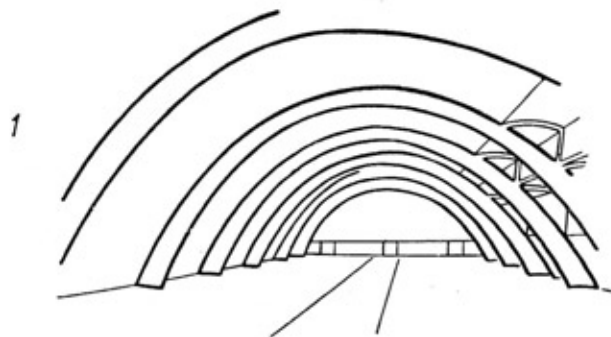
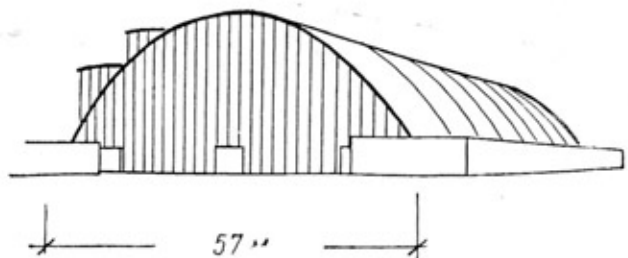
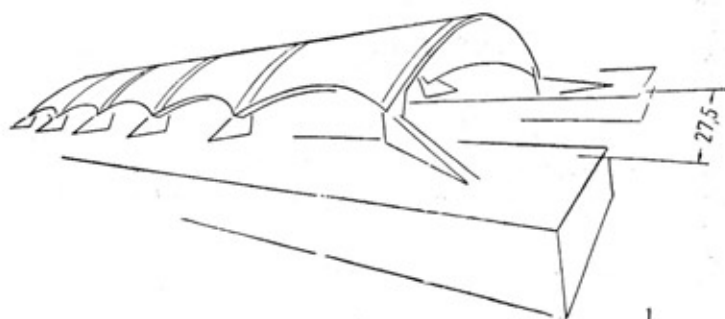


Рис. 152. Сооружения, построенные по принципу коротких оболочек

1. Большой крытый рынок в Кёльне
2. Промышленное здание в Госсаяу, Швейцария
3. Выставочный павильон в Цюрихе, 1939 г. Инж. Майар

Рис. 153. Варианты короткой оболочки



1. Цветочный базар в Песчия (Италия) представляет собой свод из пустотных элементов, который работает так же, как короткая оболочка. Вертикальная нагрузка распределяется по своду и передается на фундаменты через опорные арки, которыми оканчивается каждый «отсек» покрытия. Несимметричная нагрузка воспринимается ребрами жесткости, которые также находятся в теле свода
2. В тех случаях, когда функции короткой оболочки и обычной цилиндрической оболочки нечетко выявлены, решения получаются весьма не ясными. В данном примере не ясны кривизна оболочек, направление пролета, толщина сводов, наличие или отсутствие диафрагм или ребер жесткости и общее распределение усилий

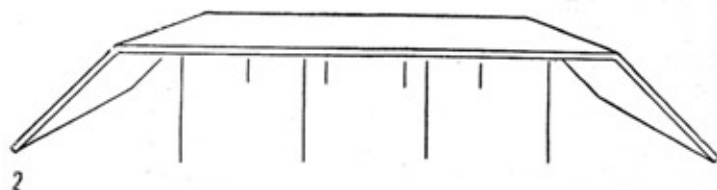
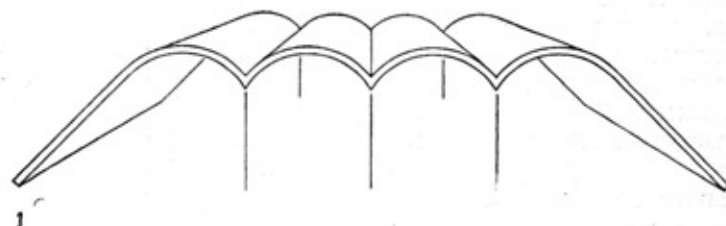
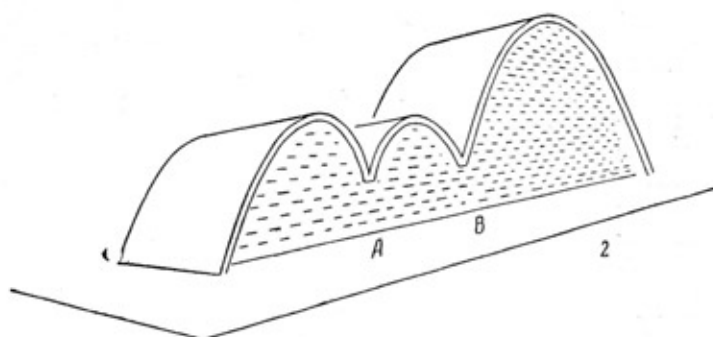
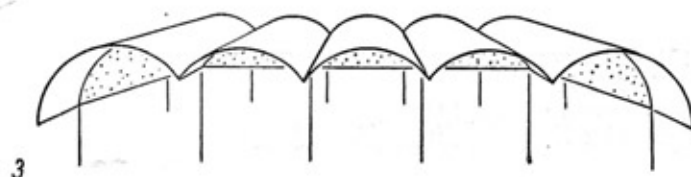


Рис. 154. Неправильное применение оболочек

1. Большая толщина конструкции, отсутствие торцовых диафрагм, а также наличие плоских краевых элементов характерны для жесткой конструкции плиты
2. Более логичным в данном случае было бы применение плоской формы вместо имитации оболочек
3. Вариант данного решения из настоящих оболочек с тонкими краями, торцовыми диафрагмами на опорах и криволинейными краевыми элементами является более правильным



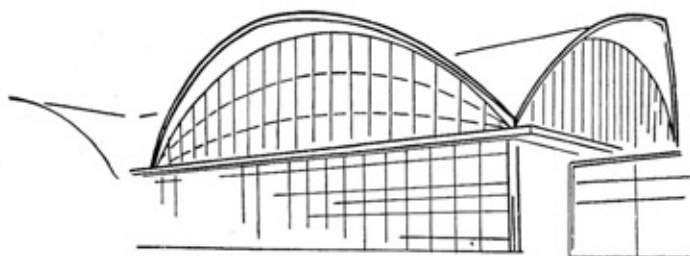
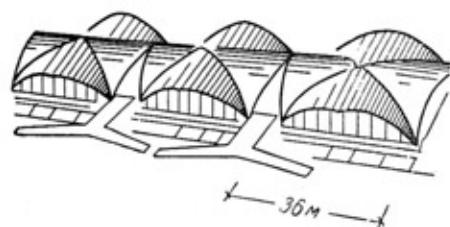
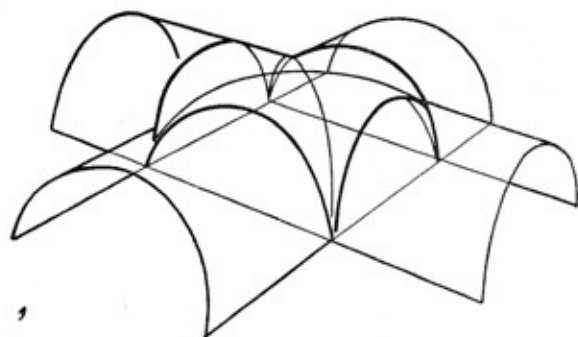
форма приближается к форме параболы. Сечение средней оболочки имеет очертание полуокружности, как обычная сегментная оболочка. Отношение длины к ширине у средней оболочки свидетельствует о наличии свободного пролета, параллельного ее оси. По-видимому, здесь имеет место совмещение в одном здании сегментной оболочки с короткими оболочками.

Кроме того, не ясно, придает ли торцовая стена жесткость конструкции или нет. Для средней сегментной оболочки она могла бы служить диафрагмой, а для боковых коротких оболочек — ребрами жесткости. Но прозрачная фактура ее не говорит ни о том, ни о другом. Если заполнение торца не образует сплошной стены, то оно не обеспечивает жесткости конструкции, и в таком случае необходимо предусмотреть не менее двух опор в точках *A* и *B* и диафрагму для длинной оболочки. К тому же недостает ребер жесткости у крайних коротких оболочек. Толщина торцов всех оболочек одинакова. Для длинной цилиндрической оболочки, обладающей несущей способностью в направлении ее оси, торцы слишком толсты, а в качестве ребер жесткости коротких оболочек они слишком тонки.

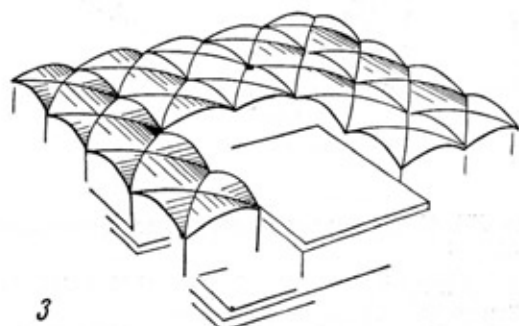
Анализ конструктивной формы этого здания показал неясность ее конструкции.

То же можно сказать о конструкции покрытия, показанного на рис. 154.1, несмотря на то, что форма этого сооружения значительно более ясна. Опоры в торцах крайних элементов средних оболочек свидетельствуют о том, что несущая конструкция работает в направлении продольной оси оболочки, хотя диафрагмы отсутствуют. Удлиненные до уровня земли крылья крайних оболочек указывают на то, что это короткие оболочки, без ребер жесткости. Плоские крылья крайних оболочек не могут работать ни как свод, ни как оболочки, а только как жесткие плиты. Одинаковая толщина торцов оболочек является опять-таки слишком большой для длинной цилиндрической оболочки и слишком малой для ребер жесткости.

Поэтому данная конструкция, которая на первый взгляд производит хорошее впечатление, при более близком рассмотрении оказывается нелогичной. Устойчивость ее обеспечивается исключительно прочностью на изгиб изогнутой плиты, не являющейся ни оболочкой, ни сводчатой конструкцией. Покрытие могло бы



2



3

Рис. 155. Пересечение двух цилиндрических оболочек под прямым углом

1. Пересечение двух оболочек может дать форму, похожую на форму крестового свода
2. Ангар для самолетов в Сент-Луисе, США
3. Здание универсама в Парке Менло, США

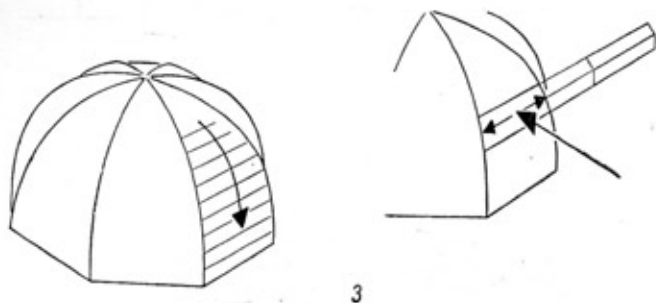
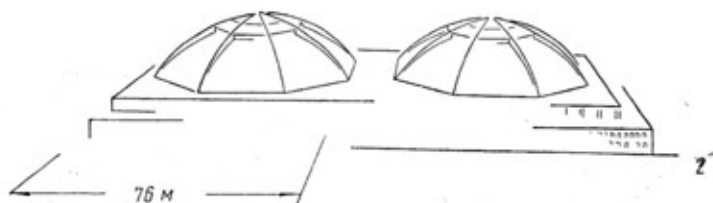
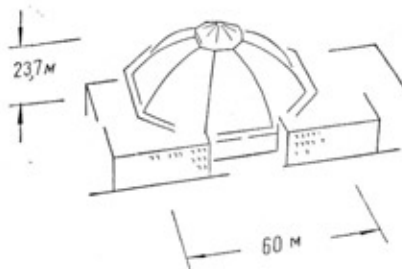
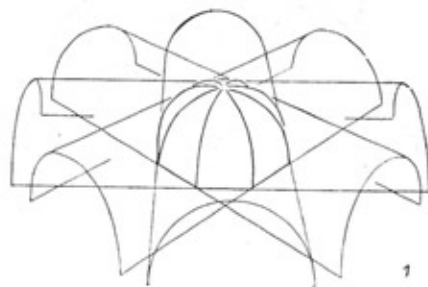


Рис. 156. Многократное пересечение цилиндрических оболочек

1. В результате многократного пересечения цилиндрических оболочек может получиться купол
2. Крытые рынки в Базеле и Лейпциге
3. Несущими элементами системы являются изогнутые поверхности, которые можно представить себе как ряд узких пластинок и ребра жесткости, которые в данном случае заменяются ребром двух смежных граней

быть сконструировано гораздо лучше без всякой кривизны (рис. 154.2). Другой вариант этого покрытия, показанный на рис. 154.3, выглядит еще более легким и выразительным и является более экономичным.

В этом варианте кривизна и толщина оболочек, форма и расположение диафрагм и конструкция в целом решены в виде чистых длинных цилиндрических многоволновых оболочек.

Существует слишком много конструктивных схем оболочек, чтобы их можно было ограничить двумя типами, рассмотренными выше. В будущем путем взаимного пересечения оболочек, комбинации оболочек различных систем, очевидно, будет создано много новых конструктивных форм. Однако дальнейшее развитие форм возможно только на основе вполне отработанных конструкций, а не на основе формалистических творений, возникающих в результате непонимания подлинной тектоники сооружений.

Пересечение двух цилиндрических сегментных оболочек под прямым углом создает форму, аналогичную крестовому своду (рис. 155.1). Грань, которая получается в месте пересечения сегментов, можно сравнить с изогнутой очень жесткой складкой. Грань сохраняет форму и придает жесткость оболочке аналогично ребру жесткости или диафрагме. Жесткость конструкции в основном зависит от угла, под которым пересекаются плоскости оболочек. Кромка покрытия из оболочек аэропорта в г. Сент-Луис усиливается железобетонным ребром шириной приблизительно 2 м и толщиной 45 см (рис. 155.2). Кромка указанного ребра видна с торца оболочки, в то время как сама оболочка имеет толщину только 11 см. Оболочка одинарной кривизны при пролете 36 м была бы недостаточно жесткой без утолщения ее по краю. Эту конструкцию интересно сравнить с приведенной ранее оболочкой Майара (рис. 152.3), которая также состоит из оболочек с большим свободным выносом по отношению к расположенным в центре ребрам жесткости. При относительно небольших размерах выноса не требуется утолщения кромки оболочки.

Наряду с прямоугольным пересечением двух цилиндрических сегментов встречаются также многогранные пересечения большого количества сегментов, в результате чего получаются многогранные купола. Такие формы начали применять очень рано в истории строительства оболочек. Примером могут служить купола крытых рынков в Лейпциге и Базеле (рис. 156.2).

В работе таких куполов, как и простой короткой оболочке, мы различаем три случая распределения усилий:

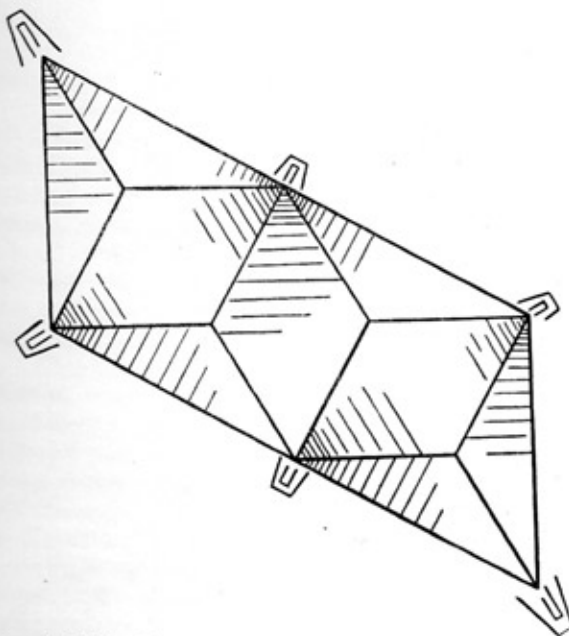
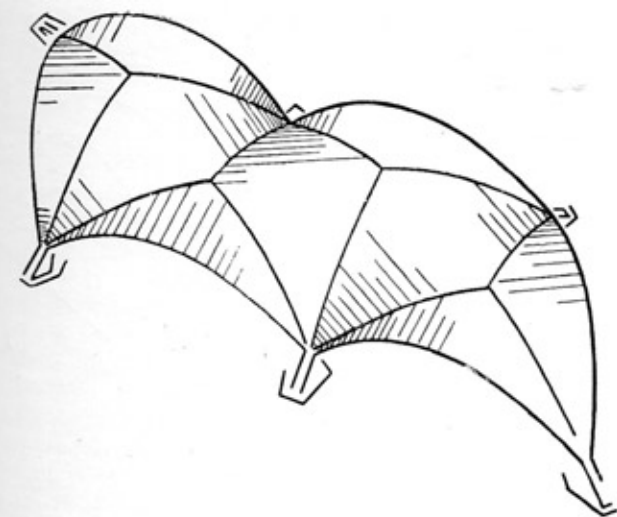


Рис. 157. Комбинация из пересекающихся под различными углами цилиндрических оболочек. Рынок в Трессанти, Италия

1. Когда нагрузки передаются на опору так же, как и в своде.

2. В случаях когда невозможна безмоментная передача усилий, т. е. когда форма оболочки не совпадает с кривой давления или в случае несимметричной нагрузки, криволинейную поверхность можно рассматривать как ряд небольших, друг за другом следующих пластинок, направляющих усилия к ребрам.

3. Когда жесткость купола обеспечивается ребрами, образующимися при пересечении отдельных оболочек.

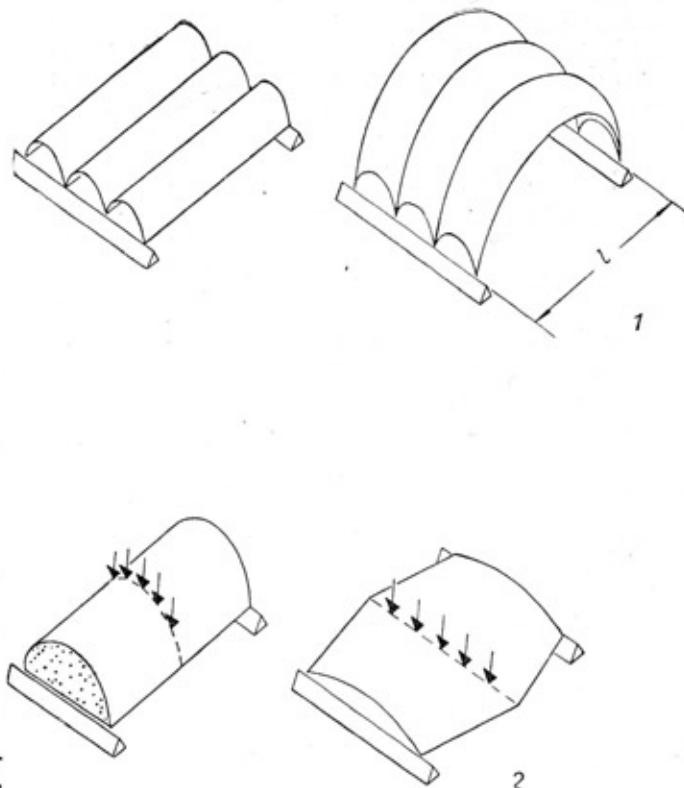
Объем сооружений, образованных в результате пересечений оболочек, часто получается безжизненным. С одной стороны, теряется строгая простота цилиндрических сегментов, расположенных рядом и имеющих одинаковую ориентацию. С другой стороны, предъявляются повышенные требования к форме сегментов в связи с образованием в месте пересечения купольных помещений. Одинарно изогнутые сегменты не удовлетворяют этим требованиям, так как обладают определенной сухостью; они напоминают геометрический чертеж, превращенный в объемное сооружение.

Без сомнения, помимо известных до настоящего времени бортовых элементов сегментов и сочетаний сегментов оболочек имеются и другие варианты форм, которые еще не получили применения. Крытый рынок в Трессанти является примером того, как из пересечений простых цилиндрических сегментов могут возникнуть живые и разнообразные строительные формы (рис. 157). Разжелобки и ребра придают конструкции жесткость при любых формах пересечений. Это дает возможность использовать их для регулирования работы конструкции и придать ей архитектурную выразительность. Если пересечения простых оболочек дают возможность создавать эмоциональные пространственные комбинации, то ясно, что можно создать огромное богатство форм путем изменения очертаний самих оболочек, конического их сужения, асимметрии и изменения наклонов осей и т. д., а также путем взаимного пересечения этих видоизмененных форм.

В связи с этим следует сказать об одном из проектов «аэропорта будущего», который был выполнен по заказу американской компании по производству цемента «ЮАСК» (рис. 158). Сооружение представляет собой концентрическое соединение оболочек как в зданиях на рис. 150. Но здесь они образуют не купол, а большое кольцо. Это прежде всего обуславливает превращение цилиндрической оболочки в оболочку конической формы. Радиально расходящиеся конические оболочки пересекаются с другими цилиндрическими оболочками, образующими круг. Все оболочки срастаются в единое целое. Наибольшая жесткость конструкции наблюдается в местах пересечений оболочек. Проект существует только в эскизе. Он еще не обоснован статическими расчетами. Следует ли краям оболочек придать форму параболы или какую-либо иную форму, могут ли у них оставаться свободные кромки или их следует усилить ребрами, должны ли вершины пересекающихся оболочек, расположенные на большей высоте, дополнительно усиливаться ребрами



Рис. 158. При сложных пересечениях оболочек приходится отказаться от чистой цилиндрической формы. Эскиз аэропорта



жесткости или нет — вот некоторые из многих вопросов, которые ждут своего разрешения.

На вопросы, связанные с организацией строительства и обеспечением устойчивости конструкции, инженеры, без сомнения, сразу найдут ответ. Но что касается тектонической формы, то над ней еще надо много работать, чтобы создать зрелый проект. На этом примере мы хотели показать богатство возможностей получения новых форм в результате геометрических пересечений оболочек.

Широкое поле деятельности открывается перед инженерами и архитекторами для проявления их фантазии и творческих поисков. Мы начали этот раздел с рассмотрения простых цилиндрических оболочек. Их поверхность изогнута только в одном направлении, в другом же остается прямолинейной. Поэтому такие оболочки легко выполнить. Во всех вариантах цилиндрической формы наблюдается взаимная передача усилий между тонкой и поэтому почти без сопротивления деформирующейся в одном направлении оболочкой, и диафрагмой или ребрами, придающими конструкции жесткость и сохраняющими ее форму.

Рис. 159. Цилиндрические оболочки, изогнутые относительно их продольной оси, превращаются в своды-оболочки двойной кривизны

1. Изогнутые цилиндрические оболочки в отличие от прямых работают в направлении перекрываемого пролета как свод.
2. Обычные цилиндрические оболочки при отсутствии диафрагм не обладают достаточной несущей способностью.
3. Цилиндрические своды-оболочки, изогнутые в продольном направлении, приобретают благодаря их двойной кривизне дополнительную жесткость. Примером может служить апельсиновая корка.

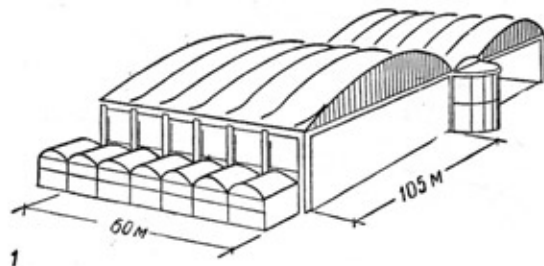
Только при взаимодействии обоих элементов обеспечивается пространственная работа, большая жесткость и несущая способность тонких оболочек. Одна лишь оболочка одинарной кривизны без диафрагм или ребер жесткости не является несущей пространственной конструкцией так же, как ею не является плоская плита-диафрагма без оболочки.

При рассмотрении эскиза проекта кафедрального собора, показанного на рис. 150, мы впервые столкнулись с оболочками двойной кривизны и той повышенной жесткостью, которая свойственна этой форме. Всякая дальнейшая разработка конструкции оболочек неизбежно приводит к формам, состоящим из поверхностей двойной кривизны.

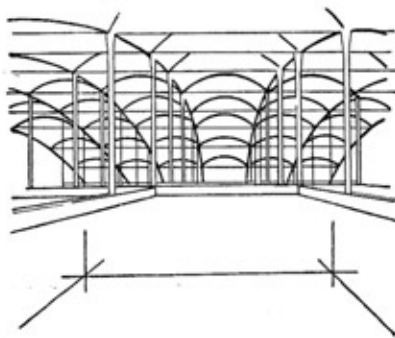
Первым шагом в этом направлении является изгиб оси цилиндрической оболочки (рис. 159.1), в результате чего ее поверхность приобретает двойную кривизну. Оболочка изогнута в поперечном и продольном направлениях; тем самым ей сообщается бóльшая пространственная жесткость. На рис. 159.2 показано, что оболочка одинарной кривизны полностью деформируется, если только она не скреплена диафрагмой, в то время как оболочка двойной кривизны даже без диафрагмы обладает известным сопротивлением. Цилиндрические оболочки можно сравнить с коркой апельсина, которую нельзя заставить прогнуться без преодоления определенного сопротивления.

При наличии прочных опор на торцах оболочки, изогнутой в продольном направлении, последняя принимает характер свода и поэтому кривая давления вновь приобретает значение в продольном направлении. Такая конструкция нашла применение при строительстве ангаров в Мариньяне, Франция (рис. 160). Горизонтальный распор оболочек, работающих как свод, воспринимается затяжками. Последние заделывались в конструкцию во время бетонирования оболочек на земле, а затем вместе с ними поднимали на высоту 19 м. Размеры сооружения в плане — 100×60 м. Толщина оболочки 6 см, приблизительно $1/1000$ пролета. Расход материала был поразительно мал. Тем не менее по всей длине оболочки на близком расстоянии друг от друга установлены элементы, придающие жесткость этим тонким оболочкам.

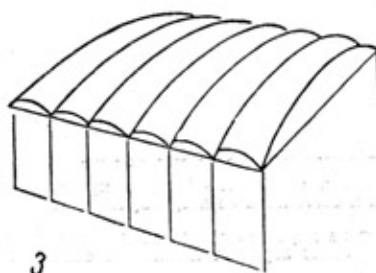
При всем восхищении этим инженерным сооружением следует все же критически отнес-



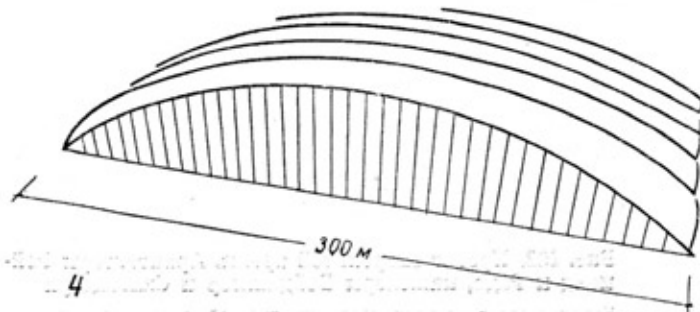
1



2



3



4

Рис. 160. Сооружения и проекты, в которых применены своды-оболочки двойной кривизны

1. Ангар в Мариньяне, Франция
2. Внутренний вид покрытия с промежуточными диафрагмами и подвесной затяжкой
3. Вариант более выразительной формы оболочек: их торцы на фасаде здания соответствуют их конструкции
4. Проект покрытия зала собраний пролетом 300 м

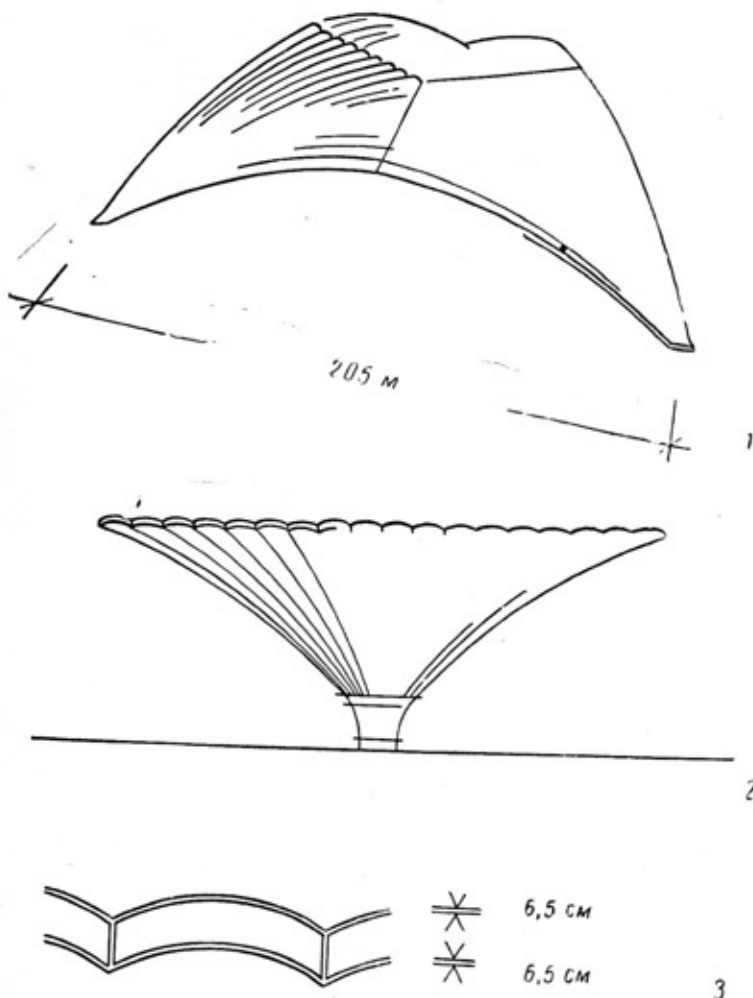


Рис. 161. Новый выставочный зал в Париже

1. Своды-оболочки двойной кривизны образуют купол, опирающийся на три точки и состоящий из веерообразно расходящихся сегментов
2. Конструкция состоит из двух отдельных оболочек; вертикальные диафрагмы соединяют верхнюю и нижнюю оболочки
3. Детали конструкции

тись к его форме. Кривизна сечения отдельных сегментов имеет исключительно важное значение для работы оболочек. Она определяет также и форму оболочек. У шельги свода виден его волнистый силуэт, если смотреть с достаточно высокой точки. Большое значение имеют и места опирания торцов оболочек, где их поперечная кривизна переходит в прямолинейную кромку. Однако из-за того, что этот переход четко не выражен, форма получается рыхлой и производит впечатление раздавленной оболочки, т. е. нарушена характерная для оболочки напряженность формы. По-видимому, оболочки должны с торцовой стороны заканчиваться четким срезом, который выявляет ее форму и сечение (рис. 160.3).

Американские инженеры разработали проект, основанный на том же конструктивном принципе, для пролета около 300 м. При этом толщина оболочки равна приблизительно 10 см. Предстоит еще проверить, насколько конструкции таких размеров, состоящие из однослойной оболочки, обладают достаточной надежностью.

Новый выставочный зал в Париже (рис. 161.1) — дальнейшее развитие идеи применения оболочек двойной кривизны для перекрытия центрального зала специального назначения. Это одна из первых конструкций из двухслойных оболочек. Она перекрывает площадь равностороннего треугольника со сторонами, равными 205 м. Три сектора в виде изогнутых и конически расширяющихся сегментных обо-

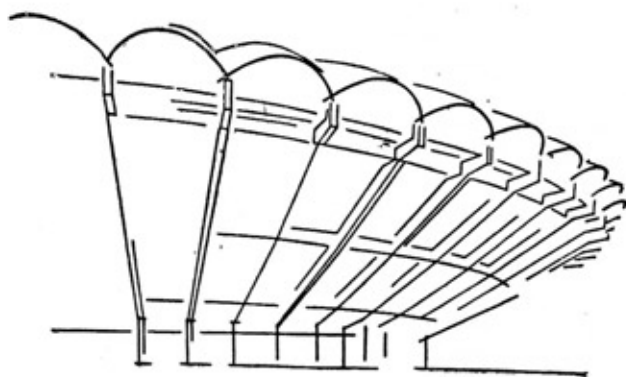
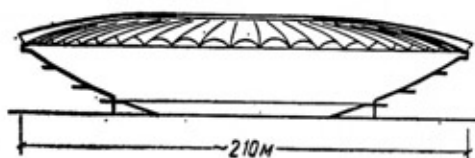
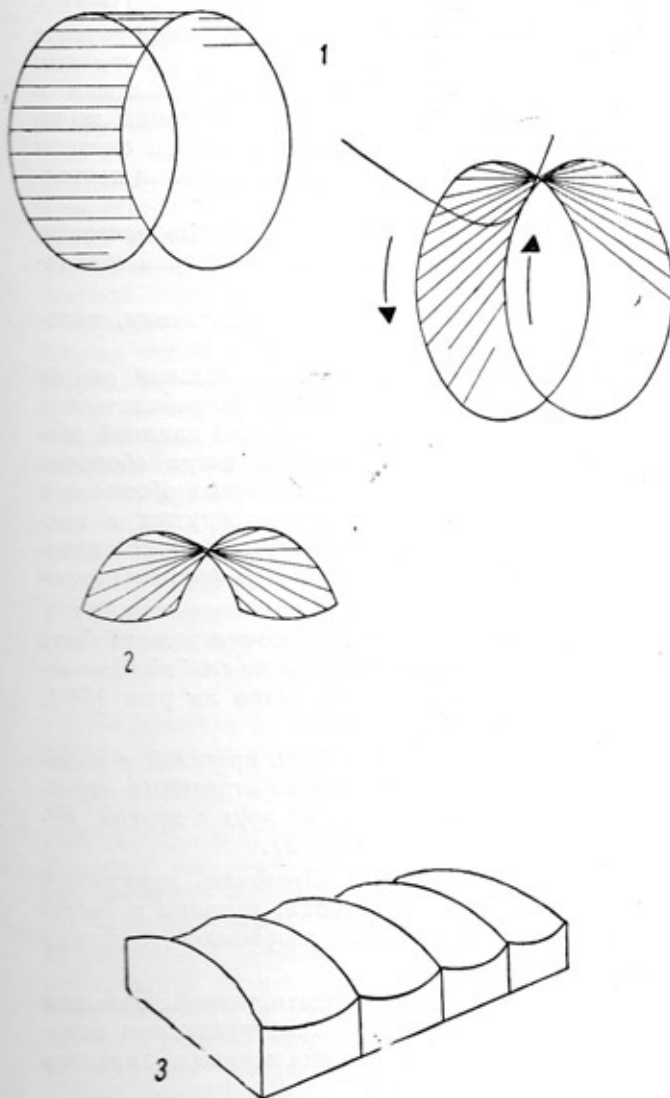


Рис. 162. Проект спортивной арены. Архитекторы Реймонд и Радо, инженеры Вейдлингер и Сальвадори

Купол состоит из волн оболочек двойной кривизны, опирающихся на центральное кольцо, работающее на сжатие





лочек вырастают веерообразно из опор, образуя своеобразный свод. Новое в конструкции состоит в том, что элементы расходятся веерообразно. При пролете 205 м арки, соединяющие две рядом расположенные опоры, становятся доминирующей архитектурной темой. Они с трех сторон выявляют мощную форму свода, имеющего очертания, близкие к параболу.

Для устойчивости этой необыкновенной конструкции требуется, чтобы она состояла из двойной оболочки. Две одинаковые оболочки расположены одна над другой приблизительно на расстоянии 2 м. Постоянство формы свода и совместная работа двух оболочек обеспечиваются сеткой вертикальных стенок-диафрагм, расположенных между оболочками. Стенки имеют толщину не более 6 см, толщина оболочек не превышает 6,5 см, т. е. приблизительно $1/3150$ пролета, а приведенная толщина бетона на 1 м^2 поверхности покрытия равна 18 см. Это соответствует величине, которая меньше $1/1000$ пролета. Скорлупа куриного яйца имеет толщину 0,4 мм, что составляет $1/100$ его диаметра. Таким образом, расход материала для строительства покрытия выставочного зала в Париже в 10 раз меньше, чем расходует природа на яичную скорлупу. Но если даже принять за общую толщину свода толщину двух оболочек плюс высоту стенок между ними, то эта толщина составляет лишь $1/100$ часть пролета и, таким образом, пропорционально соответствует толщине скорлупы куриного яйца.

Совсем другой вопрос — соответствует ли форма трех опор этому грандиозному, необычному и смелому инженерному сооружению. К сожалению, она тектонически не отражает огромных усилий, действующих в местах опор.

Среди проектов, выполненных по конкурсу «ЮАСК», следует также упомянуть проект стадиона, перекрытого оболочками (рис. 162), инженеров Вейдлингера и Сальвадори. На края огромной чаши трибун уложена раковина, состоящая из радиально сходящихся сегментных оболочек, которые в продольном направлении слегка изогнуты. К центру они сужаются и смыкаются вокруг кольца над центром стадиона. Этим кольцом воспринимается взаимно уравновешивающееся давление сегментов. В макете проекта торцы оболочек по периферии не снабжены полными диафрагмами, а только усилены тонкими ребрами, что заслуживает особого внимания. Если при таком пролете нечто подобное вообще возможно, то лишь благодаря тому, что оболочки имеют не одинарную, а двойную кривизну.

Если в поперечном сечении оболочек, показанных на рис. 159.1, выпуклость направить книзу, то получится оболочка двойной кривизны

Рис. 163. Поверхность двойкой кривизны некоторых гиперboloидов вращения работает как вогнутая волна свода-оболочки

1. Две окружности, соединенные между собой параллельными нитями, поворачиваются по отношению друг к другу в противоположные стороны. Натянутые нити создают поверхность гиперboloида вращения двойкой кривизны. Поперечное сечение является гиперболой.
2. Отрезок гиперboloида вращения весьма близок по форме к изогнуто-вогнутой волне цилиндрической оболочки двойкой кривизны.
3. Из ряда отрезков гиперboloида вращения можно собрать кровельное покрытие, аналогичное покрытию из цилиндрических сводов-оболочек двойкой кривизны (рис. 160).

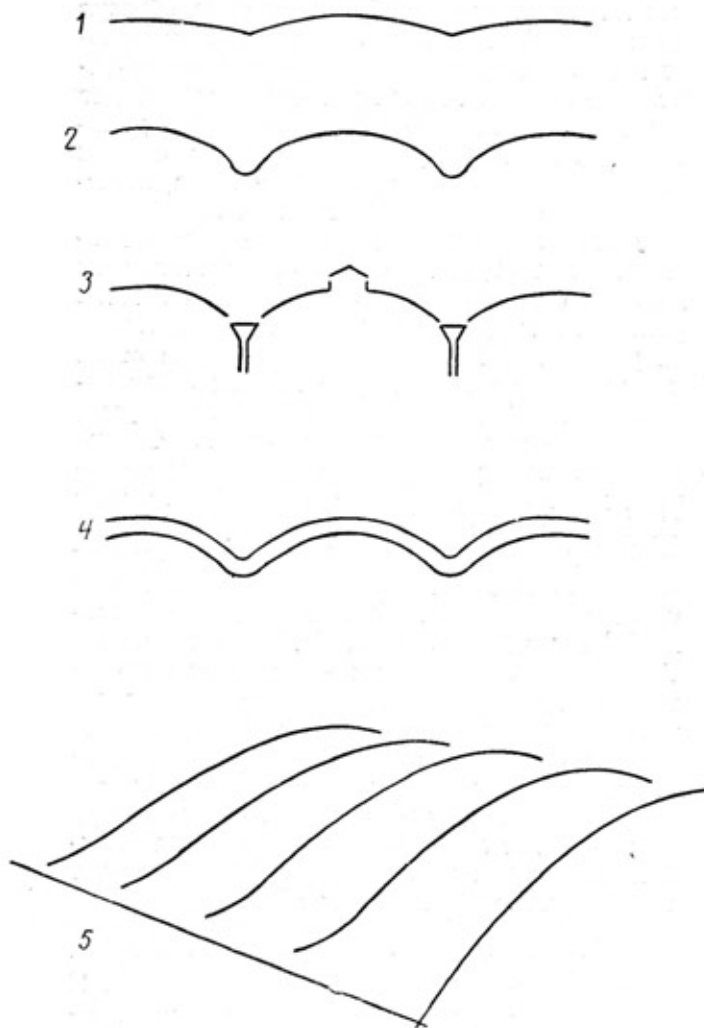


Рис. 164. Конструктивно неудачные формы волнистых сводов-оболочек

1. Слишком слабая кривизна
2. Не плавная кривизна волн
3. Прерывистость, нарушающая единство формы
4. Слишком толстые кромки
5. Расплывчатые завершения волн на торцах

с противоположными знаками. Среди прочих конструкций к последним относятся однослойные оболочки в форме гиперboloидов вращения. Для практического строительства гиперboloид вращения имеет значение потому, что его поверхность двойкой кривизны состоит из прямолинейных элементов. В направлении этих прямых (рис. 163.2) удобно монтировать элементы предварительно напряженных конструкций, а опалубку двойкой кривизны можно сравнительно легко изготовить из брусев и досок. Это замечательное свойство гиперboloида вращения объясняется очень просто. Если заменить стен-

ки цилиндра нитями, параллельными оси цилиндра, и несколько повернуть торцы цилиндра в противоположные стороны, то система нитей образует пространственно изогнутую поверхность гиперболического сечения. Основываясь на этом принципе, созданы различные несущие конструкции покрытий из оболочек. Хотя они не являются цилиндрическими элементами в смысле примененного выше определения, но по форме они настолько похожи, что мы считали нужным упомянуть о них в завершении настоящего раздела.

Таким образом, наиболее важные признаки формы цилиндрической или сегментной оболочки следующие.

1. Оболочка изогнута в направлении, поперечном к пролету.

2. Форма кривизны — произвольная, она не зависит от кривой давления. Параболическая форма не является типичной для длинной оболочки (только в тех случаях, когда оболочка работает как свод, т. е. у коротких оболочек и у оболочек, дополнительно изогнутых в продольном направлении, очертание параболической кривой давления является формообразующим фактором).

3. Кривизна сечения оболочки должна быть достаточно выразительной, а не слабой. Еле заметная кривизна, как показано на рис. 164.1, является неправильной.

4. Кривизна должна быть красивой и плавной. Кривизна, состоящая из отдельных отрезков дуг, не гармонирующих друг с другом, неприятна для глаз (рис. 164.2).

5. Оболочка должна образовать замкнутый цельный объем. Надстройки, прорезы и световые фонари неприятно разрывают ее форму (рис. 164.3).

6. Оболочка должна быть тонкой. Большая толщина неправильна в конструктивном отношении, видимая с торца, она искажает характер оболочки (рис. 164.4).

7. Оболочка должна иметь выразительное завершение. Она не должна бесформенно расплываться. Форма ее должна читаться с торцов. Слабо выраженная кривизна противоречит внутренней упругости оболочки (рис. 164.5).

8. В целях сохранения формы цилиндрическая оболочка нуждается в обеспечении жесткости. На опорах должны быть установлены стенки-диафрагмы. Попытки обойтись без диафрагм путем утолщения всей оболочки являются неправильными. Форма в таком случае воспринималась бы как форма конструкции, рассчитанной на изгиб, и не соответствовала бы сущности оболочки (сравни с рис. 154). Края, не опирающиеся на диафрагмы, должны

иметь форму консоли (в противном случае необходимо переходить к поверхностям двоякой кривизны).

Оболочки как тела вращения

Основная форма цилиндрической оболочки изогнута только в одном направлении. Геометрия ее проста. Такую форму легко изготовить. Именно на нее ориентировались в 20-е годы при строительстве оболочек. В процессе разработки новых форм (см. рис. 148—150) проектировщики стали отказываться от оболочек одинарной кривизны. Решительный шаг на пути к созданию оболочек двоякой кривизны был сделан только после того, как начали применять формы тел вращения. Все они, за исключением двух, являются формами двоякой кривизны. Только цилиндр и конус допускают развертку поверхности и, следовательно, они не имеют двоякой кривизны. Мы здесь их и не рассматриваем. Все другие тела вращения имеют поверхности двоякой кривизны.

Шар является элементарной формой восторонне симметричного тела вращения. В природе эта форма встречается всюду — небесные тела, мыльные пузыри, икринки рыб и многие фрукты.

На примере полусферы мы попытаемся показать, как работают несущие конструкции оболочек двоякой кривизны. Представим себе, что мы вырезали из полусферы узкую полоску. При свободном опирании она работает как арка. Известно, что при нагрузке от собственного веса она не будет деформироваться, если ее форма соответствует кривой давления. Но вырезанная из полусферы, полоска по своей форме сильно отклоняется от кривой давления (рис. 165.2). Под нагрузкой от собственного веса дуга полусферы в верхней части прогибается, а в нижней отклоняется наружу. Подобной деформации подвергаются все смежные дугообразные полоски полусферы. Но, благодаря пространственной работе оболочки, прогибающиеся книзу элементы в верхней зоне защемляют боку друг друга по кольцу, образуя прочный коппак. В нем действуют только усилия сжатия, направленные с разных сторон по касательной к оболочке. Элементы нижней зоны, отклоняющиеся наружу, в горизонтальном направлении начинают подвергаться усилиям растяжения и образуют кольцеобразный обод, препятствующий отклонению отдельных элементов наружу. В меридиональном направлении действуют усилия сжатия, а в горизонтальном — усилия растяжения. Следовательно, все усилия действуют только в касательном направлении к криволи-

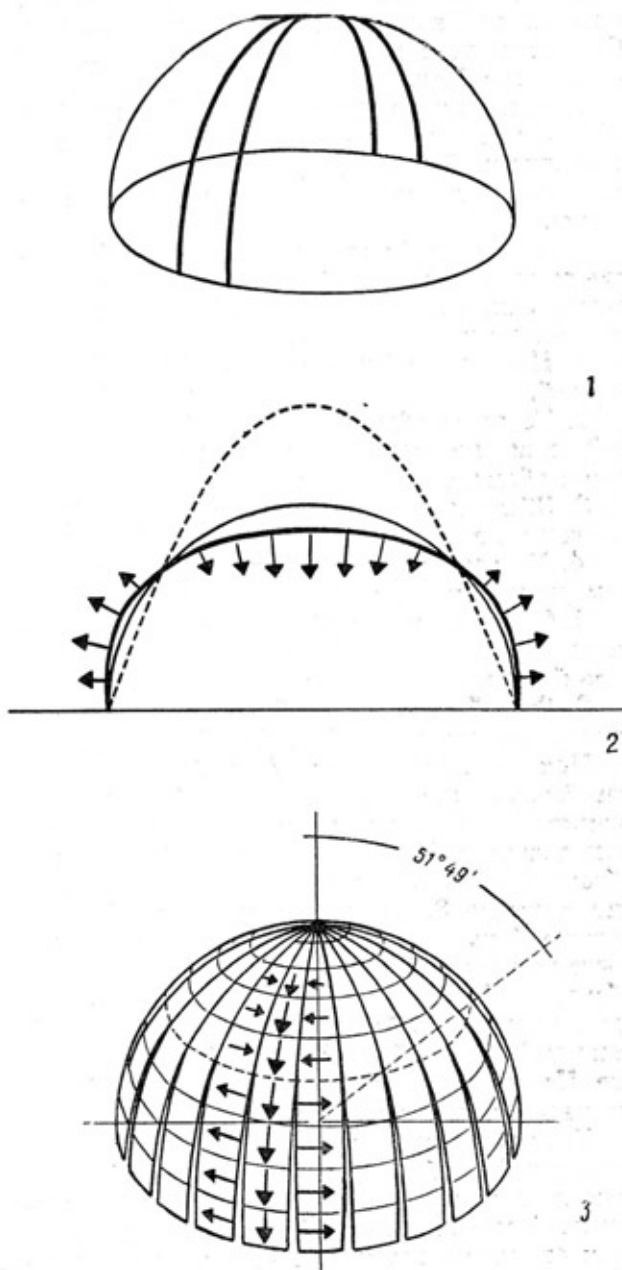


Рис. 165. Полусфера, работающая как оболочка двоякой кривизны

1. Две диаметрально противоположные узкие дуги образуют арку
2. По мере того как узкая дуга полуциркулярной арки отклоняется от кривой давления, она будет стремиться опуститься в верхней части и раздвинуться в нижней
3. Благодаря целостности полусферической оболочки верхние части опускающихся узких дуг защемляются в результате горизонтальных сжимающих усилий. Распор в нижней части элементов сдерживается благодаря действующим кольцевым усилиям

нейной поверхности, т. е. тонкая оболочка работает как мембрана.

Таким образом, становится возможным применять в строительстве очень тонкие оболочки, в которых не возникают изгибающие моменты. Для их расчета можно пользоваться теорией расчета мембран.

Показанная на примере полусферы работа оболочки, в которой действуют только усилия, имеющие к оболочке касательное направление, характерна также для оболочек двоякой кривизны.

Для того чтобы это теоретическое объяснение соответствовало действительному распределению сил, расчет оболочек основывается на следующих предпосылках.

1. Кривизна оболочек должна быть непрерывной.

2. Толщина оболочек должна быть постоянной, или, по меньшей мере, не изменяться скачкообразно.

3. Оболочка должна быть очень тонкой по сравнению с ее пролетом.

4. По возможности она должна нести равномерную, а не сосредоточенную нагрузку.

5. Опоры на краях оболочки должны по возможности восполнить прерванное здесь постоянство формы.

6. Способ опирания оболочки не должен препятствовать ее свободной деформации.

При отсутствии этих условий появляются изгибающие моменты, которые оболочка воспринять не сможет, так как имеет незначительную толщину. Поэтому толщину оболочки необходимо увеличить, что опять-таки противоречит условию 3, согласно которому оболочка должна быть тонкой. Сосредоточение усилий в точках опоры требует в этих местах утолщения оболочки. Такое утолщение в свою очередь нарушит расчетную форму оболочки, работающей как мембрана, свободная от изгибающих моментов. На техническом языке это явление обычно называется «нарушением».

Если при расчете исходить из состояния напряженной мембраны, свободной от изгибающих моментов, то именно это состояние «нарушается» необходимостью устройства утолщения в местах опирания, вследствие чего возникают нежелательные изгибающие моменты. Но если предположить, что тонкая оболочка работает как мембрана, то можно определить внутренние усилия. Во всяком случае помехой всегда являются изгибающие моменты, усложняющие работу инженера, ведущего статические расчеты оболочек.

Слишком далеко заходить при рассмотрении данного вопроса мы не будем, но необходимо вполне сознательно поставить вопрос о текто-

нической форме оболочки, не взирая на методы расчета и трудность или невозможность аналитического решения статических проблем расчета оболочек. Этим мы не ставим под вопрос большую новаторскую работу и заслуги статиков, математиков и инженеров, которые содействовали развитию строительства оболочек и тем самым сделали это строительство возможным. Но ввиду того что в настоящий момент имеются различные аналитические, эмпирические и экспериментальные методы расчета оболочек, мы задаем вопрос: оказывают ли на форму (а нас только она и интересует) какое-либо влияние теоретические предпосылки, которые не связаны с сущностью конструктивной идеи «оболочка», а в конечном итоге только с методом расчета, который всегда ограничен в своих возможностях? Не случится ли так, что архитектурная форма конструкции будет подчинена требованиям математики, которые хотя и необходимы, чтобы при известных обстоятельствах вообще сделать разрешимой математическую проблему расчета оболочек, но которые ничего общего не имеют с естественными законами, определяющими возникновение форм данной конструкции? В природе нет таких законов, чтобы оболочки были равномерно тонкими, чтобы в них не было скачкообразных утолщений, короче говоря, чтобы среди воздействующих на оболочки усилий не было изгибающих моментов. Чтобы убедиться в этом, следует вспомнить формы скорлупы ореха или домика улитки. Но пусть читатель поймет нас правильно. Настоящее сравнение является не совсем точным. Как уже было сказано выше, абсолютная величина конструкции имеет известное значение во всех случаях, когда речь идет об изгибающих моментах. В то время как у скорлупы ореха и у домика улитки высокая сосредоточенная нагрузка, вызываемая ударом или толчком извне, является преобладающей формой нагрузки, в зданиях, как правило, наблюдается равномерно распределенная нагрузка. Однако в тех точках, где сосредоточивается нагрузка, например на опорах, даже при больших размерах сооружения нельзя избежать прерывистости и утолщения формы, которые к тому же необходимы для усиления выразительности. Но эти утолщения другого масштаба, не говоря уже о том, что они выполняют функции совсем другого рода, чем прерывистость и утолщения, которые наблюдаются, например, у скорлупы ореха.

Короче говоря, нам кажется, что настало время вопросы поиска тектонической формы всюду отделять от вопросов статического расчета, если принятые методы расчета не учитывают естественных закономерностей, которые свойственны, например, элементарному закону

рычага, а становятся отвлеченными математическими методами. Ни одно из вышеприведенных шести условий строительства оболочек не кажется нам обязательным с точки зрения формы. Насильственное сужение возможностей создания новых форм ради соблюдения этих условий может быть в такой же степени отдаляет нас от хорошей и тектонически правильной формы конструкции, как и произвольное формалистическое решение данной проблемы.

Поэтому ниже будет рассмотрен ряд конструкций оболочек симметричной формы тел вращения, независимо от заранее установленных якобы строгих законов теории оболочек. Оценка форм и поиски связи их с конструкцией будут производиться на основе небольшого числа условий, которые были упомянуты в начале этой главы. Они играют основную формообразующую роль.

Планетарий Цейсса в Йене был построен в 1925 г. с применением первой в истории строительства сферической оболочки (рис. 166). После этого аналогичные сооружения были возведены в Лейпциге, Берлине и Дрездене. В качестве объемного экрана, изображающего небосвод, эти купола являются точными полусферами. Распределение действующих в них внутренних сил происходит в соответствии с рис. 165. Горизонтальные силы растяжения воспринимаются арматурой оболочек. Передаваемые в меридиональном направлении усилия сжатия встречают сопротивление в нижней части сооружения. Они направлены касательно к нижней части полусферы, т. е. вертикально. Перед нами идеальный случай опирания шаровидной оболочки. Нагрузка от купола имеет только вертикальное направление, а распора нет.

В этом основное различие между оболочкой и старыми каменными куполами, такими, как, например, купол собора св. Петра в Риме, собора во Флоренции или церкви Фрауенкирхе в Дрездене, которая во время второй мировой войны была разрушена.

Старинные каменные купола вызывают усилия сдвига, направленные в радиальном направлении. Каменная кладка, несмотря на наличие кованых железных, но слишком слабых колец, не в состоянии воспринять горизонтальных усилий растяжения в нижней части купола (ср. с рис. 165). Возникают вертикальные трещины в наиболее слабых местах между проемами купола. Равновесие восстанавливается лишь благодаря тому, что каждые два противолежащих сектора купола, отделившихся трещинами от смежной кладки, начинают работать как свод (рис. 167). Каждая пара секторов образует арку, которая в статическом отношении работает самостоятельно и поэтому должна

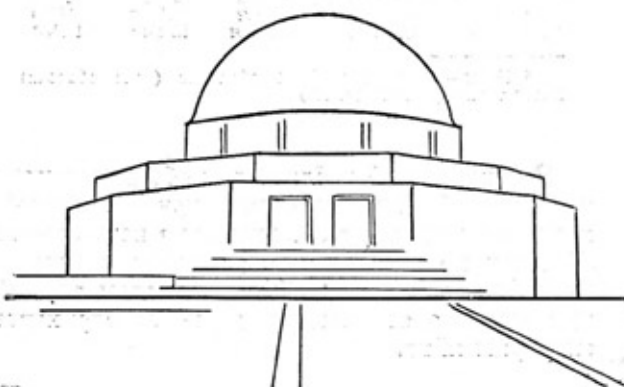
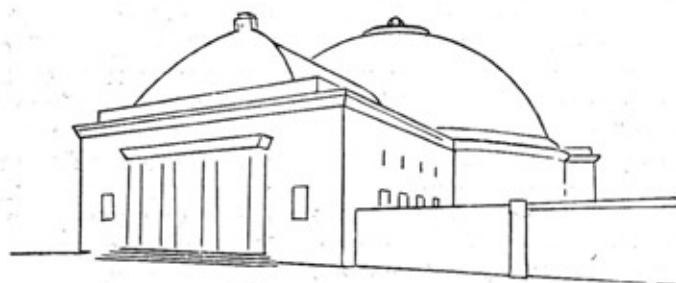
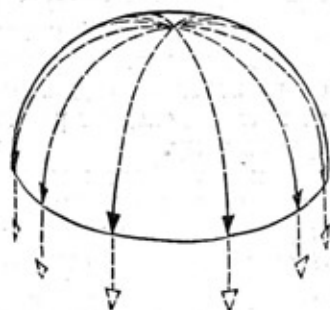
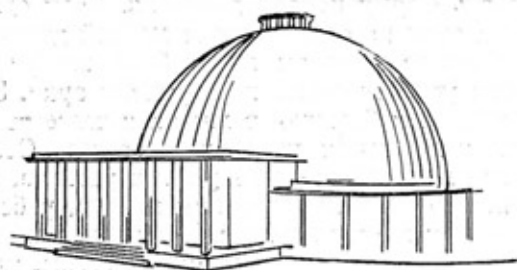
принять форму кривой давления. Если однако форма арки не соответствует кривой давления, изгибающие моменты могут быть восприняты только устойчивостью конструкции арки. Этим объясняются большая толщина и тяжесть старинных каменных купольных сводов. Отсюда большие горизонтальные усилия распора, вызванные тяжелыми секторами купола, работающими как пары полуарок. Эти усилия нередко настолько велики, что распирают стены, на которые опирается купол. Трещины в стенах у церкви Фрауенкирхе в Дрездене в 30-х годах были точно замерены для выявления статичности старинного каменного купола. Автор настоящего труда участвовал в этих исследованиях, которые показали, что каменный купол работает не как пространственное несущее сооружение, поскольку он распался на отдельные пары арок, каждую из которых следует рассматривать как плоскостную систему.

Вернемся к полусфере планетария в Йене. Она опирается на стены подкупольного барабана, не передавая на них никаких сдвигающих усилий. В архитектурном отношении это здание мало выразительно. Его формы носят чисто геометрический характер, они ничего не говорят о распределении внутренних усилий. Поразительная тонкость оболочки внешне не выражена. Силы, передаваемые от купола на барабан, являются равномерно распределенной вертикальной нагрузкой. Нигде нет сосредоточения усилий, утолщений стенок купола или дифференциации масс строительных объемов, по которым можно было бы судить о внутреннем взаимодействии конструктивной системы. Как полусфера эта форма правильна только в математическом отношении; она несколько не красивее, чем, например, форма бильярдного шара. В качестве архитектурной формы она ничего не выражает.

	Пролет l	Толщина купола или оболочки d	d/l
Собор св. Петра в Риме . . .	40 м	3,00 м	1/13
Церковь Фрауенкирхе в Дрездене	24 м	1,25 м	1/19
Куриное яйцо	4 см	0,4 мм	1/100
Планетарий Цейсса в Йене . . .	40 м	6 см	1/166
Крытый рынок в Базеле . . .	60 м	8,5 см	1/700
Выставочный зал в Париже	205 м	13 см*	1/1570

* 13 см — толщина двойной оболочки (одна оболочка имеет толщину около 6,5 см)

В приведенной таблице дан обзор сводчатых конструкций, из которого видно, насколько меньше материала расходуется на изготовление оболочек по сравнению с расходом материала на каменные купола; оболочки в этом отношении выгодно отличаются даже от структуры скорлупы яйца.



Как бы ни была интересна конструктивная идея оболочки в форме замкнутого полушария, но ее невыразительность в художественном отношении, возможно, является причиной того, что такие оболочки почти нигде не применяются. Их применяют только в планетариях, где форма оболочки обусловлена функционально. В архитектуре последних десятилетий оболочки в форме замкнутого полушария никакой роли не играли.

Спортивный зал в Порто и крытый рынок в Сиди-бель-Аббес построены с применением оболочек, форма которых основана на геометрии шара (рис. 168). Но в обоих случаях вместо полушария применен сегмент шара. Тем самым проблема опирания становится значительно более интересной. Кольцевое опирание при наличии одних только вертикальных усилий позволяет передавать их на отдельные стойки. Следуя закону распределения усилий, стойки установлены приблизительно по касательной к поверхности оболочки у ее основания. При всех условиях усилия прежде всего должны быть переданы на вершину опор. При нормальной толщине оболочки это невозможно. Необходимо создать утолщенную зону, в которой усилия сосредоточиваются и передаются на вершины

Рис. 166. Полусферические оболочки планетариев

1. Первый планетарий в г. Пене служит прототипом всех последующих планетариев. Меридиональные силы проходят у нижнего края по касательной к оболочке, т. е. в вертикальном направлении. В оболочке не возникает никаких горизонтальных усилий распора
2. Планетарий в Берлине
3. Планетарий в Чикаго, США

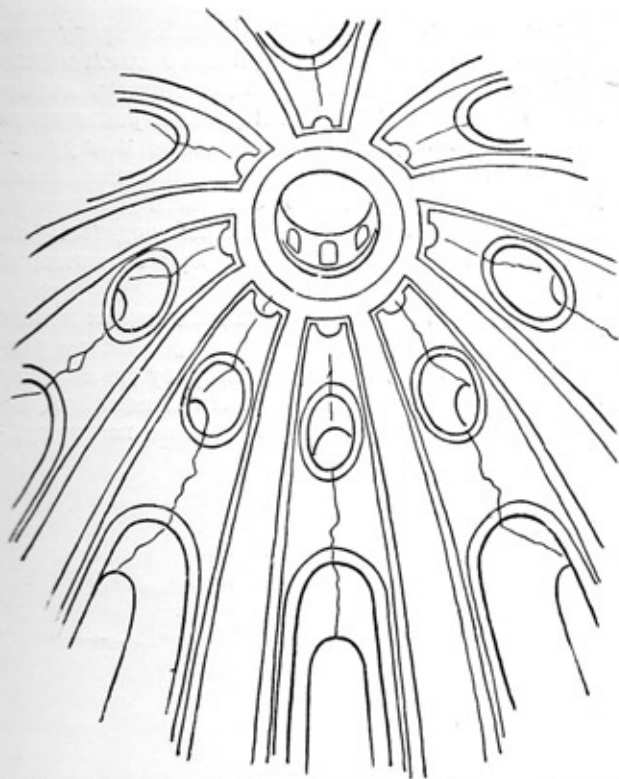


Рис. 167. На примере двойного каменного купола церкви Фрауенкирхе в Дрездене (XVIII век) видно, что его конструкция не работала как цельная пространственная система. Трещины показывают, что купол разорвался на отдельные сегменты, работающие как изолированные арки

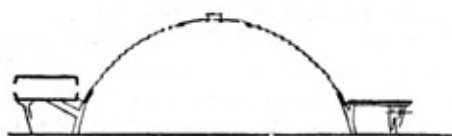
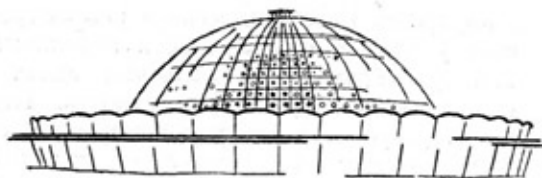
опор. Получается кольцевая ранд-балка, которая должна быть устойчивой против изгиба и кручения. У здания спортивного зала в Порто архитектурно она выражена ясно. В крытом рынке в Сиди-бель-Аббес ее можно увидеть только изнутри помещения. Снаружи ранд-балка спрятана за сплошным кольцевым козырьком. Тонкость оболочки ощущается благодаря часто расположенным круглым отверстиям в ней. Удастся ли при помощи отверстий в сборных плитах оболочки, имеющих по краям ребра, выявить небольшую толщину оболочки, которую она может иметь по статическим расчетам, — это второстепенный вопрос детального проектирования. Интересно отметить, что оба крытых рынка сделаны из сборных деталей без опалубки.

Олимпийский спортивный стадион в Риме, Италия (рис. 168.3 и фото 26) упоминался во второй главе в связи с применением V-образных опор. Однако здесь приходится снова вернуться к этому сооружению, чтобы подчеркнуть логичное решение опор, установленных в направлении, касательном к краю купола. Ребра

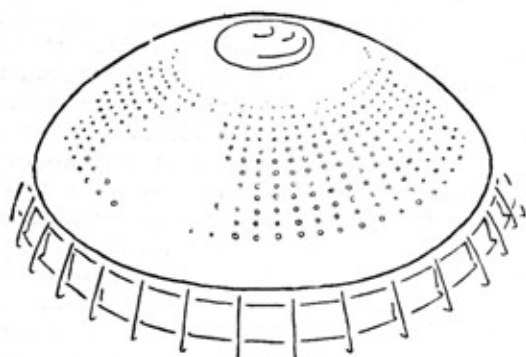
с внутренней стороны купола концентрируют в себе усилия и отводят их к вершинам опор. Между опорами край оболочки имеет волнистость, придающую ему жесткость. Необходимость устройства ребер с внутренней стороны купола вызвана технологией изготовления ромбовидных сборных деталей. На оболочку из сборных элементов наносился слой монолитного бетона толщиной 2,5 см. Ребра очень тонкой оболочке придают жесткость. В какой степени они влияют на распределение усилий в самой оболочке, сказать трудно. Можно предположить, что действие, оказываемое ребрами, имеет доминирующее значение.

Как правило, оболочки делаются цельными и гладкими без внутренних ребер. Такие оболочки представляют собой полую форму, отличающуюся слабой выразительностью, так как внутренняя поверхность ее не оживляется игрой светотени. В тех случаях, когда внутренняя поверхность оболочки ничем не облицована, с художественной точки зрения ее желательно оживить ребрами. Кроме того, это позволит при больших пролетах устранить опасность выпучивания тонкой оболочки. Однако автору не известны какие-либо примеры использования ребер против выпучивания в качестве архитектурного элемента, тектонически отражающего существующее распределение усилий.

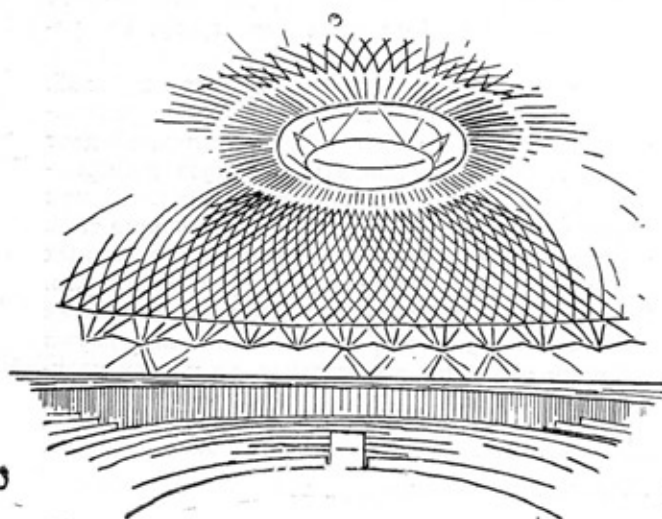
Покрытие зала для собраний в Токио представляет собой очень плоскую сферическую оболочку (рис. 169). Поэтому принят другой способ ее опирания. Край оболочки опирается на стойки, которые несколько наклонены наружу. В этом случае усилия, действующие в оболочке в меридиональном направлении, не передаются стойкам; они должны быть уравновешены в самой оболочке. Для этого необходимо предусмотреть усиленное кольцевое армирование. При слабом армировании кольца последнее может настолько растянуться, что устойчивость оболочки будет поставлена под угрозу. Ее разорвет в меридиональном направлении так же, как старинные каменные купола церквей. Поэтому необходимо применять предварительно напряженный железобетон. Последний дает возможность регулировать упругую деформацию края купола в требуемом направлении путем натяжения анкерного кольца. Кроме того, вертикальные составляющие меридиональных сил от оболочек должны передаваться опорам. Это вызывает изгибающие моменты в кромке оболочки, а так как края оболочки между двумя опорами являются изогнутыми, то к этим изгибающим моментам добавляются еще усилия кручения. Все эти усилия, которые согласно основным условиям не должны действовать в оболочке, неизбежны при таком способе опира-



1 | — 43 5 м — |

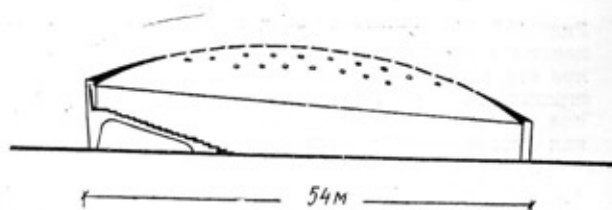
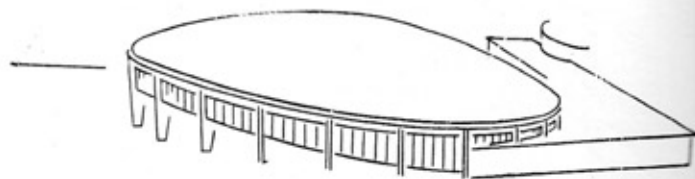


2 | — 90 м — |



ния оболочки. Поэтому необходимо предусмотреть контурный элемент мощного сечения, который мог бы соответствующим образом выдерживать изгибающие моменты усилий растяжения и кручения. Осуществление такого контурного элемента, толщина которого должна постепенно уменьшаться и совпасть с тонкой оболочкой, является очень сложным в производстве. Оно вызывает также затруднения при статических расчетах.

В настоящее время мы еще не имеем ясного представления о подлинном распределении усилий в оболочках; по этому вопросу до сих пор не велось систематических исследований, которые помогли бы определить, какое взаимодей-



54 м

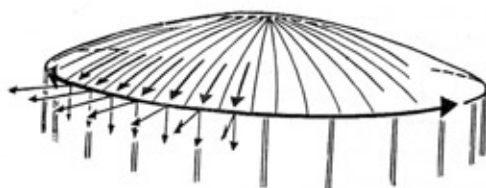


Рис. 169. Зал для собраний в Токио

1. Общий вид
2. Разрез
3. Схема распределения усилий

Рис. 168. Различные формы купольных оболочек

1. Крытый рынок в Сиди-бель-Аббес, Алжир
2. Спортивный зал в Порто, Португалия
3. Олимпийский дворец спорта (Палацетто) в Риме. Внутренний вид. Инж. Нерви

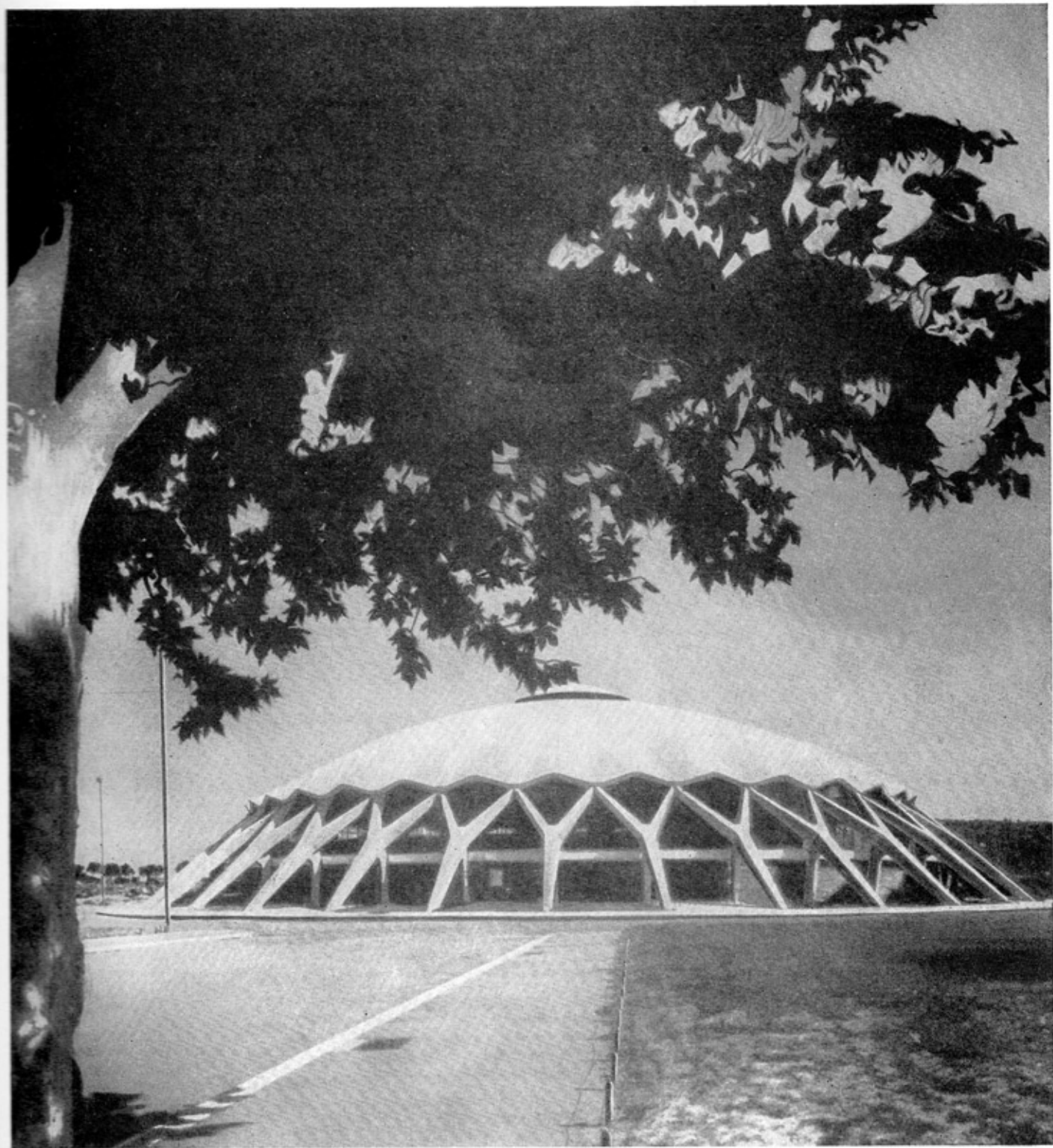


Фото 26. Общий вид Олимпийского дворца спорта в Риме. Инж. Нерви

стве существует между формой и распределением усилий. Поэтому нельзя еще сделать какие-либо выводы относительно характера тектонически правильной архитектурной формы такого типа покрытия. Одно только бесспорно для края такого плоского сферического сегмента, опирающегося на отдельные опоры, — необходима особая форма, которая должна подчиняться строгим законам конструкции. Попытки решить эту проблему путем применения различного рода украшений являются столь же ошибочными, как и применение произвольных форм. Для тех, кто интересуется этими проблемами, решение которых требует научного анализа и здравого восприятия эстетических форм, открывается широкое поле деятельности.

Особое место среди оболочек, выполненных как тела вращения, занимает гиперboloид. Он представляет собой весьма своеобразную, очень выразительную и геометрически строго обусловленную форму. Гиперboloид получается в результате поворота двух кругов, связанных между собой прямыми линиями (нитями) (см. также рис. 163). Эта форма часто применяется для строительства градириен (рис. 170.2).

Оболочка купола синагоги университета в Иерусалиме (рис. 171.1) сильно отличается от зала в Токио и гиперboloида вращения. Она внизу мягко переходит в вертикальную поверхность барабана, прорезанного арочными проемами. Меридиональные усилия купола направляются по касательной к оболочке вплоть до вертикали (так же, как в полусфере). Усилия на отдельные опоры передаются по дуге без особых затруднений. Утолщения по краям арок и в пятах являются необходимыми в статическом отношении и желательными с точки зрения архитектуры. При детальной разработке формы нижней части оболочки, очевидно, должна быть выявлена ее небольшая толщина.

Следует отметить как положительный факт, что перекрытие над арками уложено независимо от оболочки, с которой оно не соприкасается.

Проектирование оболочек с отклонением от точных форм тел вращения не является результатом произвола. Оно в основном отвечает статике оболочек; по-видимому, при строительстве синагоги такая форма была выбрана вполне сознательно. В этом изменении формы кроется источник огромного ее обогащения.

Одновременно затрагивается вопрос архитектуры оболочки как крупной пластической формы. Большие возможности, открывающиеся с применением оболочек в строительстве, архитекторами еще мало осознаны. В связи с этим следует снова указать на то, что оболочка не связана с определенными геометрическими фор-

мами; следовательно, проектировщику предоставлена свобода творчества.

Но те немногие новые прогрессивные пластические формы, которые известны, созданы инженерами-конструкторами. Интересно отметить, что эти новые формы — не результат художественного творчества, а непосредственное отражение форм, встречающихся в природе.

Особо следует отметить великолепную форму каплевидных резервуаров (рис. 171.2). Такая форма получается, когда все части стен резервуара для жидкости, установленного на плоском основании, подвергаются одинаковым усилиям. Математическое определение этой формы имеется в учебниках математики, а не в книгах, посвященных искусству. Однако природа создает эти формы миллионы раз в форме водяных капель (фото 27).

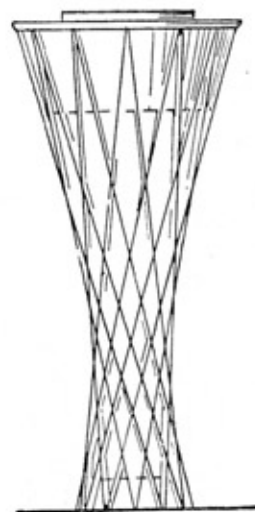
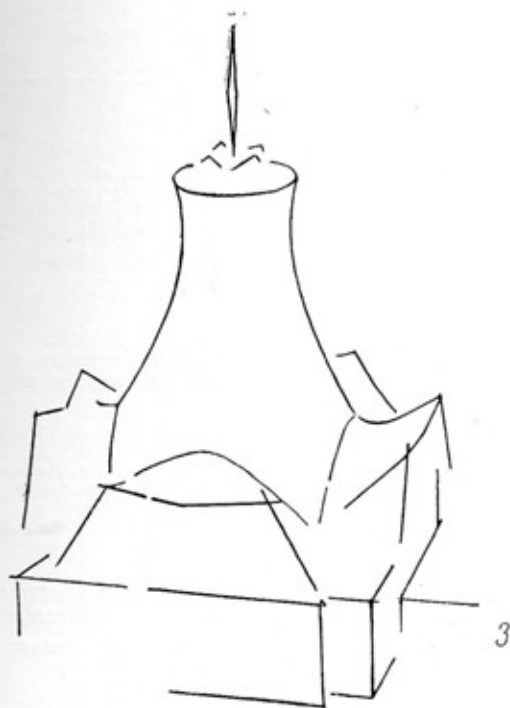
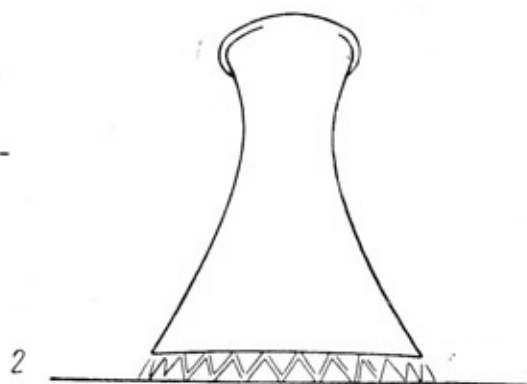
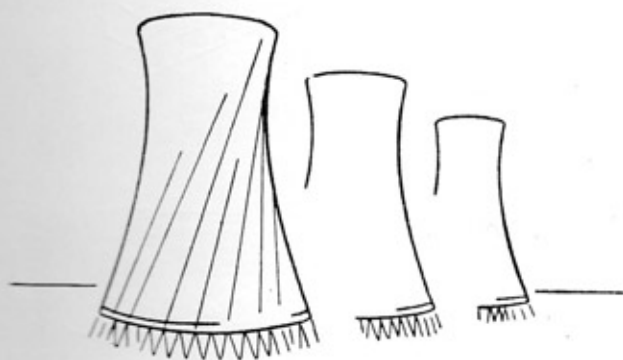
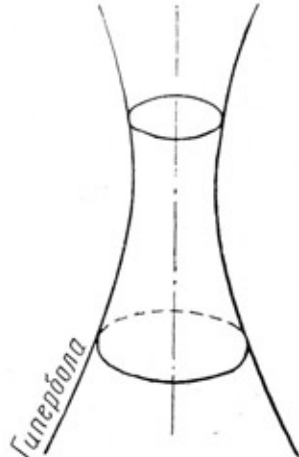
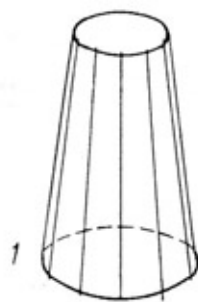
Таким образом, замкнутая оболочка, представляющая собой тело вращения, не имеет открытых торцов, на которых видна толщина и кривизна оболочки. Изящность оболочки, являясь результатом осуществления гениальной идеи конструктора, внешне не выражена. Распределение действующих усилий, определяемых конструктивной формой оболочки, узнается только по характеру опирания на нижнюю часть сооружения.

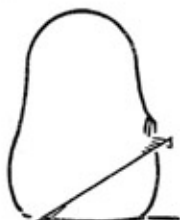
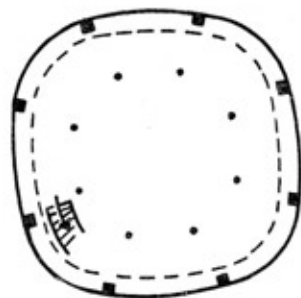
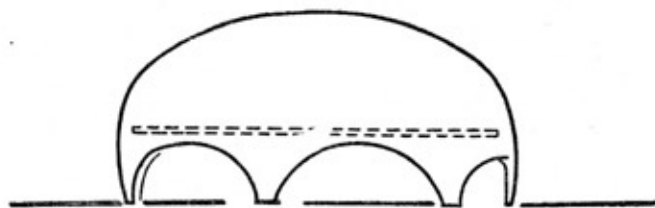
Еще мало исследована интересная область архитектурного и инженерного проектирования сетки ребер, придающих оболочке жесткость против выпучивания.

Пластика монументальных оболочек в виде форм тел вращения с архитектурной точки зрения почти не изучена. Еще очень мало известно о действительном распределении усилий в переходной зоне между оболочкой и нижней частью здания, а также о восприятии краевыми элементами усилий от верхней части сооружения. Поэтому в будущем каждый значительный проект оболочки должен служить не только для новых исследований распределения напряжений в материале в целях достижения статически обоснованной надежности оболочки, но и для систематического исследования взаимодействия между формой и распределением усилий в це-

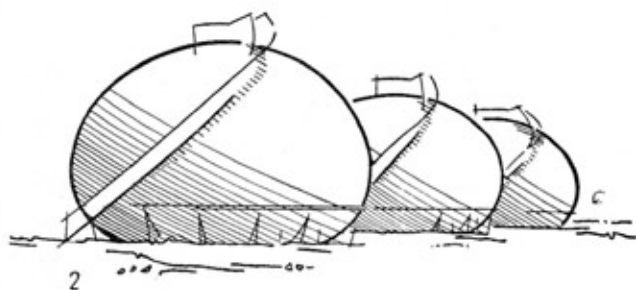
Рис. 170. Гиперboloиды вращения

1. Оболочки в виде гиперboloида вращения получают, если два круга, соединенные посредством натянутых нитей, поворачиваются в противоположных направлениях, или когда гиперbolo вращается вокруг оси
2. Градириен в форме гиперboloидов вращения
3. Новая базилика в Алжире имеет форму гиперboloида вращения. Архитекторы П. Гербе и Ж. Ле Кутер, инж. Сарже
4. Проект водонапорной башни с несущим каркасом в виде сетки из пересекающихся прямых образующих. (Хотя эта конструкция и не является оболочкой, она интересует нас с точки зрения формы)

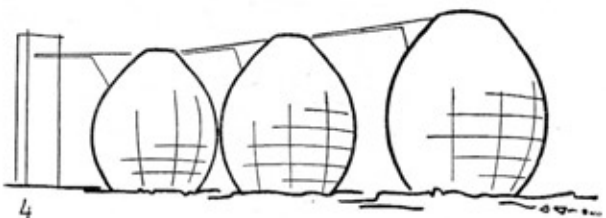




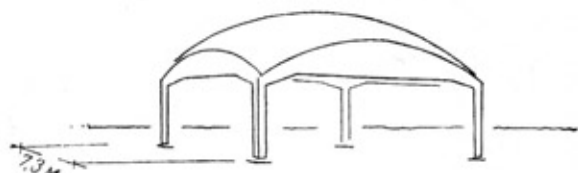
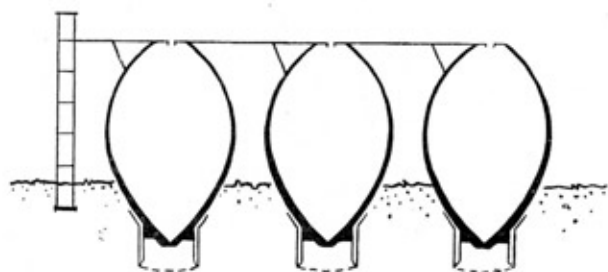
3



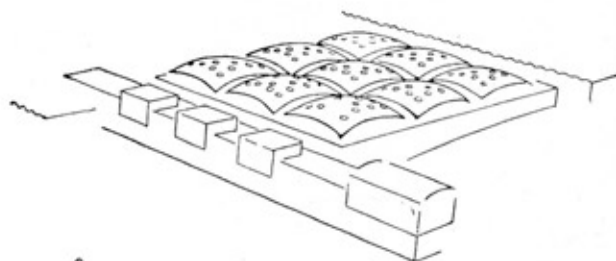
2



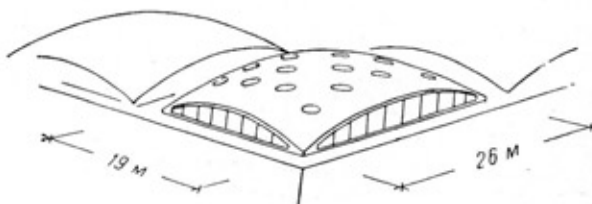
4



1



2



3

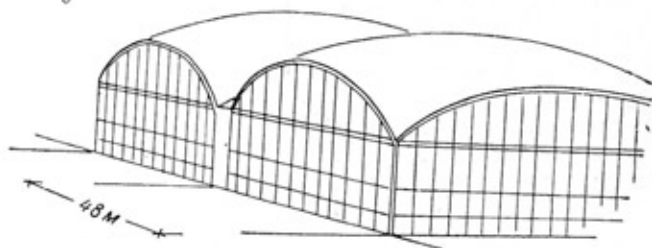


Рис. 172. Четырехугольные сферические сегменты с криволинейным очертанием торцов (в вертикальной проекции)

1. Экспериментальная оболочка предприятия Дюкерхоф и Видман, построенная в 1924 г.
2. Промышленные цехи в Бринморе — Уэльс, Англия
3. Выставочные павильоны в Белграде, Югославия. Инж. Костаневак

Рис. 171. Крупные формы оболочек в виде тел вращения, получившие применение в строительстве

1. Синагога в Иерусалиме имеет форму несколько искаженного тела вращения. Арх. Эзра Рай
2. Равнопрочная емкость для жидкостей
3. Аэродинамический канал
4. Резервуары. Силосные башни

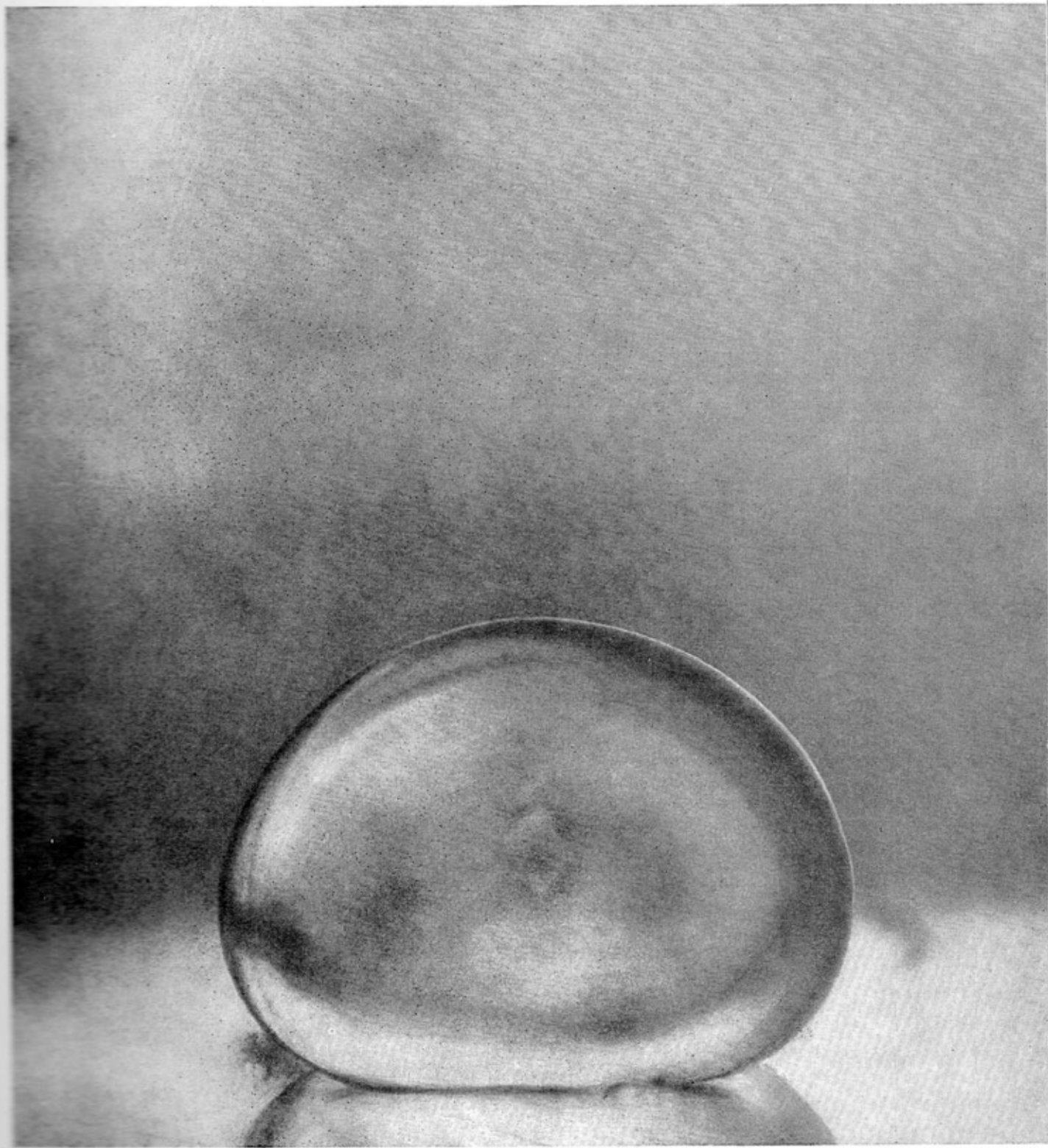


Фото II. Увеличенное изображение капли воды

лях определения тектоники архитектурной формы.

Не обязательно края оболочек, имеющих форму тел вращения, должны быть подобны параллелям сферы. Возможны и другие виды ограничения. Они могут расширить шкалу форм в довольно широких пределах.

Экспериментальную оболочку здания фирмы «Дюкергоф и Видман», построенную в 1924 г., следует рассматривать как прототип целой серии оболочек (рис. 172). Несмотря на то, что она является оболочкой, полученной не в результате вращения, все же мы ее включаем в серию оболочек, имеющих форму тел вращения. Ее форма должна оцениваться именно с этих позиций. У усеченной с четырех сторон оболочки в виде шарового сегмента кромки будут видны; они обладают такой же выразительностью, как и кромки цилиндрических оболочек.

Форма оболочки сильно зависит от вида опирания. В экспериментальной оболочке (рис. 172.1) форма выявлялась на торцах глухими диафрагмами. В оболочках промышленных цехов в Бринморе (рис. 172.2) и выставочных павильонов в Белграде (рис. 172.3) торцы остеклены. Вместо глухих диафрагм предусмотрены затяжки и арки, придающие оболочке жесткость.

Форма усеченного с трех сторон сегмента шара является еще более выразительной. Она была применена при перекрытии аудитории Массачусетского технологического института (рис. 173.1). Наружные стены, находящиеся под криволинейным покрытием, остеклены. Таким образом, здесь диафрагм нет.

Металлические затяжки, расположенные под полом, стягивают все три пятя оболочки. Края оболочки незначительно утолщены; форма двойкой кривизны сама по себе обладает жесткостью. Концентрация нагрузки в трех точках, на которые опирается оболочка, вызывает в последней усилия и соответствующие им напряжения, создающие конструктивные затруднения. В тех местах, где концы оболочки сужаются книзу, необходимо было предусмотреть утолщения. Однако это нарушает шарообразную форму. Но какую правильную тектоническую форму придать оболочкам у опор, — пока еще не ясно. Форма, образованная как часть сферы, кажется нам почти абстрактной, воплощающей одну только геометрию, мало отражающую специальные условия и нагрузки и мало к ним приспособленную, т. е. она не является тектонической формой конструкции. Возникает вопрос: нельзя ли найти более выразительные и, наконец, более эффективные в конструктивном отношении формы для трех углов оболочки, поскольку они являются местами сосредоточения

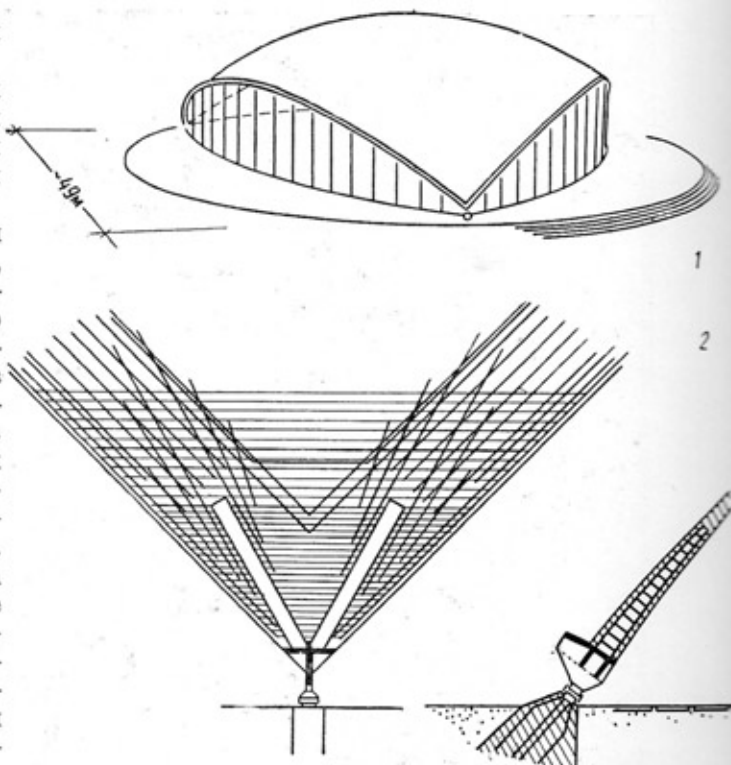


Рис. 173. Треугольный сферический сегмент с криволинейным очертанием торцов как в плане, так и в вертикальной проекции

1. Аудитория Массачусетского технологического института в Кембридже, США. Арх. Сааринен
2. Деталь опоры

нагрузок? Мы признаем, что форма шара в этом случае является наиболее подходящей, чтобы математически выразить действующие в ней силы. Однако мы предполагаем, что существуют и другие формы, отличные от строго геометрических, в которых более удачно выражаются конструктивная суть оболочки и ее архитектурный объем. Такого рода формы мы будем называть «произвольными формами». Несмотря на то, что «произвольные формы» не вписываются в простые геометрические формы, они все же обусловлены конструкцией. Но об этом более подробно будет рассказано ниже.

Коноиды

В технической литературе нет единого определения коноида. Мы хотим в данном случае дать широкое определение этому понятию, так как нас интересует только форма коноида (рис. 174.1).

Коноидальные поверхности получаются в том случае, когда прямая перемещается одним

концом вдоль прямой, а другим — вдоль кривой. Как формы для оболочек коноиды до настоящего времени не имели большого значения. Мы упоминаем о них только для полноты изложения, а также потому, что, возможно, в будущем эта форма приобретет большее значение. Коноиды имеют двоякую кривизну; все они образуются прямыми, что очень облегчает строительство оболочек.

При применении коноидных оболочек для шедовых покрытий имеется возможность создать прямой край крыши (рис. 174.2). Оболочка натягивается от верхнего пояса одной строительной фермы до нижнего пояса другой. В качестве фермы, сообщающей жесткость оболочке, может служить арочная конструкция, созданная на основе кривой давления, или жесткая решетчатая конструкция другой формы, играющая здесь роль диафрагмы.

Инженер Сальвадори построил оболочку (рис. 174.3), имеющую форму коноида. Сведение кривизны коноида к нулю на прямолинейном крае могло привести в этом месте к потере необходимой жесткости. Во избежание этого контуру оболочки придана некоторая волнистость. На противоположной стороне оболочка имеет большую кривизну и в этой стороне волны постепенно уменьшаются. Таким образом, достигнута достаточная жесткость конструкции во всех ее частях. Конечно, оболочка на обоих торцах должна быть усилена стенками-диафрагмами. Интересно, что данная форма, сконструированная в результате инженерных расчетов, похожа на форму раковины.

К коноидам следует также отнести козырек здания ЮНЕСКО (фото 28). Из параболической арки выступают две консоли с коноидальными поверхностями, направленные в противоположные стороны. Большая коноидальная консоль, выступающая вперед, ограничена двумя параболлами, направленными в различные стороны; верхняя парабола едва изогнута. Образующей служит прямая, перемещающаяся по этим параболлам.

У коноида геометрическая форма еще не является тектонической формой конструкции. Она нуждается в дальнейшей разработке, в результате чего следует ожидать: придания весьма дифференцированных форм наиболее важным частям оболочки, в которых происходит распределение сил и несущих функций оболочки; правильного образования усилений, ребер и краевых утолщений; выразительного оформления опорной части; наглядного сосредоточения нагрузки в точках опоры. При известных условиях желательно даже отклонение от строгих геометрических форм в пользу более эффективных решений.

Гиперболические параболоиды

Поиски подходящих поверхностей для строительства оболочек, которые имели бы двоякую кривизну, поддавались бы математическому расчету, легко изготовлялись и были бы красивыми и выразительными, непременно должны были привести к открытию гиперболического параболоида (в дальнейшем будет коротко обозначаться г. п.). Античная геометрия им не занималась. Уравнения г. п. известны только начиная с XVII в. В учебниках математики и геометрии до недавнего времени о нем упоминалось лишь вскользь. Трудно установить, кому принадлежит заслуга составления первого проекта оболочек в форме гиперболических параболоидов. Как это часто бывает, вероятно, многие одновременно и независимо друг от друга имели бы право подать заявку на это изобретение. После второй мировой войны во всем мире стали широко применять оболочки типа г. п.

Что следует понимать под названием гиперболический параболоид и какие его свойства нас больше всего интересуют? К двум выпуклым кверху параболлам подвешен ряд одинаковых парабол, выпуклых книзу (рис. 175.1). Получается седловидная поверхность, поперечные сечения которой также образуют ряд равных друг другу и параллельных, но выпуклых кверху парабол. Седловидная поверхность представляет собой поверхность двоякой кривизны с противоположными знаками.

Горизонтальные сечения, т. е. горизонтали, образуют гиперболы (рис. 175.2). То же относится ко всем наклонным разрезам.

Поверхность г. п. имеет две системы прямых образующих (рис. 175.3). Они дают возможность ограничить прямыми линиями вырезы криволинейных четырехугольников из седловидной поверхности. Иначе говоря, любой криволинейный четырехугольник может ограничить вырез поверхности г. п. Если разделить на равные части две его противолежащие стороны и точки деления соединить прямыми, то эти прямые как образующие лежат в поверхности г. п. двоякой кривизны.

К наиболее часто применяемым элементам (вырезам) и комбинациям из поверхности г. п. относятся следующие.

1. Седловидная поверхность, ограниченная вертикальными параболлами и горизонтальными гиперболлами.
2. Основная форма — прямолинейно ограниченный четырехугольник с криволинейной поверхностью.
3. Комбинация многих прямолинейно ограниченных основных форм.

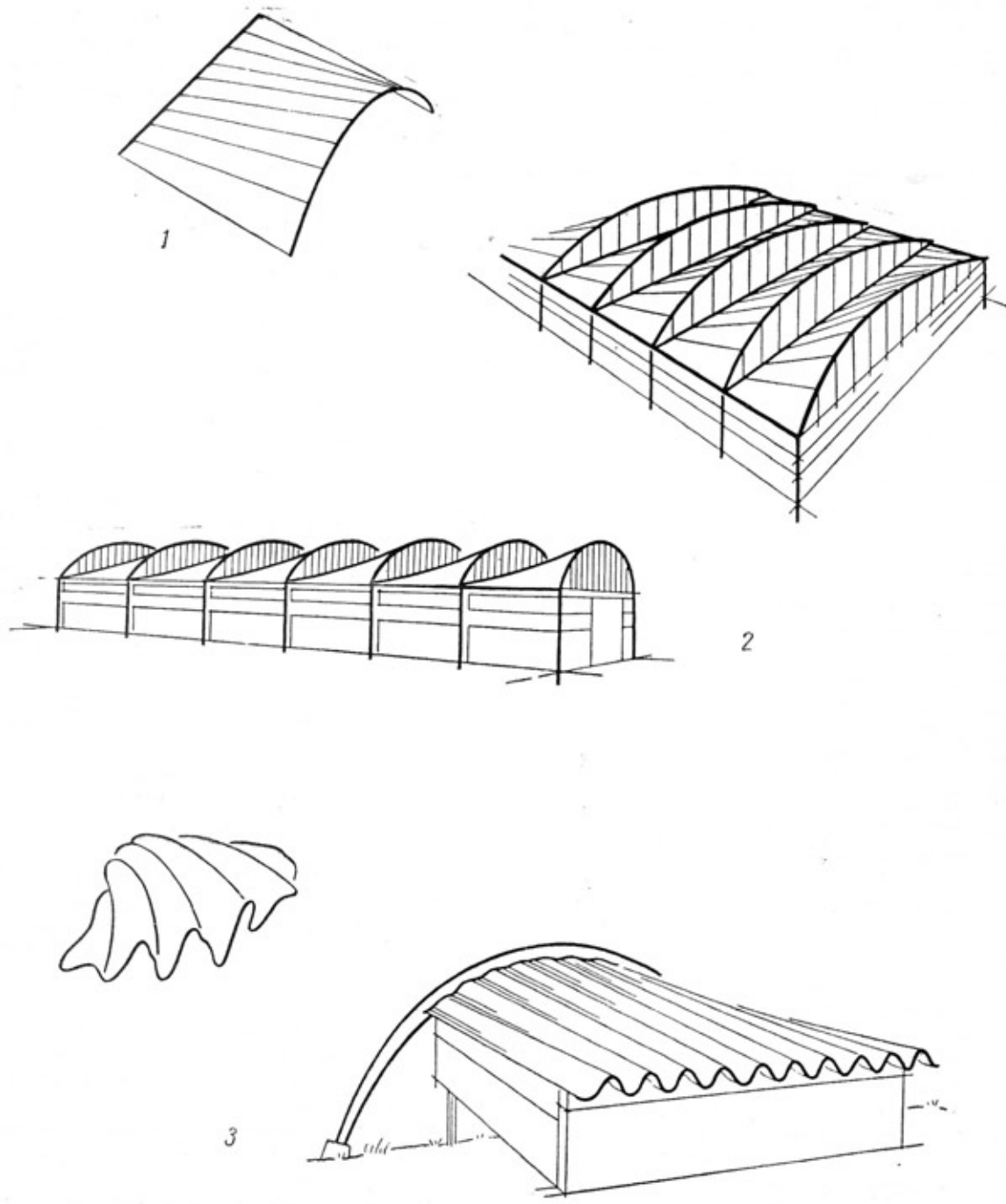


Рис. 174. Коноиды

1. Коноид получается, когда образующая прямая одним концом перемещается по кривой, а другим по прямой;
2. Промышленные здания с коноидальными покрытиями.
3. Жилый дом, кровля которого подобно раковине, сконструирована в виде коноидов противоположного направления.
Арх. Накашима, инж. Сальвадори



ФОТО 28. Козырек перед зданием секретариата ЮНЕСКО в Париже. Архитекторы
Брейер, Церфусс, инж. Нерви

4. Полностью или частично криволинейно ограниченные элементы г. п.

5. Комбинация криволинейно ограниченных секций.

Придерживаясь этой классификации, мы рассмотрим формы и конструкции построенных и проектируемых сооружений.

Для университета в Мехико-Сити Кандела построил небольшой павильон для исследования космических лучей (рис. 176). Толщина железобетонной оболочки равна приблизительно 1,5 см при пролете здания 10 м. Такая толщина оболочки была принята соответственно заданию в целях обеспечения возможно более легкого проникания лучей. Павильон имеет седловидную форму, торцы которой ограничены параболами (см. рис. 175). Благодаря тому, что образующими этих поверхностей являются прямые линии, легко изготовить опалубку из досок и брусев. Торцовые стены имеют волнообразную поверхность, в результате чего они обладают требуемой жесткостью. Оболочки опираются на торцовые стены и промежуточное ребро жесткости. Последнее могло и не быть, так как грань на стыке двух поверхностей г. п. была бы достаточно жесткой. Выступ оболочки над торцами и свес нижних краев оболочки, а также провисающая форма г. п. отражают равновесие внутренних сил в тонкой железобетонной оболочке. Провисающая арматурная сетка в сочетании с бетоном создает конструкцию, обладающую той пространственной жесткостью, которая свойственна только оболочкам двоякой кривизны. Поверхность г. п. двоякой кривизны, изогнутая в противоположные стороны, обладает сильной выразительностью. В маленьком павильоне очень удачно представлен г. п., ограниченный параболическими торцами.

Рассмотрим ограниченную прямыми линиями основную форму середины седловидной поверхности. Поверхность, выгнутая в двух противоположных направлениях, создает весьма удачное распределение внутренних усилий сжатия и растяжения, экономично обеспечивая равновесие при любой нагрузке. Правильно армированная оболочка может в любом месте воспринять усилия сжатия и растяжения любого направления, действующие по касательной к кривизне оболочки. Оболочку целесообразно опирать в ее обеих наиболее низких точках. Для передачи усилий от собственного веса прекрасно служат выпуклые книзу («висячие») параболы, воспринимающие усилия растяжения, и выпуклые вверх («стоячие») параболы, воспринимающие усилия сжатия. Следует добавить, что очертание параболы хорошо совпадает с кривой давления или линией провисающей цепи. Поэтому направление действующих

усилий редко отклоняется от параболической кривизны оболочки.

Допустим, что нагрузка прежде всего передается по узким параболическим аркам в направлении к прямолинейным краям, где она создает равнодействующее усилие сжатия D . Предположим, что последнее разлагается на усилие сжатия D , вдоль борта по направлению к опоре и на усилие растяжения Z , действующее по касательной к висячей параболе. Это усилие растяжения натягивает кровлю и разгружает другие арки (рис. 177.4). Предположим наоборот, что нагрузка прежде всего передается в направлении висячих парабол как усилие растяжения и, доходя до прямолинейных бортов, вновь разлагается на усилие сжатия D , вдоль борта в сторону опоры и на другое усилие сжатия D в направлении параболической арки. Эта сила D давит снизу в направлении касательной к своду кровли и тем самым разгружает «висячие» параболы. Оба процесса происходят одновременно и дополняют друг друга. Тенденция к отклонению любой частицы изогнутой поверхности вызывает противодействие соответствующей силы в направлении обратной кривизны. Остаются только равнодействующие усилия сжатия D , вдоль краев. Они должны концентрироваться в краевом элементе оболочки, устойчивом против усилий сдвига, который отводит их к опоре. Там они сталкиваются с усилиями противоположного краевого элемента и создают равнодействующую силу R на опоре, направленную по касательной к оболочке. При такой основной форме краевые элементы подвергаются воздействию только лишь усилий сжатия. Соответственно усилиям сжатия, возрастающим по направлению к опорам оболочки, должна также возрастать и ее несущая способность, что вызывает необходимость утолщения краевых элементов по направлению к низу. Незначительные изгибающие моменты появляются теоретически только от собственного веса краевых элементов. Они не определяют его форму. В противоположность функции ребер жесткости и диафрагм у оболочек, изогнутых относительно одной оси, краевой элемент не предназначен для сохранения формы оболочки. Конструкции двоякой кривизны являются жесткими сами по себе, если только предусмотрено их правильное опирание. Оболочка подобно своду передает на опоры распорные усилия. Опоры должны быть несмещаемыми в боковом направлении или связаны друг с другом затяжкой. Форма опор и их наклон позволяют выявить распределение действующих усилий.

Геометрические свойства гиперболического параболоида допускают применение дерева в качестве строительного материала. Его удобно

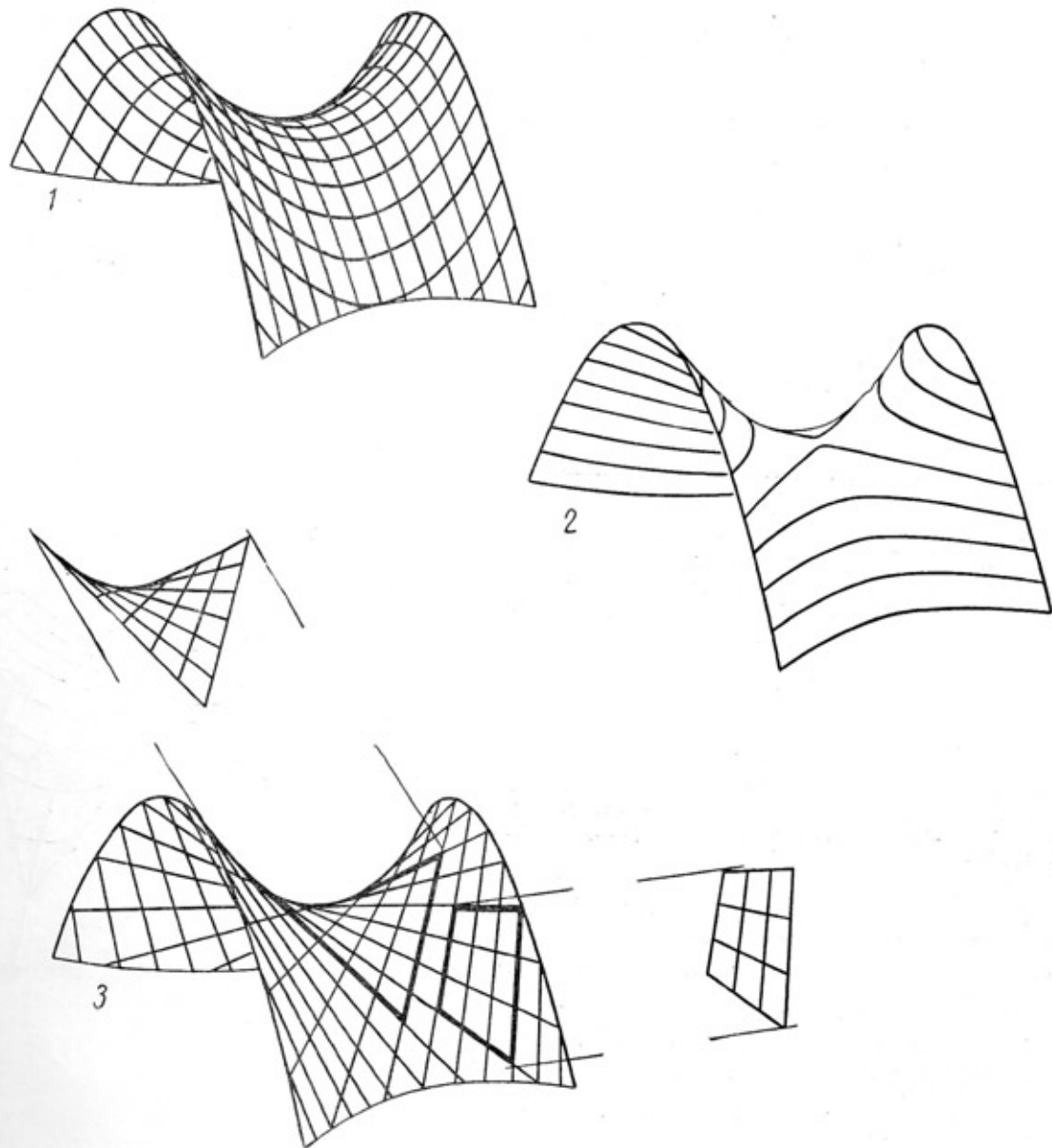


Рис. 175. Гиперболический параболоид..

1. Ряд одинаковых парабол, подвешенных между двумя вертикальными параболой, образует седловидную поверхность гиперболического параболоида. В нее вписывается ряд одинаковых стоячих парабол поперек к «висячим» параболой
2. Горизонтальные разрезы дают гиперболы
3. Седловидная поверхность гиперболического параболоида имеет две группы прямых линий. Они позволяют выделить из гиперболического параболоида косые поверхности двойной кривизны, которые могут быть ограничены четырьмя прямыми линиями

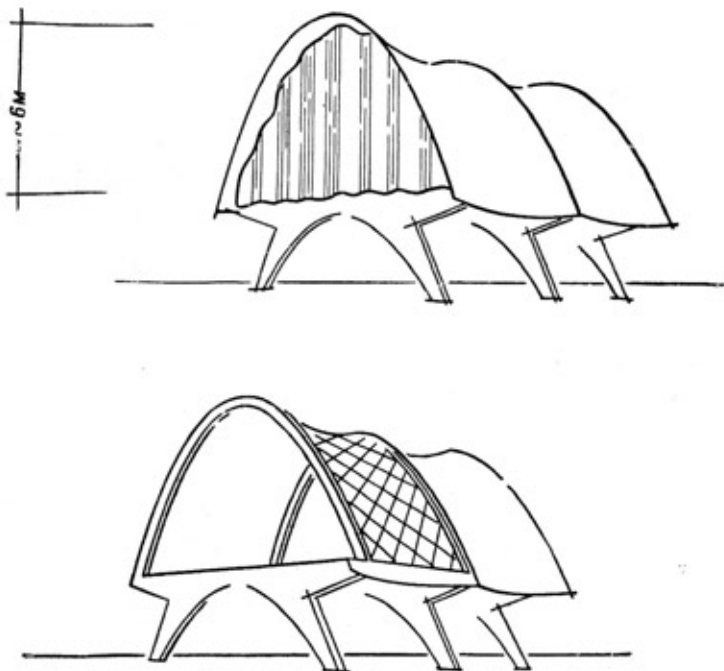


Рис. 176. Университет в Мехико. Павильон для исследования космических лучей. Инж. Кандела. Поверхности оболочки двойной кривизны созданы двумя пересекающимися слоями прямолинейных брусьев и досок

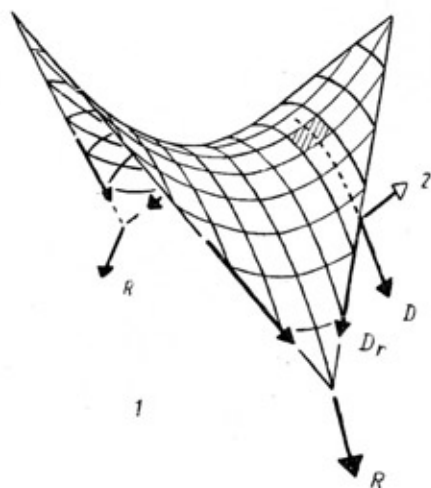
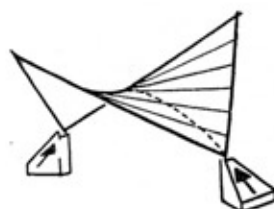
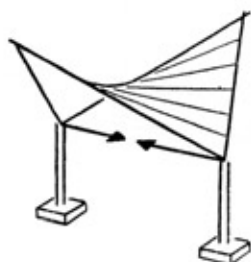
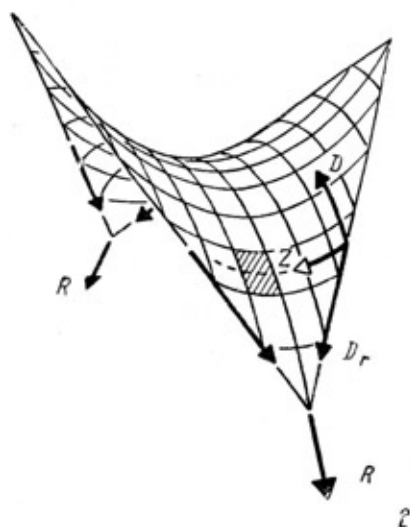


Рис. 177. Распределение внутренних усилий в поверхности гиперболических параболоидов с прямыми краями при вертикальной равномерно распределенной нагрузке

1. В направлении вертикальных стоячих парабол образуются сжатые арки. Равнодействующую силу D сжатой арки можно разложить по краю на силу сжатия D_r , которая параллельна краю арки, и на силу растяжения Z , которая является касательной к «висячей» параболе
2. Наоборот, края висячих парабол подвергаются действию силы растяжения Z . Эта сила может быть разложена на силу сжатия D_r , параллельную краю, и на другую силу сжатия D , направленную по касательной к сжатым параболом
3. Действующие в точках опоры крайние силы D_r соединяются, образуя равнодействующую силу R , являющуюся касательной к поверхности гиперболического параболоида. Для восприятия этих результирующих сил необходимо предусмотреть наклонные опоры или затяжки. В другом направлении конструкция неустойчива



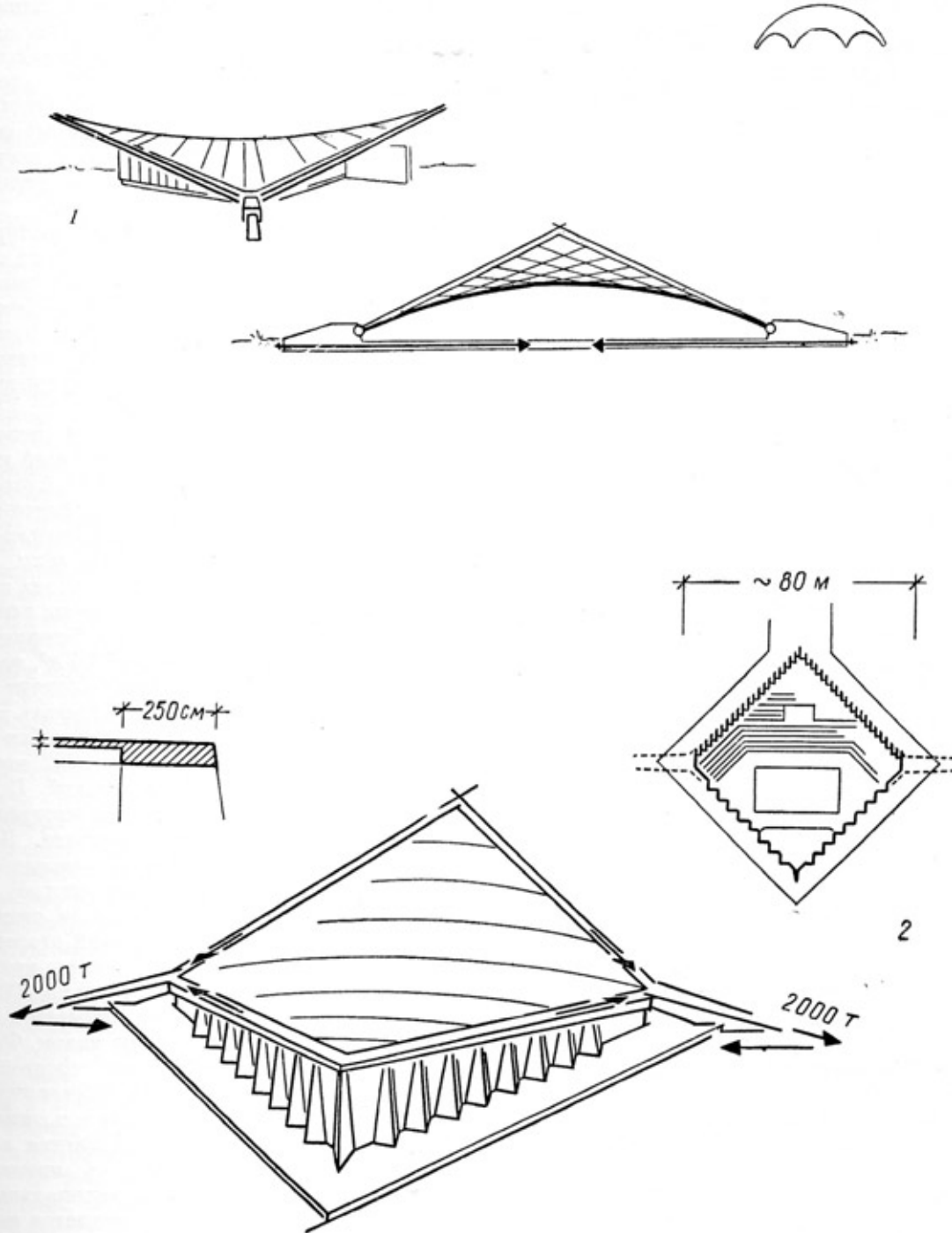
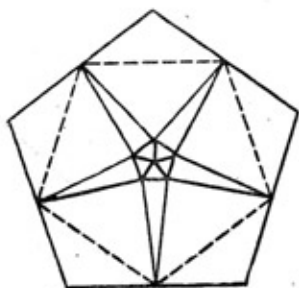
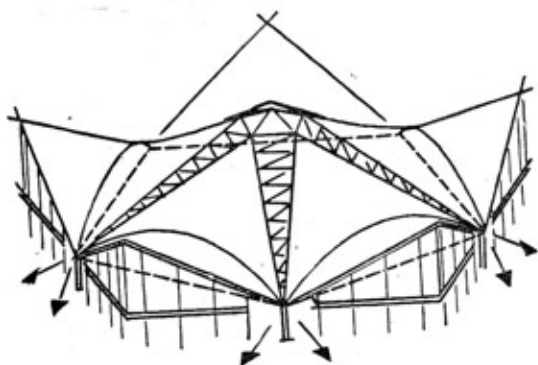


Рис. 178. Вырезы сечения из середины седловидной части г.п., ограниченные прямыми краями

1. Жилой дом архитектора Каталано. Деревянное покрытие из трех слоев досок, скрепленных гвоздями. Сечение гиперболического параболоида симметрично в отношении двух осей.
2. Зал конгрессов в Шицуока, Япония. План квадратный, симметричный в отношении двух осей. Архитекторы Кензо Танге и И. Тсубой



1



2

Рис. 179. Комбинация из нескольких секций гиперболического параболоида с прямолинейными краями

1. Деревянное экспериментальное покрытие Канзасского университета США (гвоздевая дощатая конструкция)
2. Женская школа в Лондоне. Пять седлообразных секций гиперболического параболоида в форме бумажного змея, отделенных друг от друга световыми фонарями и стянутых общей затяжкой в пятиугольник

использовать не только в направлении прямолинейных образующих. Доски легко изгибаются также и в направлении параболы. Архитектор Каталано применил основную симметричную форму середины седловидного элемента для устройства деревянной кровли над своим жилым

домом (рис. 178). Конструкция крыши состоит из трех слоев досок, скрепленных гвоздями. Два слоя расположены в направлении действующих усилий сжатия и один слой в направлении «висячих» парабол, т. е. в направлении усилий растяжения. Краевые элементы выполнены из стали. Они упираются в бетонные опоры, которые стягиваются затяжками, проложенными под полом.

В конструкциях оболочек с поверхностью двойной кривизны, вырезанной не из середины седловидного элемента, распределение усилий существенно не меняется. С их применением получают несимметричные конструкции, которые в каждом отдельном случае выполняют соответствующие функции и могут иметь повышенную выразительность форм.

В Шицуока (рис. 178.2) г. п. перекрывает помещение зала совещаний, который представляет собой в плане квадрат с длиной сторон свыше 50 м. При таком большом пролете и значительном собственном весе (одна только железобетонная оболочка имеет толщину 18 см) равнодействующая краевого элемента достигает 1400 т. Для восприятия такой силы необходимо иметь площадь сечения железобетонного краевого элемента приблизительно $1,4 \text{ м}^2$, весом 3,3 т на 1 пог. м. Такой краевой элемент должен иметь опоры. Его нельзя подвешивать к оболочке, так как вес его вызывает изгибающие моменты, которые слишком велики, чтобы они могли быть восприняты оболочкой. Поэтому в данном проекте на первый план выступает проблема опирания краевого элемента. Для этой цели были предложены стена складчатой конструкции, ограждающая пространство с одной стороны, и остоженная бетонная стена, ограждающая пространство с другой стороны. Равнодействующая косо направленных усилий распора в пяте равна приблизительно 2000 т. Горизонтальный распор воспринимается мощной затяжкой, расположенной под полом. Форма покрытия соответствует наиболее простой двусторонне-симметричной секции, вырезанной из середины седловидного элемента г. п., имеющей в плане квадратную форму. Создается впечатление, что архитектору удалось придать этой своеобразной форме здания национальные черты японской архитектуры. Это является новым доказательством того, насколько многообразны в архитектурном отношении возможности применения конструкции г. п.

Прямолинейно ограниченные секции г. п. могут быть скомбинированы друг с другом различным образом.

Наиболее простой комбинацией являются две рядом расположенные основные формы. Каждая из них передает свою нагрузку на со-

ответствующую опору под некоторым углом. Два смежных крайних элемента находятся в равных условиях нагрузки, благодаря чему вдоль линии стыка не действуют какие-либо усилия, но при соприкосновении двух г. п. поверхностей достигается устойчивость. В этом случае вся конструкция в целом покоится не на двух, а на трех точках опоры (рис. 179.1). Так, последовательно можно соединить любое количество элементов.

В конструкции здания женской школы в Лондоне (рис. 179.2) были соединены в одно целое пять основных элементов г. п. Эти пять элементов работают как отдельные оболочки по схеме, представленной на рис. 177. Самостоятельность их работы архитектурно подчеркивается световыми полосами, которые отделяют один элемент от другого. Оболочка толщиной 5 см изготовлена способом торкретирования, причем слой раствора наносился снизу на сетку из тросов, покрытую сверху слоем теплоизоляционного материала. Пять вертикальных опор воспринимают только вертикальные усилия, в то время как равнодействующие горизонтальные усилия сдвига воспринимаются затяжками, образующими форму пятиугольника и расположенными в междуэтажном перекрытии. К сожалению, в архитектуре здания не получили выражения огромные силы, воспринимаемые затяжками.

В вестибюле торгового предприятия в Денвере, штат Колорадо, США (рис. 180.1), четыре основных элемента так скомбинированы друг с другом, что усилия распора над центром здания взаимно уравновешиваются, а в углах силы распора воспринимаются наклонными опорами, передающими усилия на фундаменты.

Аналогичная конструкция применяется в промышленных зданиях, где горизонтальные усилия сдвига воспринимаются затяжками. Опоры воспринимают только вертикальную нагрузку. Кандела применил очень остроумную конструктивную схему в здании лаборатории Ледерли в Мехико (рис. 180.4), благодаря которой удалось уравновесить горизонтальные усилия распора непосредственно в самой конструкции. В результате отпала необходимость в наклонных опорах или устройствах затяжек для восприятия этих усилий. Горизонтальные силы распора, проходящие через вершины опор, попарно уравновешиваются, так как опоры, находящиеся на противоположных сторонах здания, связаны между собой вдоль горизонтальных желобов. Четыре опоры воспринимают только вертикальную нагрузку. Внутреннее уравновешивание горизонтальных усилий сообщает конструкции легкость. В противоположность этому конструкция, в которой возникают

усилия распора, всегда крепко связана с нижней частью сооружения.

Если перевернуть четыре элемента так, что наружные углы опускаются, а середина поднимается, то получается зонтообразная крыша, которая опирается на единственную опору (рис. 181.1). Силы распора каждой пары расположенных рядом элементов создают равнодействующую силу в направлении общего краевого элемента, которая передается к вершине кровли как сила растяжения. Четыре горизонтальные составляющие взаимно уравновешиваются, остается равнодействующая вертикальная сила, приходящаяся на опору. Она равна общей нагрузке покрытия.

Барони построил такие покрытия из железобетона для рынка в Касерта (рис. 181.1). Такие же покрытия возведены им из алюминия. Ввиду того что все сегменты квадратной формы в плане равны между собой, стало возможным элементы алюминиевой зонтообразной конструкции транспортировать в пакете, состоящем из четырех сборных деталей, занимающих не более $\frac{1}{4}$ площади крыши.

Если перевернуть зонт, то получается воронка. Диагонально направленные усилия распора воспринимаются как усилия растяжения в наружных краевых элементах. В середине горизонтальные составляющие взаимно уравновешиваются, а вертикальные составляющие вызывают опорную реакцию, которая также равна общей нагрузке кровли. Кандела скомбинировал из этих форм покрытие шедовой конструкции для одного торгового здания в Мехико (рис. 181.2). Если учесть, что каждый несимметричный выпнутый четырехугольник окаймляет элемент г. п., обладающий всеми свойствами конструкции оболочки двоякой кривизны, то легко представить себе, какое безграничное количество комбинаций форм можно получить при помощи такого рода секторов. Причем ограниченный прямыми линиями четырехугольник является относительно простой формой. Позже мы увидим, что если не ограничиться г. п. с прямолинейными краями, то многообразие форм увеличится в еще большей степени.

Применение гиперболического параболоида уже много лет обсуждается в технической литературе всего мира, но до сих пор только немногие архитекторы дерзнули использовать его как архитектурный элемент, т. е. придать ему большее чем чисто инженерное значение.

Кандела совместно с де ла Мора построил церковь в Мехико (рис. 182), общая структура которой, включая крышу, стены и опоры, состоит из элементов г. п., окаймленных прямыми линиями. Внимательный наблюдатель обнаружит, что здесь имеет место гениальная комбина-

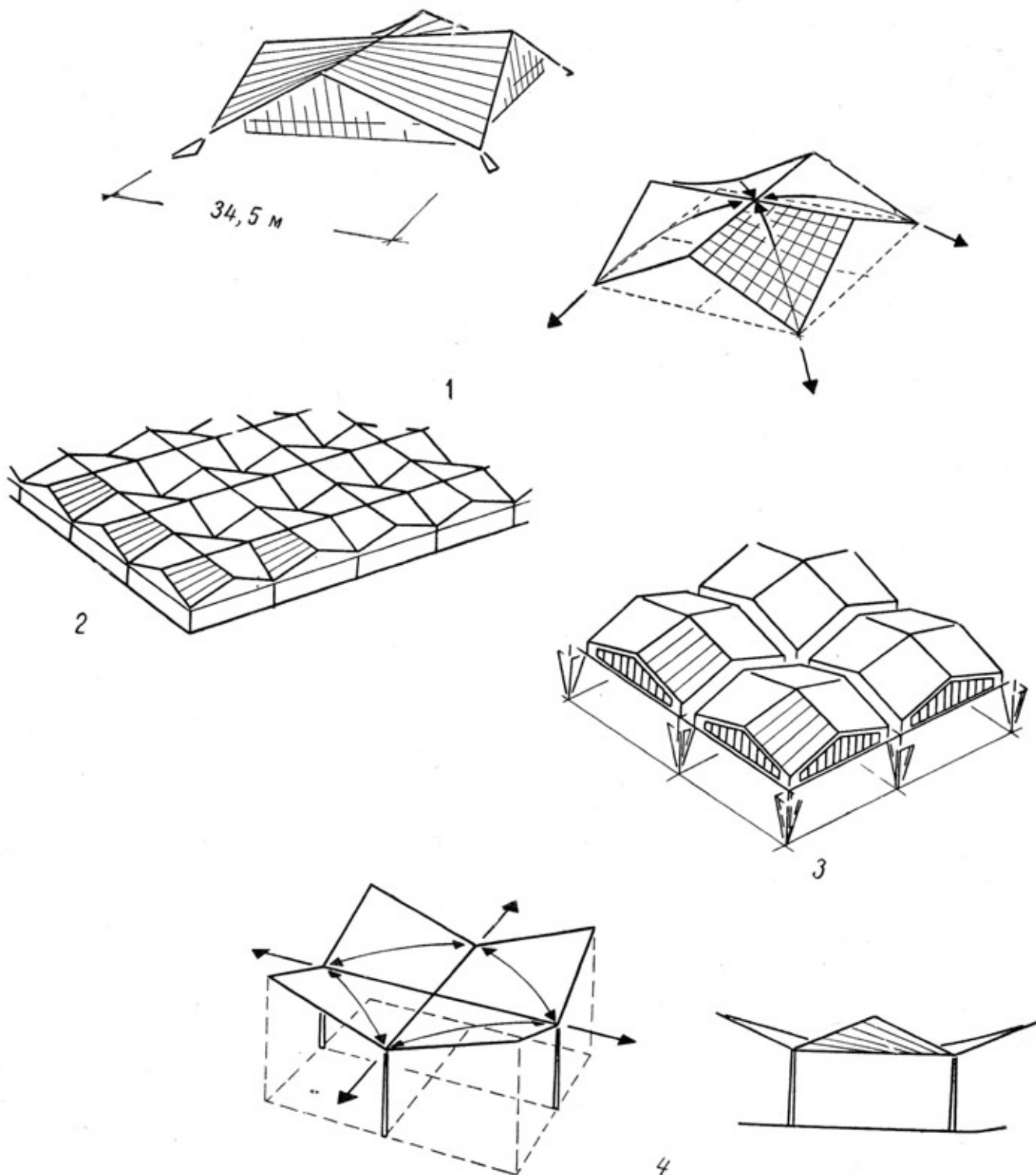


Рис. 180. Четыре комбинации из секций гиперболического параболоида, имеющих в плане квадратное очертание и опирающихся на четыре стойки

1. Вестибюль Торгового дома в Денвере (штат Колорадо, США)
2. Промышленное сооружение в Далласе (штат Техас, США)
3. Промышленное сооружение в Хердес, Мексика
4. Лаборатория Ледерли, Мехико. Инж. Кандела. Система состоит из четырех частей, все усилия сдвига уравниваются внутри покрытия. На четыре колонны действуют только вертикальные силы

ция геометрических фигур, в результате чего возникло богатство выразительных форм. Кандела считает, что архитектура начинается только с момента применения оболочек в строительстве. Он говорит, что если назначением архитектуры является создание помещений, то, учитывая возможности, открывающиеся со строительством оболочек, античное зодчество нельзя назвать настоящей архитектурой, а только лишь пластикой.

На примере здания церкви Кандела показал одну из многих возможностей формообразования архитектурных сооружений из г. п. оболочек.

В 1958 г. Ле Корбюзье на Международной выставке в Брюсселе был построен павильон фирмы «Филипс» (рис. 183 и фотография 29). В оценке данного сооружения мнения резко расходятся. Один из самых видных архитекторов нашей эпохи Ле Корбюзье воспользовался строгими законами геометрии г. п. для того, чтобы осуществить проект павильона из сочетания элементов произвольных форм. В павильоне фирмы «Филипс» стены в виде широких полотнищ, как у палатки, свисают до земли. Острые вершины как бы подперты палаточными стойками, направленными в различные стороны. Асимметричность доведена до крайней степени. В отличие от церкви в Мехико, где конструкция бетонная монолитная, данный павильон сооружен из сборных элементов. Но это вопрос детального проектирования, который сегодня решается так, а завтра по-другому. Крупные формы церкви в Мехико и павильона фирмы «Филипс» являются результатом комбинаций из прямолинейно ограниченных элементов гиперболических параболоидов. Их формы нельзя отделить от конструкции. В принципе тектоника этих двух зданий имеет много общего. Павильон фирмы «Филипс» и здание церкви в Мехико принадлежат к наиболее интересным примерам новаторства в современной архитектуре. Их геометрическая структура в противоположность геометрии шара, цилиндра и конуса столь многообразна, что мы ее не воспринимаем как какое-то насилие, от которого архитектурная форма должна была бы освободиться. Наоборот, в данном случае геометрия даже обогащает строительные формы.

До сих пор мы говорили лишь о таких поверхностях г. п., которые ограничены прямыми линиями.

Если смотреть только на фасады павильона фирмы «Филипс», то создается впечатление, что они тоже относятся к этой группе. Все поверхности, возвышающиеся над землей, имеют прямолинейные края. Однако план павильона ограничен только кривыми линиями. Это зна-

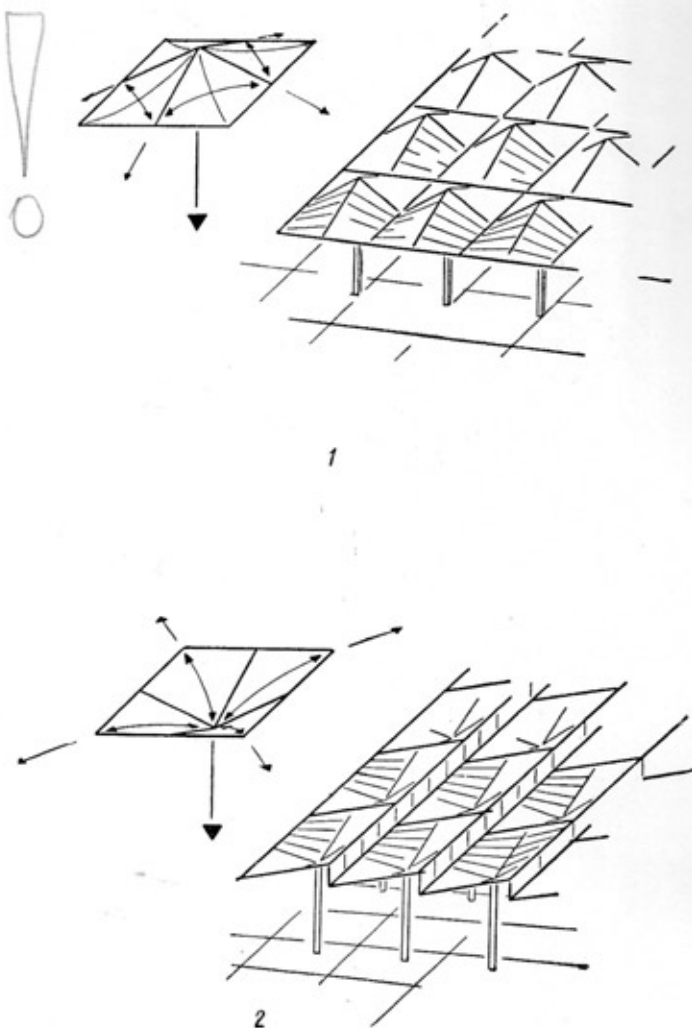


Рис. 181. Комбинация из четырех элементов, опирающихся на одну общую колонну

1. Рынок в Казерта, Италия. Инж. Барони
2. Магазины в Мехико. Инж. Кандела

чит, что поверхностям г. п. можно придавать также и криволинейные края. Как это отразится на вертикальной проекции и какие возможности из этого вытекают, мы увидим дальше.

Своеобразным признаком поверхностей г. п. является их противоположно направленная двойная кривизна. Такие поверхности получают в результате описанного выше движения прямых линий. Они поражают каждого, кто занимается этой геометрией и понимает ее. Поэтому нет ничего удивительного в том, что прямая образующая, являясь в известном смысле определяющей форму элементов большинства построенных до настоящего времени оболочек

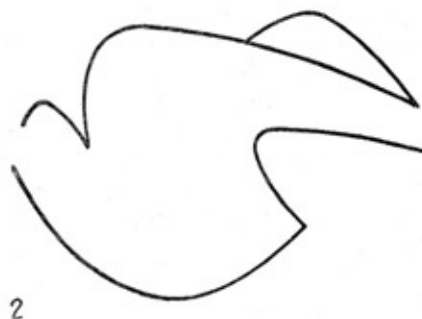
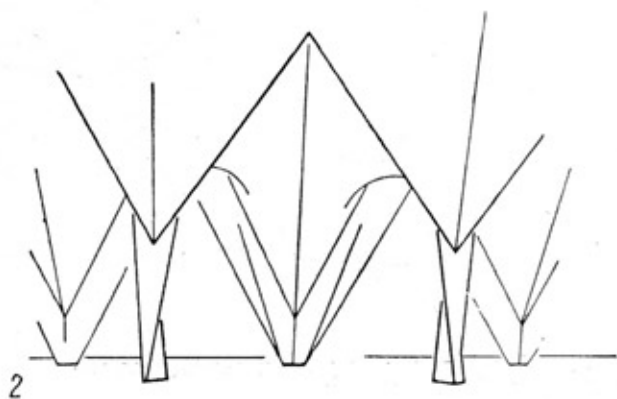
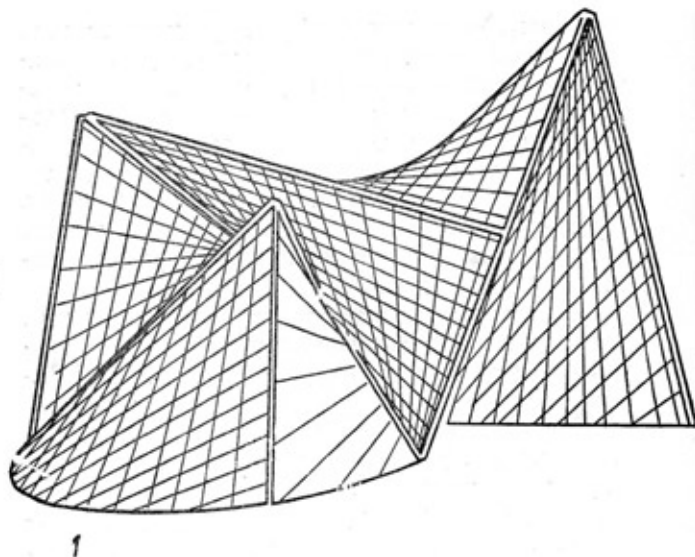
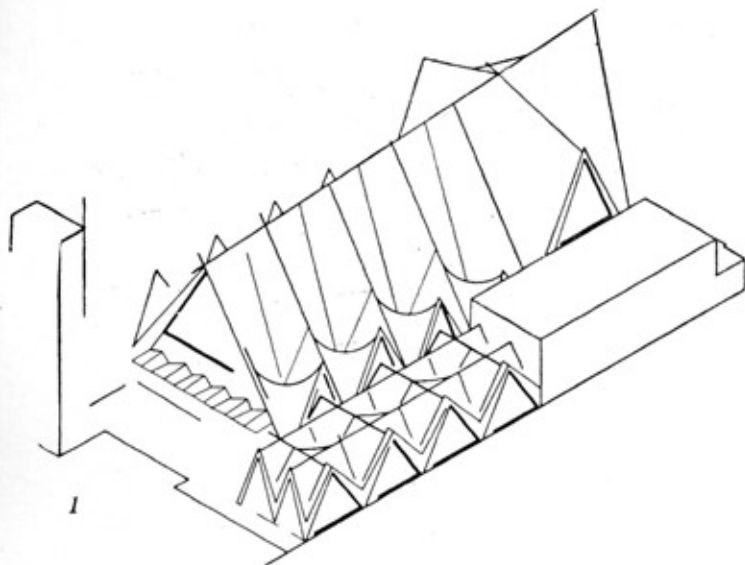


Рис. 183. Павильон фирмы «Филиппс» на Международной выставке в Брюсселе. Арх. Ле Корбюзье

1. Все строение состоит из поверхностей гиперболических параболоидов с прямолинейными краями
2. План имеет криволинейное очертание. Те же поверхности гиперболических параболоидов, которые в ортогонали имеют прямолинейные края, у основания ограничены кривыми линиями

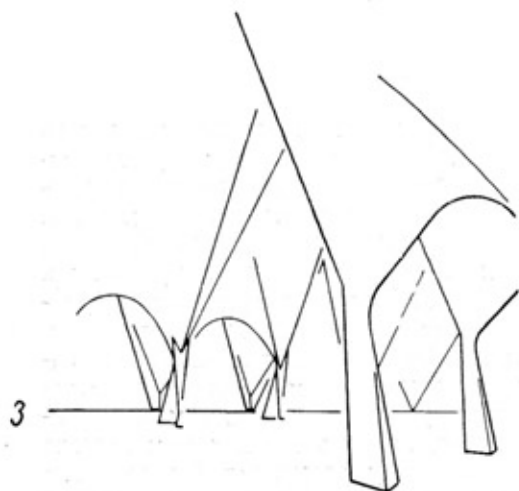


Рис. 182. Церковь де ля Виргин Милагроза в Мехико. Арх. де ля Мора, ниж. Кандела

1. Все без исключения поверхности покрытия состоят из поверхностей гиперболических параболоидов с прямолинейными краями
- 2 и 3. Внутри также видны только гиперболические параболоиды с прямолинейными краями. Даже опоры имеют поверхности гиперболических параболоидов. Видимые кривые не являются краями, а только силуэтами седловидных поверхностей

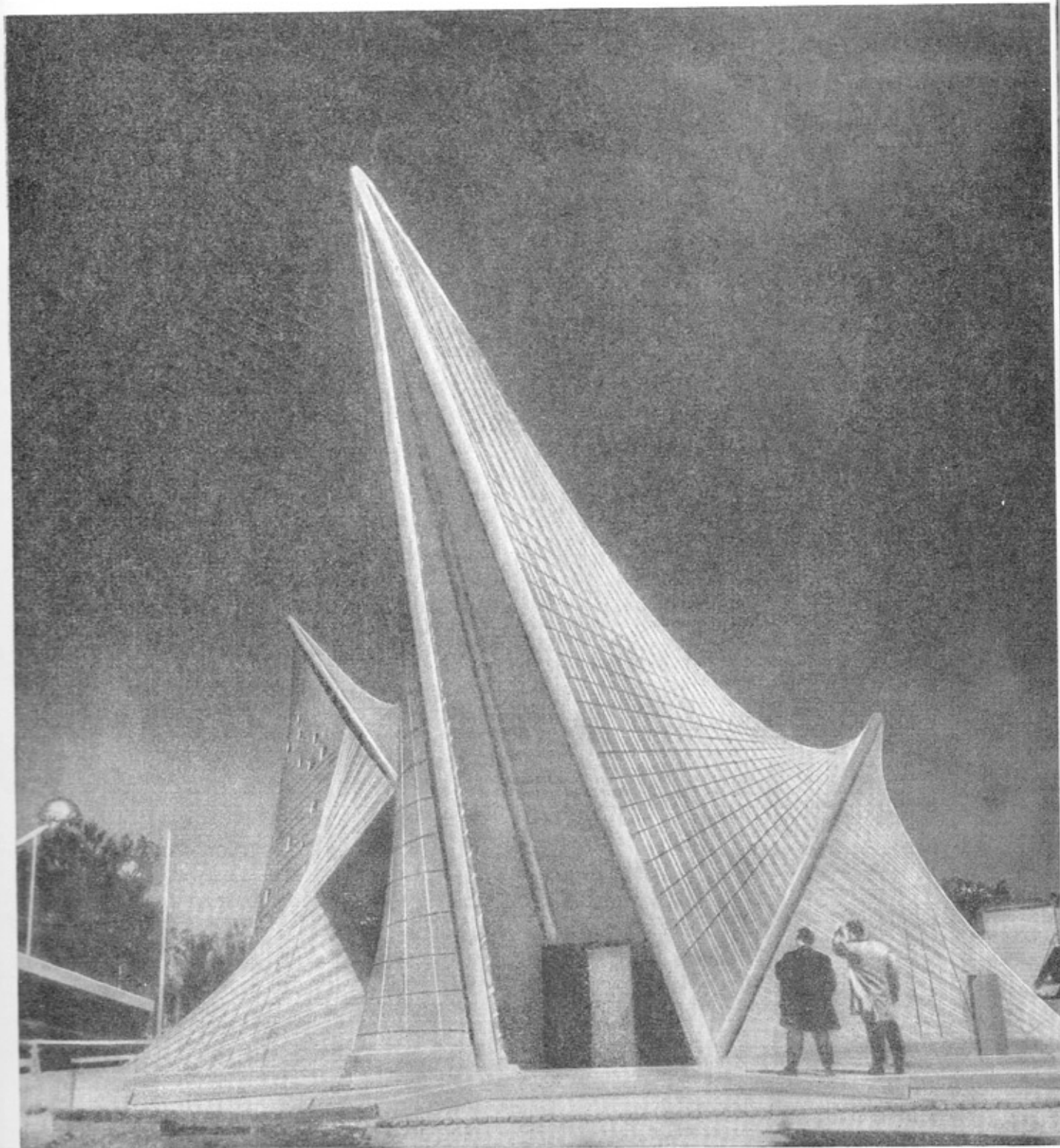


Фото 29. Павильон фирмы «Филипс» на Международной выставке в Брюсселе, 1958 г. Арх. Ле Корбюзье

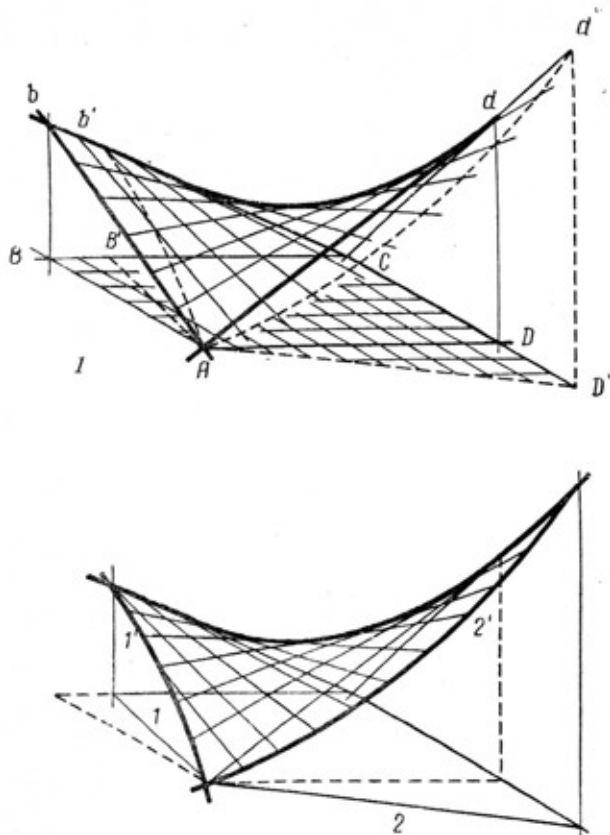


Рис. 184. Гиперболические параболоиды с криволинейными краями

1. Секция с прямолинейными краями, вырезанная из середины седловины ($ABCD$), симметрична по отношению к двум основным осям. Горизонтальная проекция представляет собой ромб ($ABCD$). Если повернуть стороны AB в положение AB' и AD в положение AD' , то в вертикальной проекции получаются изогнутые края (Ab' и Ad').
2. Над прямолинейными сторонами плана 1 и 2 поднимаются криволинейные края покрытия $1'$ и $2'$, кривые имеют выпуклое или вогнутое очертание в плане в зависимости от того, в какую сторону повернуты разрезающие плоскости 1 и 2 — внутрь прямоугольника или наружу от него

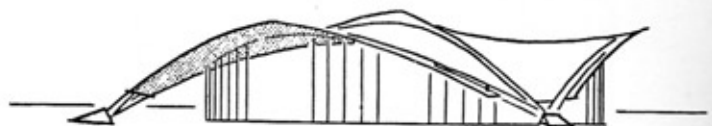
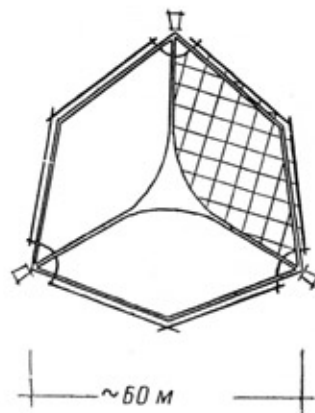
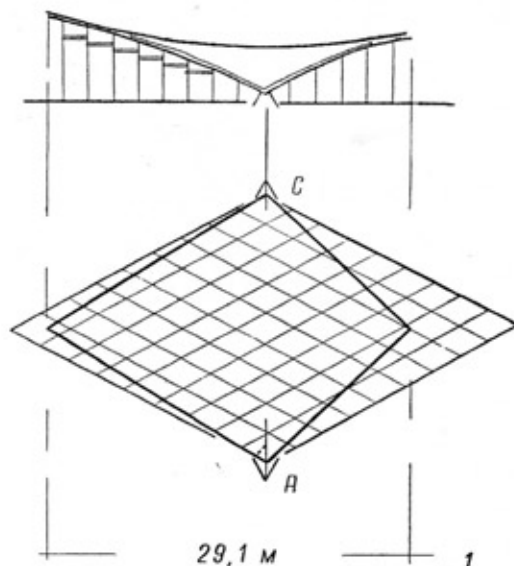


Рис. 185. Сооружения из гиперболических параболоидов с криволинейными краями

1. Информационный павильон в Брюсселе. На плане видно, что стороны его, начиная от точек A и C , повернуты внутрь прямоугольника. Соответственно этому края покрытия имеют выпуклое кверху криволинейное очертание
2. В проекте большого ресторана на пляже Лонг-Бич, штат Калифорния, США, инженеры Вейдлингер и Сальвадори скомбинировали три сегмента гиперболических параболоидов с криволинейными краями. Их криволинейное очертание благоприятствует передаче сил от собственного веса на опоры по принципу работы арки



типа г.п., сохраняет такое большое значение. Здания из подобных оболочек в большинстве случаев состоят из элементов г.п. с прямолинейными краями, а элементы с криволинейными краями применяются относительно редко, несмотря на то, что нет никаких оснований геометрического, статического или конструктивного порядка, которые исключали бы возможность их применения.

Решающее значение для архитектурной выразительности здания имеет его вид сбоку. Как «лягушачья перспектива», так и перспектива с птичьего полета имеют для восприятия архитектуры второстепенное значение. Форме здания в плане, которая видна при рассмотрении макетов сверху, обычно придается слишком большое значение. Наиболее важным является вид здания не сверху, а сбоку. В этом отношении геометрические формы г.п. очень выгодны.

Если изменить основную форму, изогнув одну из ее прямолинейных сторон в вертикальной плоскости, то сохраняется ее прямолинейность в горизонтальной проекции (рис. 184). В зависимости от направления кривизны эта дуга может принять характер провисающей или сводчатой кривой. Отсюда следует, что края покрытий, имеющих форму г.п., при плане, ограниченном прямыми линиями, могут иметь форму кровли с краями криволинейного очертания. Оптимальная кривизна этих кривых — параболическая. Выразительность покрытий и крыш такого типа может меняться в зависимости от степени кривизны и от ее направления. Фантазия проектировщика ничем не ограничена. Он может применять и другие секции, другие кривые для обрамления краев сооружения и комбинировать их по своему усмотрению. Использование криволинейных обрамлений оболочек в виде г.п. дает архитектору широкие возможности в поисках новых выразительных форм.

В центре Брюсселя находится информационный павильон, построенный в мае 1958 г. во время Международной выставки. Он имеет форму г.п. с криволинейными краями (рис. 185). Благодаря тому что рамы остекленных стен этого павильона имеют предварительное натяжение и работают на растяжение, деревянную конструкцию кровли данного павильона, по определению автора инж. Сарже, можно отнести к категории висячих кровель. Однако мы говорим об этом покрытии в главе, посвященной оболочкам, потому что его можно было бы выполнить как оболочку из железобетона или из дерева.

В данном случае нас интересует вопрос о криволинейных краях оболочек, получаемых, как это видно из плана, путем отгибания их

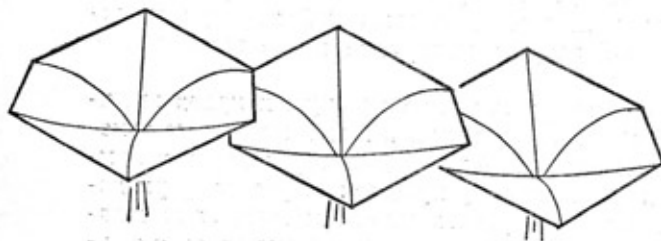
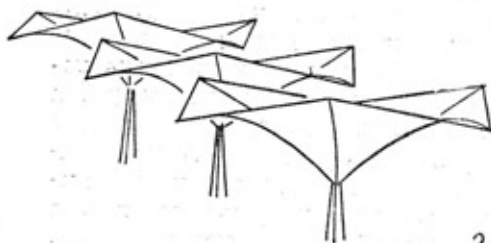
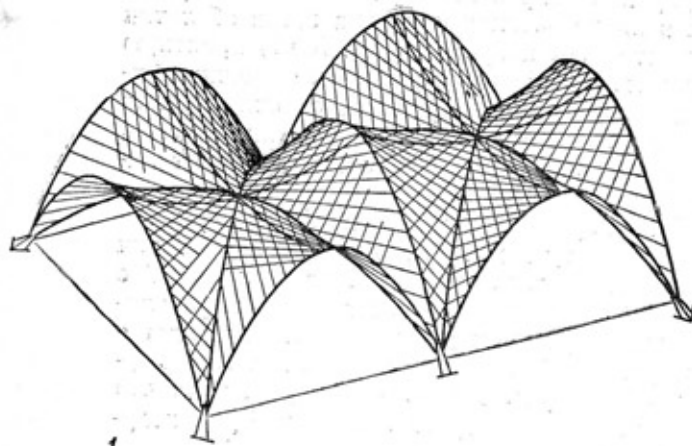
сверху при сохранении прямолинейной проекции в плане. Легкая кривизна краев оболочки придает форме покрытия (рис. 185.1) приятную мягкость. При больших размерах оболочки кривизна может быть оправдана с точки зрения статики. Работая в некоторой степени как свод, такая оболочка безмоментно воспринимает нагрузку краевого элемента.

Инженеры Вейдлингер и Сальвадори использовали ту же идею для создания оболочки из элементов г.п., состоящей из трех частей с прямолинейными границами в плане и криволинейным очертанием в ортогонали. Речь идет о ресторане на пляже в Лонг-Бич, шт. Калифорния, США (рис. 185.2). Несмотря на то, что перед нами только проект, последний уже получил мировое признание.

Отдельные элементы вырезаны слегка асимметрично из седловины средней части поверхности г.п., вследствие чего конек покрытия несколько выше, чем выступающие наружу свободные углы края оболочки. Все три слегка изогнутых стыка элементов кровли усилены ребрами, выступающими над поверхностью крыши. Их кривизна, также как кривизна наружных краев, выбрана такой, чтобы ребра работали как арки, передавая действующие усилия на опоры. При пролете 60 м собственный вес прямолинейных краевых элементов вызвал бы нежелательное напряжение изгиба (сравни зал совещаний в Шипуоке, рис. 178). Но изогнутые борта элементов передают на фундаменты свой собственный вес при минимальной затрате материала и без изгибающих моментов.

Благодаря наличию изогнутых краев внешний облик сооружения в художественном отношении выигрывает. Вейдлингер говорит в комментариях к этому проекту: «Красота форм достигается не средствами «косметики», а вытекает из сущности конструкции. Сама по себе форма является почти эapurой усилий, которые она должна воспринять. Форма не скульптура, которая создана архитектором и которой после этого инженер лишь придает необходимую устойчивость. Бортовые элементы вполне сознательно несколько отодвинуты от края оболочки для того, чтобы выявить изящность тонкой оболочки».

Комбинация сегментов г.п. всех видов — излюбленная тема для исследований. Разрабатываются весьма привлекательные макеты, печатаются роскошные фотографии, которые появляются в журналах. Ценность этих исследований вне сомнения. Они развивают способность пространственно мыслить; исследование возбуждает фантазию и расширяет знакомство молодого архитектора с основами геометрии и



статики, которые необходимы для того, чтобы правильно понять суть этих новых форм (рис. 186). Но мы не должны забывать, что от бумажных и деревянных макетов и от изображения их геометрических форм до реализации строительства оболочки в натуре еще очень далеко.

Хотелось бы обратить внимание на то, что формы зданий из г.п. оболочек хотя и значат очень многое, но далеко не все. Некоторые одаренные архитекторы-художники неохотно вникают в вопросы специфических свойств материалов, требований производства строительных работ и механики распределения усилий во взаимосвязи с формой. Но им придется заняться этими вопросами, если они хотят вывести свои художественные образы из абстрактного мира макетов и превратить их в реальные здания из оболочек. Это заставляет архитектора превращать чисто геометрические формы в тектоническую архитектурную форму.

Конкретные отработанные проекты нас интересуют гораздо больше, чем самые красивые макеты, но еще больше интересуют нас построенные здания. Кандела одним из первых создал такие архитектурные сооружения, о которых необходимо сказать. Он построил ночной клуб в Акапулько, Мексика (рис. 187.1 и фото 30) и ресторан в Ксохимилко, Мексика (рис. 187.2 и фото 31), в которых сегменты г. п. с криволинейными краями радиально примыкают друг к другу. В первом сооружении — три, во втором — восемь секций. Они так вырезаны из седловидной поверхности г.п., что заостренными концами могут сходиться в середине сооружения, но наружному контуру сектора самонесущие кровли имеют криволинейное очертание. В месте стыка элементов образуются очень жесткие ендовы, в которых сосредоточивается нагрузка. Последняя передается на ендовы как усилия свода вдоль параболических сечений или, по предположению Канделы, как чистые продольные усилия вдоль прямолинейной образующей внутри оболочки. Благодаря полной симметрии получаются результирующие усилия в направлении стыков. Ввиду того что ендовы над центром здания сходятся на нет, здесь получается гибкое соединение, обладающее свойствами шарнира. Поэтому каждые два стыка, расположенные друг против друга на одном диаметре, работают как трехшарнирная арка. Криволинейные края отдельных элементов вдоль стыков образуют дугу, приближающуюся к кривой давления трехшарнирной арки, благодаря чему возможно исключить изгибающие моменты.

Однако самым интересным в этом сооружении является торцовая кромка оболочки, кото-

Рис. 186. Геометрические модели

1. Предложение Канделы
2. Работа студентов
3. Работа школы Каталано



Фото 30. Ночной клуб в Акапулько, Мексика. Инж. Феликс Кандела

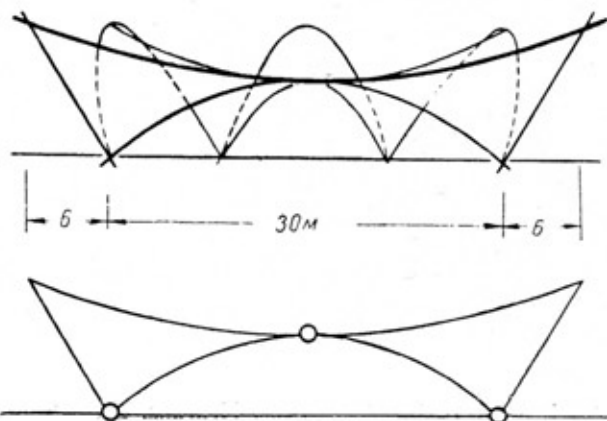
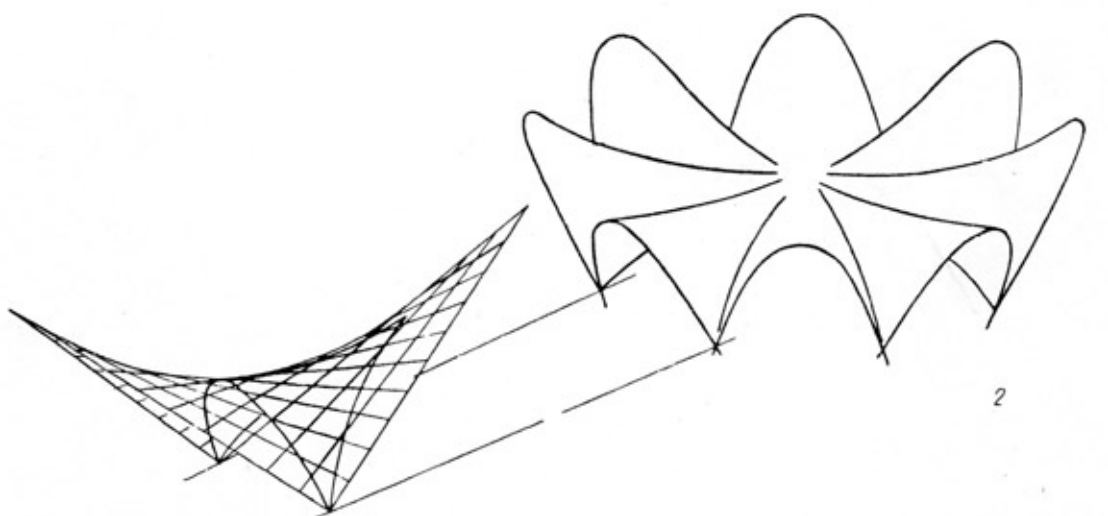
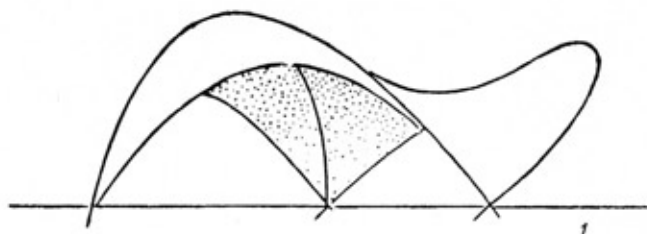


Рис. 187. Два сооружения Канделы

1. Ночной клуб в Акапулько, Мексика. Три секции гиперболических параболоидов (сравни с рис. 187,2) соединяются в одной точке. Снаружи видны их параболически изогнутые края
2. Ресторан в Ксехимилко, Мексика. Восемь секций в форме рожков образуют купольное покрытие. Разжелобки-ребра придают жесткость конструкции. По краям оболочки двойной кривизны не опираются на диафрагмы (сравни с рис. 150)

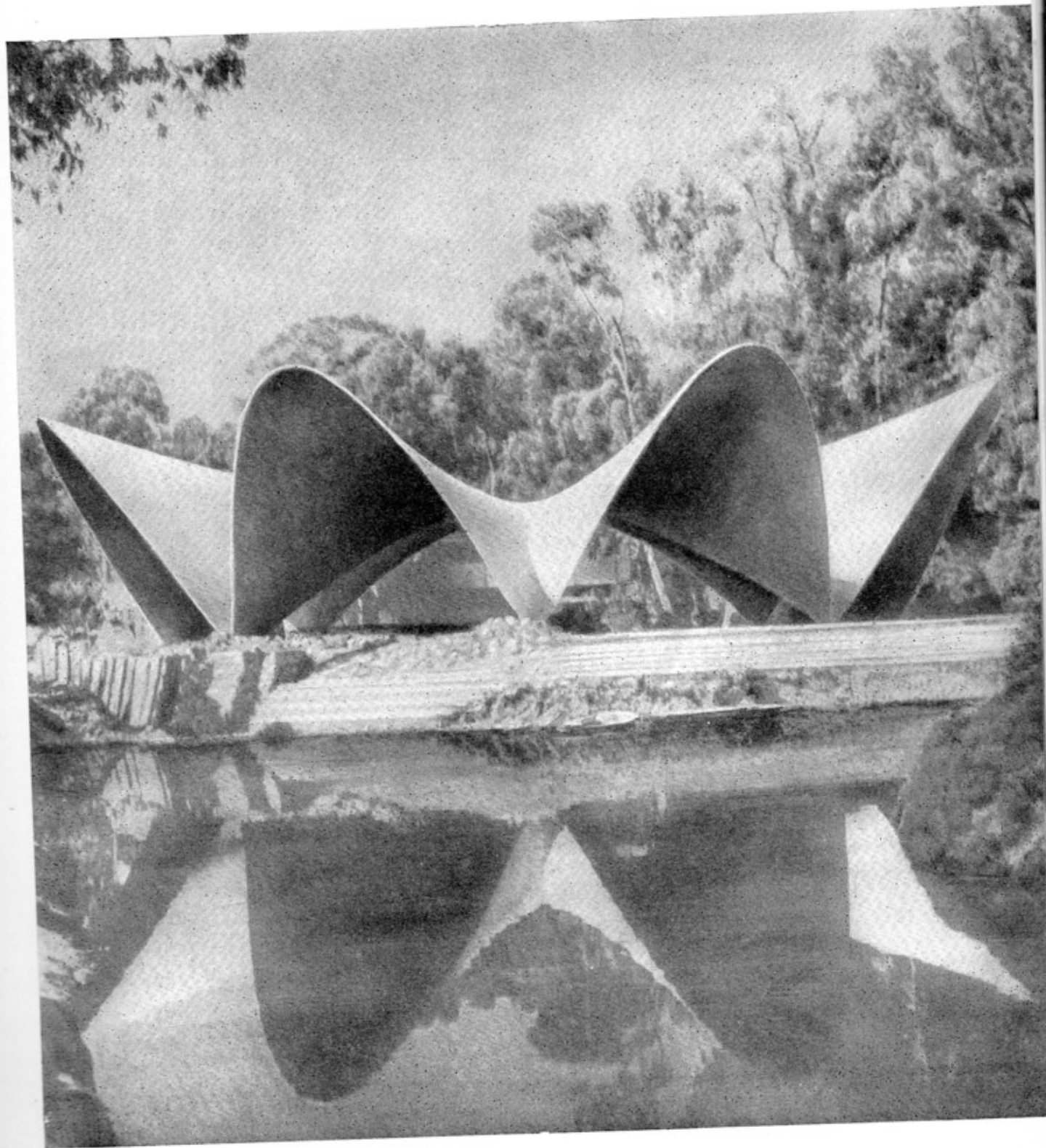


Фото 31. Ресторан в Ксехимилко, Мексика. Инж. Феликс Кандела

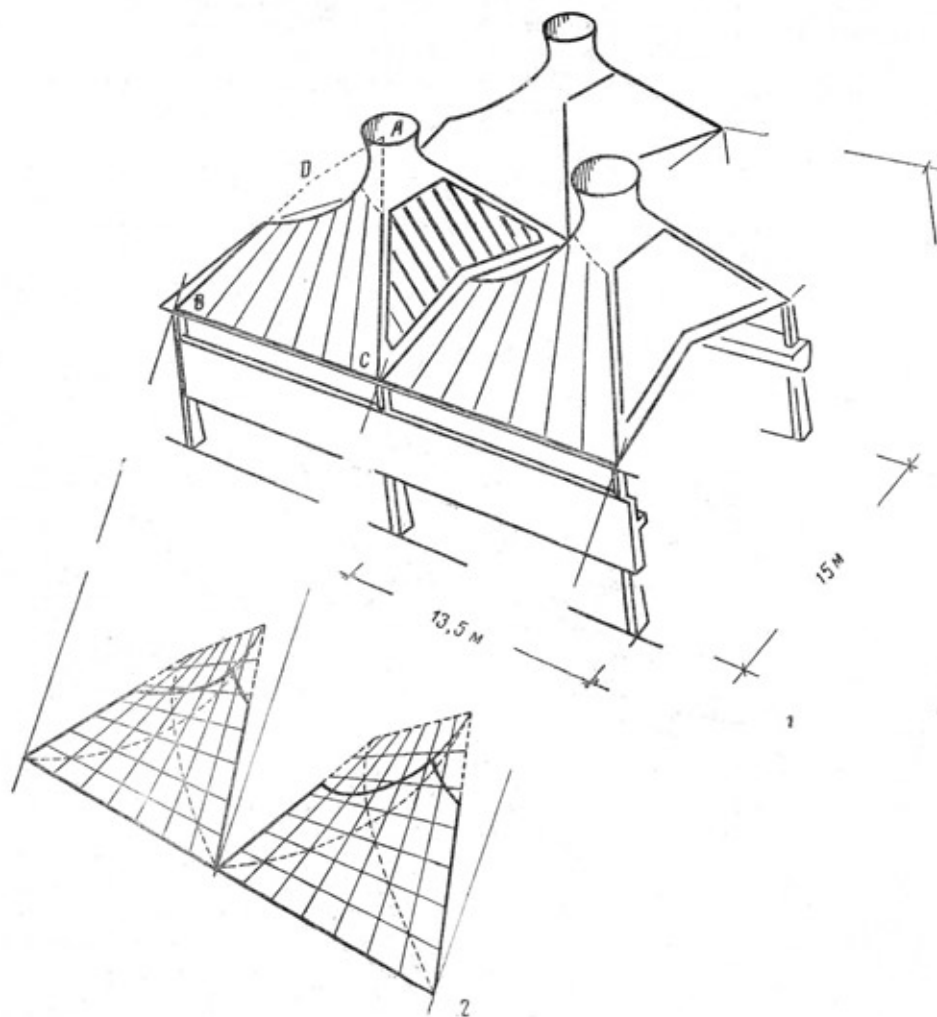
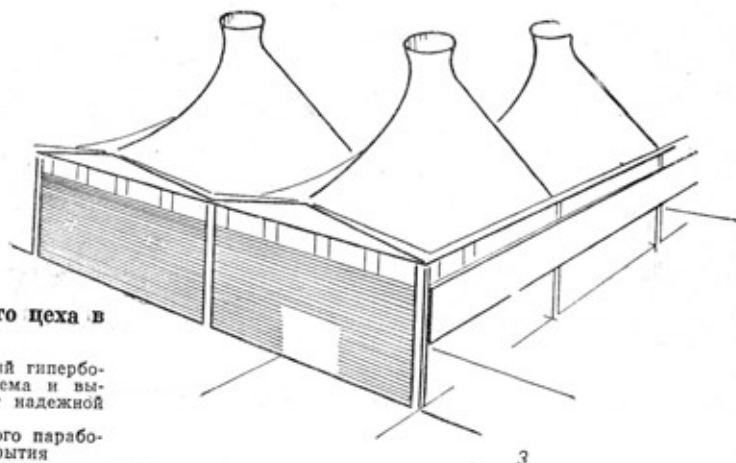


Рис. 188. Железобетонное покрытие литейного цеха в Лоре-на-Майне

- 1, 3. Покрытие состоит из двух симметричных секций гиперболического параболоида, плоско остекленного проема и вытяжной трубы. Форма покрытия способствует надежной естественной вентиляции
2. Схематическое изображение секций гиперболического параболоида, применяемых для данной конструкции покрытия



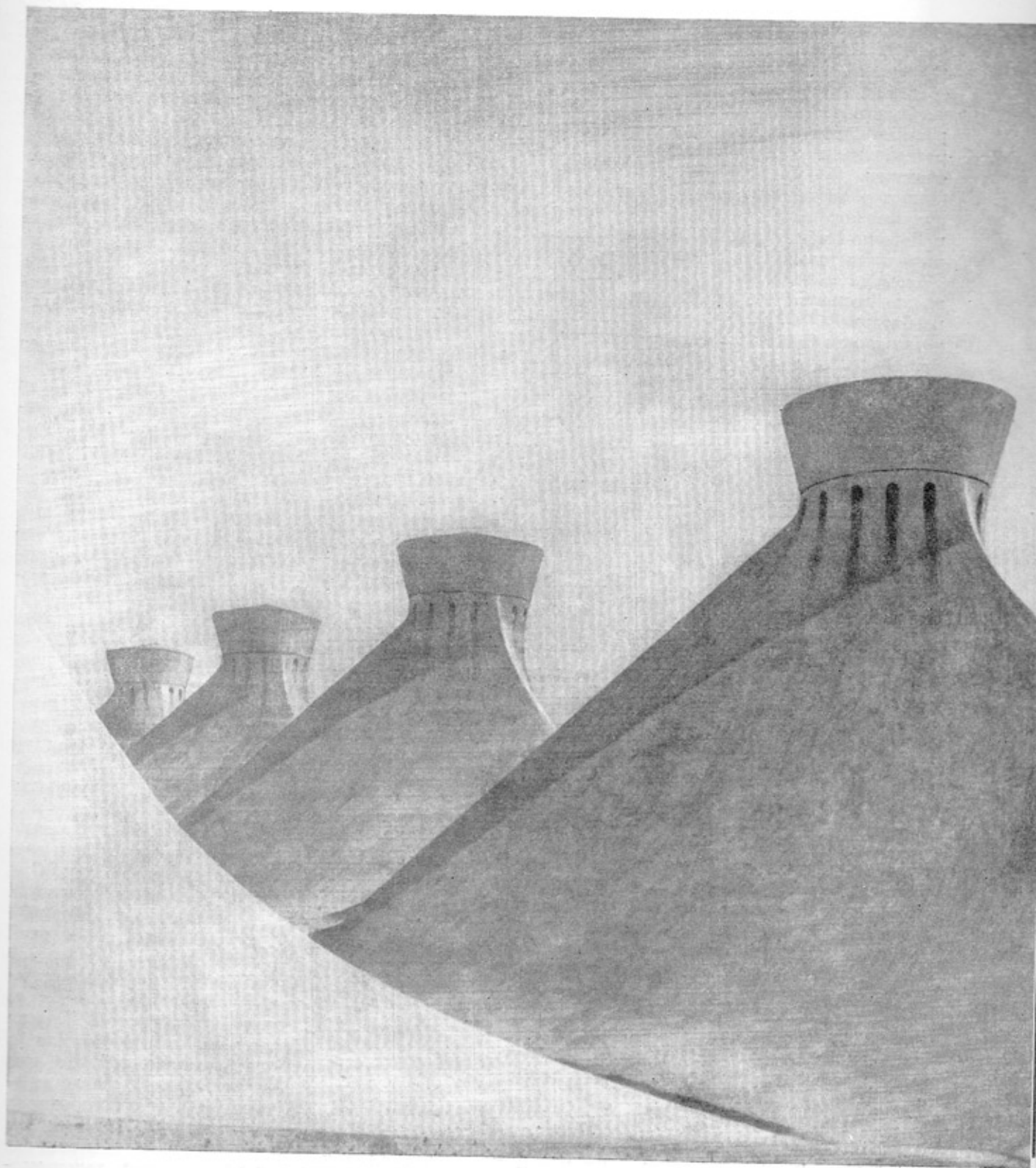


Фото 32. Покрытия из оболочек литейного цеха в Лоре-на-Майне

рая без утолщения бортов изящно изгибается кверху. Кандела видит в отказе от краевых (бортовых) элементов облагораживание формы оболочки. С его точки зрения, жесткость должна быть обеспечена ребрами-разжелобками пересекающихся оболочек, симметричностью их расположения и наличием двойной кривизны оболочек.

Автор настоящего труда разработал конструкцию покрытия для сталелитейного завода в Лоре-на-Майне (рис. 188 и фото 32), которая выполняет только чисто техническую функцию. Покрытие состоит из элементов г. п. с криволинейными сторонами. Для устранения дыма необходимо было применить естественную, по возможности более эффектную, вытяжку. Были применены два симметричных элемента г. п. При этом для каждого элемента были подобраны по два криволинейных и три прямолинейных края, которые так соединены между собой, что образуется постепенный переход к круглому вентиляционному колпаку. В результате над площадью $13,5 \times 15$ м был возведен шатер, состоящий из двух больших элементов г. п. и трубы для вентиляции, в который вмонтирована остекленная плоскость, необходимая для освещения цеха. Следует признать, что даже для такой специфической конструкции с успехом применяют элементы г. п.

В качестве исходного элемента для этой поверхности г. п. нельзя было, конечно, применить середину седловины г. п. и элементы г. п., ограниченные только прямыми краями.

На рис. 188.2 видно, как окончательная форма кровли выкроена из четырехугольного элемента гиперболического параболоида.

Произвольные формы

«Произвольные формы», зависящие от конструкции, — это звучит как парадокс. И все же рассматриваемые произвольные формы полностью зависят от конструкции. Формы, не обусловленные конструкцией, являются выражением художественной фантазии и находятся в резком противоречии с нашими взглядами, отстаиваемыми в данном труде. Итак, в чем заключается свобода «произвольных форм», если они подчиняются законам конструкции?

В начале этой главы мы свели все естественные закономерности конструкций оболочек к двум элементарным требованиям: материал оболочки должен быть прочным, а поверхность оболочки — криволинейной. Критический анализ многих форм оболочек не дает нам основания дополнить эти два элементарных требования какими-либо геометрическими зависимостями. Наоборот, нередко мы воспринимаем

геометрию как насилие. Тектоническая форма подчиняется другим, не только геометрическим законам. Часто упоминаемая кривая давления не всегда является параболой. Хотя она и похожа на нее, но лишь в редких случаях ей тождественна.

Кривая давления меняется в зависимости от нагрузки. Элементарная геометрия окружности, цилиндра и шара имела с точки зрения строительной практики и математической постигаемости большое значение, однако она не была связана с несущей способностью оболочек. Что касается шара, то сразу видно, что выразительность его недостаточна, а для специфических условий строительства оболочек подходят и многие другие формы.

Широкие возможности создания вариантов с помощью форм гиперболического параболоида воспринимаются как подлинное освобождение от насилия строгой геометрии шара. Без сомнения, геометрия гиперболического параболоида во много раз расширит диапазон архитектурных форм зданий из оболочек. В первую очередь, она устраняет всякие опасения застоя в развитии архитектурных форм. Но главное состоит в том, что оболочки по своей природе не связаны с какой-либо определенной геометрической формой. С этой точки зрения произвольные формы следует рассматривать как формы, свободные от каких-либо геометрических ограничений. Это освобождение не имеет ничего общего с произволом. Наоборот. Форма полностью определяется теми естественными закономерностями, которым подчиняется любая несущая конструкция. Освобождение от ограничений геометрии, не соответствующих требованиям конструктивных форм, дает архитектору возможность более отчетливо выразить сущность оболочки как конструкции.

Во избежание недоразумений необходимо отметить, что создание произвольных форм следует рассматривать как отдаленную цель. Она не связана с эффектными «косыми линиями» и произвольными фантастическими образами модной архитектуры, отличающейся базарной крикливостью. Эта цель приблизится только тогда, когда наиболее одаренные архитекторы сами займутся проблемами конструкции в ее тектонической связи с архитектурой. Термин «произвольные формы» не означает отказа от всяких геометрических зависимостей. Во всех наиболее свободных формах, которые встречаются в природе, вновь и вновь повторяются геометрические закономерности. Поэтому мы этот термин будем применять также и там, где видны известные геометрические закономерности, но где общая архитектурная тема не носит чисто геометрического характера.

Здание рынка в Руайане (рис. 189.1) имеет форму раковины с волнистыми краями. Мы ее рассматриваем как произвольную форму, так как она в целом является результатом свободного изобретения. Геометрия в данном случае играет подсобную роль, она не определяет всю форму в целом. План имеет форму окружности, но он может быть овальным или эллиптическим. Разрезы волн по периметру были определены инженером как комбинация параболических и синусоидальных линий. Допустимы и другие комбинации. Любое определение кривой необходимо инженеру для расчета и конструирования. Кроме того, оно облегчает производство строительных работ. Но сама форма, как воплощение замысла, является «произвольной». Она возникла только в результате желания использовать форму волны и поверхность двоякой кривизны для создания купола, сечение которого приближается к кривой давления. Форма здесь «свободна» от гнета законов геометрии, но она прочно связана с определенным конструктивным порядком, и в этом сооружении «свобода» не чувствуется как произвол или как безудержная игра формами.

Раковина, которую построили инженеры Вейдлингер и Сальвадори для ресторана на пляже в Пуэрто-Рико (рис. 189.2), геометрически иначе определена, чем раковина рынка в Руайане. Ее план и поперечный разрез имеют очертания эллипса. Разрез всех волн по эллиптическому периметру состоит из парабол, соединенных друг с другом по касательной. В данном случае нет той комбинации параболических линий с синусоидальными, как в здании рынка в Руайане. И все же сходство между обеими формами есть. Не произвол или случайность, а вполне определенная конструктивная схема определяет при наличии большой свободы творчества общность композиции и формы этих произведений.

Окончательную уточненную обработку архитектурной формы может создать только архитектор — художник, знающий законы конструкций, или инженер, у которого имеется художественное чутье. Но инженеру, занятому чисто инженерным трудом, часто недостает способности придать сооружению соответствующую форму.

Одна только художественная форма без грамотного конструктивного построения в сущности остается бессодержательным творением. Она не бьет в цель.

Положительных результатов можно ожидать только в том случае, если этими пожалуй наиболее важными творческими задачами займутся люди действительно талантливые, знакомые с проблемами конструкции. Все это

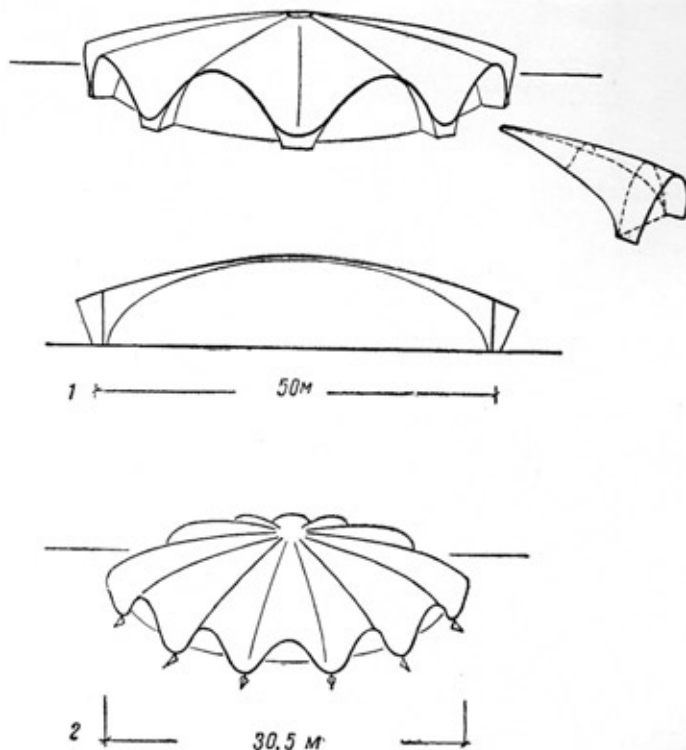


Рис. 189. Формы покрытий в виде раковины

1. Рынок в Руайане, Франция, инж. Сарже
2. Ресторан в Пуэрто-Рико. Инженеры Вейдлингер и Сальвадори

кажется утопической мечтой и многие выражают на этот счет свои сомнения, так как они не видят в произвольных формах ничего другого как новую архитектурную моду.

Архитектор Сааринен решил сделать шаг по направлению к «произвольной» тектонической форме. Совместно с инженерами Амманом и Уитнем он разработал проект здания аэровокзала в Айдлуайлде (рис. 190 и фото 33), являющегося дальнейшим развитием техники строительства из оболочек. В архитектуре этого здания нет ни одной застывшей геометрической формы. Нельзя обнаружить ни одной окружности, ни одного прямого угла, ни единой параболы. «Свободная» воля художественного творчества раскрывает перед нами новые формы, новые пропорции, и все же мы чувствуем в каждой кривизне и в каждой детали нечто большее, чем произвольные пластические формы. Покрытие состоит из больших плоскостей двоякой кривизны. По краям как бы «вырастают» ребра, размеры которых по мере уве-

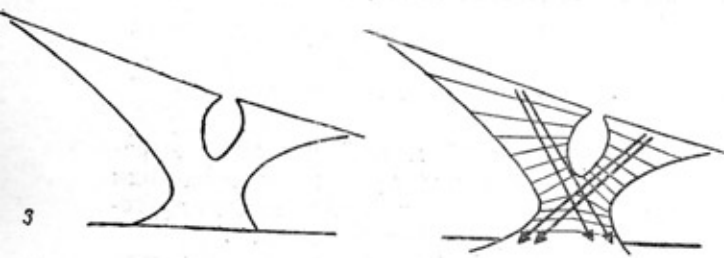
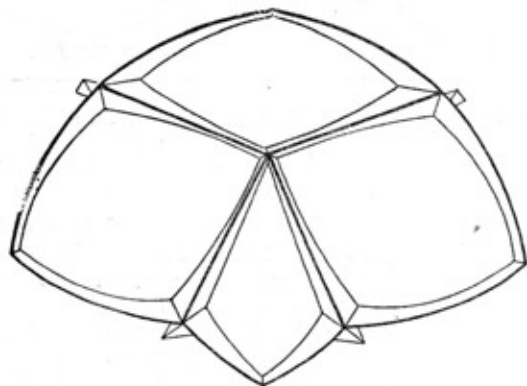
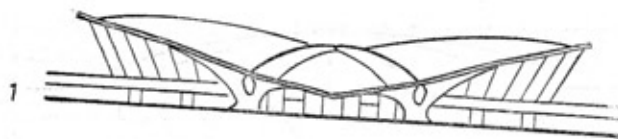


Рис. 190. Произвольные формы оболочек покрытия нового аэровокзала в Айдулайде, Нью-Йорк. Арх. Сааринен, инженеры Амман и Уитни

1. Вид с улицы
2. Вид сверху: четыре оболочки, отделены друг от друга световыми полосами, но опираются на общие четыре опоры
3. Произвольные формы опор получены в результате моделирования с учетом направления действующих в опорах усилий

личения нагрузки увеличиваются книзу; одновременно ребра придают оболочкам жесткость. Эти утолщения соединены с краями покрытия не как инородные тела; они, скорее, органически развиваются из всего комплекса архитектурно-конструктивного решения. Утолщения

бортов оболочки как бы образуют переход к нижней части сооружения и тем самым связывают и обрамляют очень динамичную форму здания. Четыре оболочки отделяются друг от друга зазорами, через которые поступает дневной свет. И все же они образуют единое целое, форма которого напоминает создание природы.

Мы охотно верим архитектору Сааринену, когда он пишет: «Можно утверждать, что речь идет о тектонических формах, которые являются дальнейшим развитием закономерностей проектирования различных оболочек, о стремлении создать пластическую форму, в которой обеспечена пространственная непрерывность всех архитектурных элементов... Обтекаемость всех элементов делает невозможным проектирование при помощи чертежей...». Эксперименты проводятся на модели до нахождения окончательного решения.

Исключительно интересным является описание метода определения формы опор. Последние были вылеплены по проволочному каркасу после того, как инженеры установили положение и направление равнодействующих усилий и примерные сечения (рис. 190.3). Сааринен говорит: «Одним из наиболее счастливых дней был тот, когда закончили модели опор. После того, как все вычертили, мы обнаружили, насколько изумительными оказались эти опоры, формы которых нам никогда не удалось бы определить методом технического черчения».

Здесь следует также упомянуть о часовне в Роншане (рис. 191), которая, возможно, является самым значительным произведением Ле Корбюзье. Следует сразу сказать, что формы этого здания не обусловлены конструкцией. Тяжелая стена с маленькими проемами, висячая крыша и отдельные детали ни в какой степени не оправданы тектонически.

Часовня — это скульптурно-пластическое произведение, полное очарования и поэзии, красивее и богаче которого нельзя представить при решении данной задачи. Но то, что нам нравится, в данном случае является только формой, а не конструкцией. В этом здании форма значительна сама по себе — вне связи с конструкцией. Поэтому бесполезно, исходя из принципа тектонического соответствия, критически оценивать эти формы, начиная со стены, которая не является массивной, или крыши, которая не висит.

Мы знаем, что великие произведения архитектуры были органически связаны с их конструкцией. Поэтому мы и призываем современных архитекторов выявлять форму конструкции.

Здание часовни в Роншане является уникальным произведением искусства и его цен-

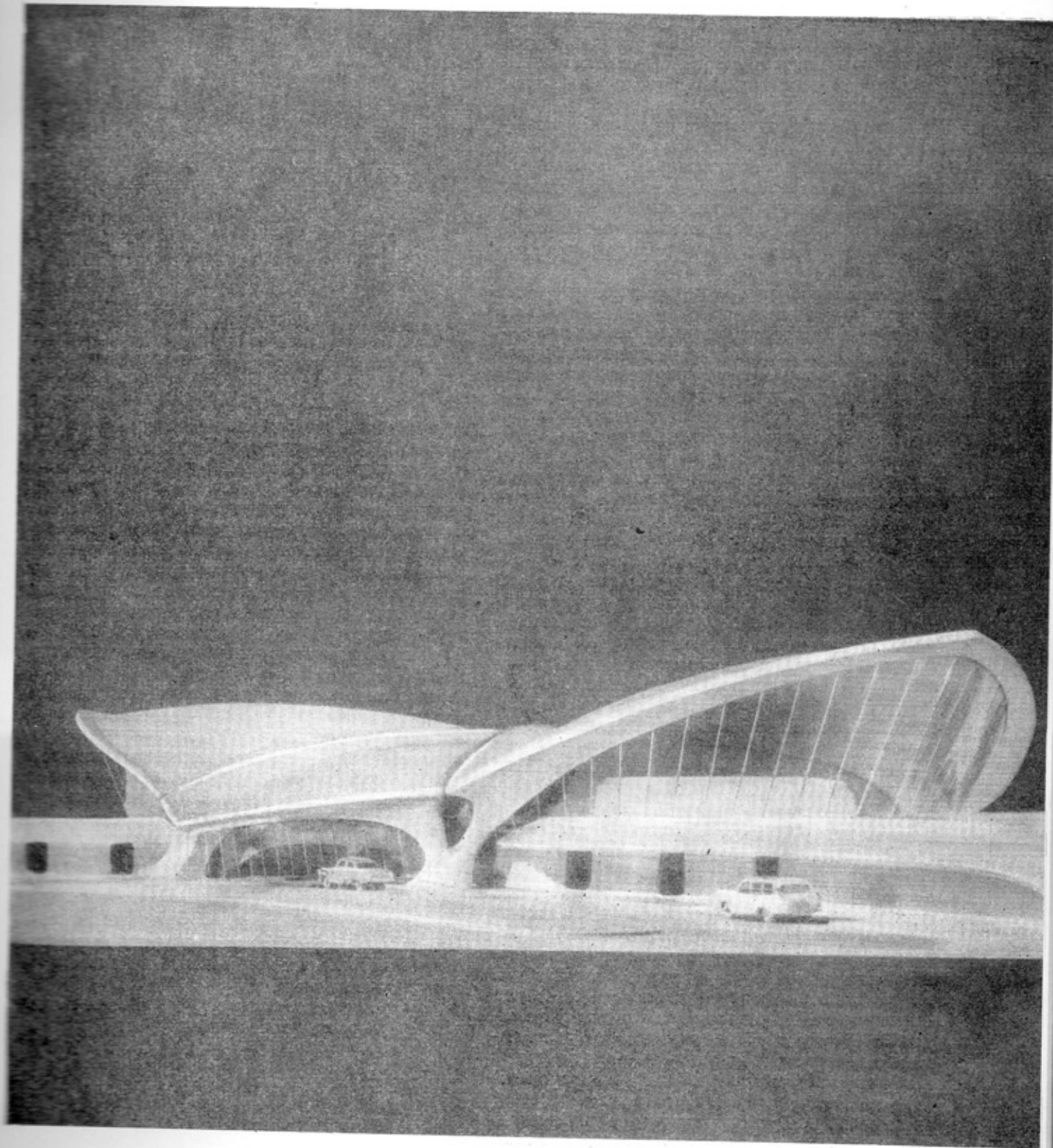


Фото 33. Макет аэровокзала в Айдлуайлде, Нью-Йорк. Арх. Э. Сааринен

ность не уменьшается оттого, что оно не соответствует правилам тектоники. Иногда удается создать произведения искусства, не отвечающие требованиям тектоники, но это не уменьшает значения тектонической архитектуры.

Ле Корбюзье другими своими произведениями показал, что он умеет создавать весьма мощные тектонические архитектурные формы. Например, при строительстве павильона фирмы «Филипс» он очень логично использовал выразительность форм г. п. и доказал, что уверенно владея этими формами, он намного опередил наше время.

Однако вернемся к «произвольным формам», которые обусловлены конструкцией. Получат ли эти формы развитие в будущем, мнения разделяются. Кандела самым решительным образом отстаивает точку зрения, что геометрическую обусловленность оставлять не следует. Он даже рекомендует применять только очень простые формы. Кандела предпочитает поверхности г. п. Он обосновывает это тем, что их относительно легко математически рассчитать, и решительно высказывается в пользу применения математического метода. Он говорит: «Гиперболический параболоид легче всего конструировать; он является единственным, который можно определить при помощи элементарной математики. Я смотрю очень пессимистически на возможность применения обычных аналитических методов для расчета произвольных форм в архитектуре. Считаю, что архитекторы должны это несколько более трезво обсудить, хотя бы для того, чтобы не иметь в дальнейшем разочарования. Произвольные формы не поддаются простому расчету.

Многие считают, что если математические расчеты слишком сложны, то можно прибегнуть к экспериментальному моделированию. Я лично к таким методам не прибегал, так как проблема сводится не к тому, чтобы определить внутренние силы, которые обычно очень незначительны, а к тому, чтобы определить усилия в краевых элементах... Я не могу согласиться с тем, что их можно определить при помощи небольших моделей. Таким образом, ничего не остается делать, как рассчитать эти усилия. Но мы обязаны применять надежные методы расчета, а не шаткие гипотезы относительно упругости материалов. Таким образом, я доверяю только статике и геометрии. Для того чтобы предупредить возможность пластической деформации конструкции, следует строить поверхности двойкой кривизны... Г. п. является единственной поверхностью двойкой кривизны, которую можно рассчитать при помощи простых методов статического расчета. Это является действительным оправданием его применения, которое имеет

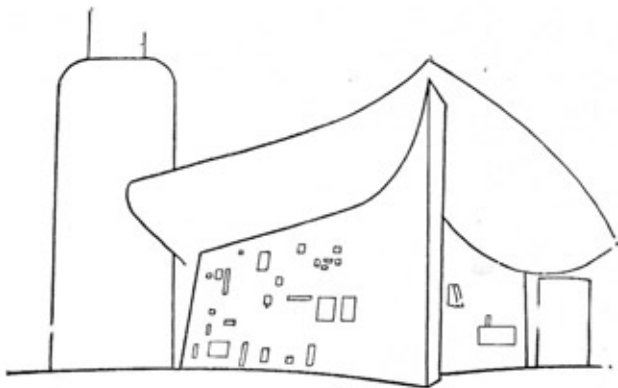


Рис. 191. Часовня в Ронпани, арх. Ле Корбюзье, — произведение искусства, не обусловленное конструкцией. Оно является скорее скульптурным произведением в масштабе архитектурного сооружения

гораздо большее значение, чем красота его формы¹. Так рассуждает Кандела.

Совсем другого мнения Торроха (Испания), который отдает предпочтение в первую очередь экспериментам. Он говорит: «Что касается конструкций кровельных покрытий, то в современной архитектуре проявляется во все возрастающей степени тенденция применять для них криволинейные формы, невзирая на трудности расчета...»². При этом он ссылается на проект клуба Тахира в Южной Америке (рис. 192).

«Невозможность решать дифференциальные уравнения, которые согласно методическому анализу определяют данную форму, заставляют нас пока ограничить наши расчеты ориентировочными оценками».

Основываясь на этих ориентировочных оценках, Торроха строит модели и производит над ними эксперименты, чтобы найти основание для их выполнения в натуре. Согласно его точке зрения, экспериментально-аналитическим методом на моделях можно определить условия устойчивости придуманной формы оболочки и действующие в ней усилия.

Многие инженеры не признают этого метода. Они придерживаются взгляда, что математический метод является единственно достойным хорошего инженера.

Во время симпозиума по оболочкам в Осло в 1957 г. Торроха так закончил свой доклад:

¹ Candela, «Understanding the Hyperbolic Paraboloid, Architectural Record. 1958. № 7, s. 191, № 8, s. 205.

² Torroja: «New Developments in Shell Structures, Proceedings of the Second Symposium of Concrete Shell Roof Construction, Oslo. 1957, s. 95.

«Я хотел бы подчеркнуть, как важно улучшить аналитический метод расчета классических форм цилиндра и других стандартных поверхностей. Но я считаю, что мы должны также изучать и другие возможности развития методов проектирования и расчета...».

Судя по чисто экспериментальному методу, который Торроха разработал в своем институте в Мадриде и который находит во всем мире все большее применение, можно сделать вывод, что он решил широко использовать возможности экспериментальной статистики.

Метод Канделы хотя и является аналитическим, но основан на ясной геометрии, в особенности на геометрии гиперболического параболоида. Этот метод применим только по отношению к простым статическим системам. Более экспериментальным является метод Торрохи.

Кроме этих двух методов в ФРГ применяется еще абстрактно-математический метод. В качестве основы для расчетов принимают напряженное состояние и состояние деформации дифференциальной частички конструкции и находят общие решения для определенных геометрических форм. Это приводит к созданию сложных математических проблем. Очевидно, что данный метод не располагает к поискам новых форм.

Найденное после долгих трудов общее решение определенной формы инженер будет при-

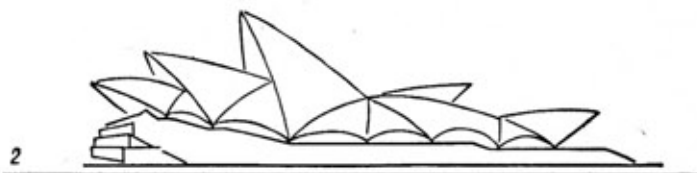
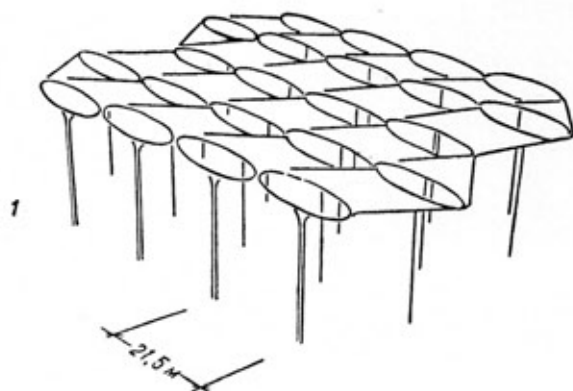


Рис. 193. Произвольные формы сооружений различного назначения

1. Проект зала университета в Тукумане, Аргентина. Арх. Карминес, инженеры Нерви и Бартоли
2. Проект здания оперы в Сиднее

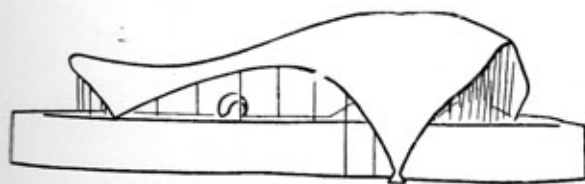


Рис. 192. Клуб Тахира в Южной Америке. Инж. Торроха. Произвольная форма может быть конструктивно оправдана

менять так часто, как только возможно. Всякое отклонение от нее он воспримет как произвольную игру формами.

То, что форма не является одной только «внешностью» сооружения, а имеет еще большее значение, чем метод расчета, многие инженеры не хотят понять. Вследствие этого в Германии, где было положено начало строительству оболочек, затормозилось (если не сказать — приостановилось) развитие новых форм



Рис. 194. Проект здания для аэропорта (студенческая работа школы инж. Торрохи)

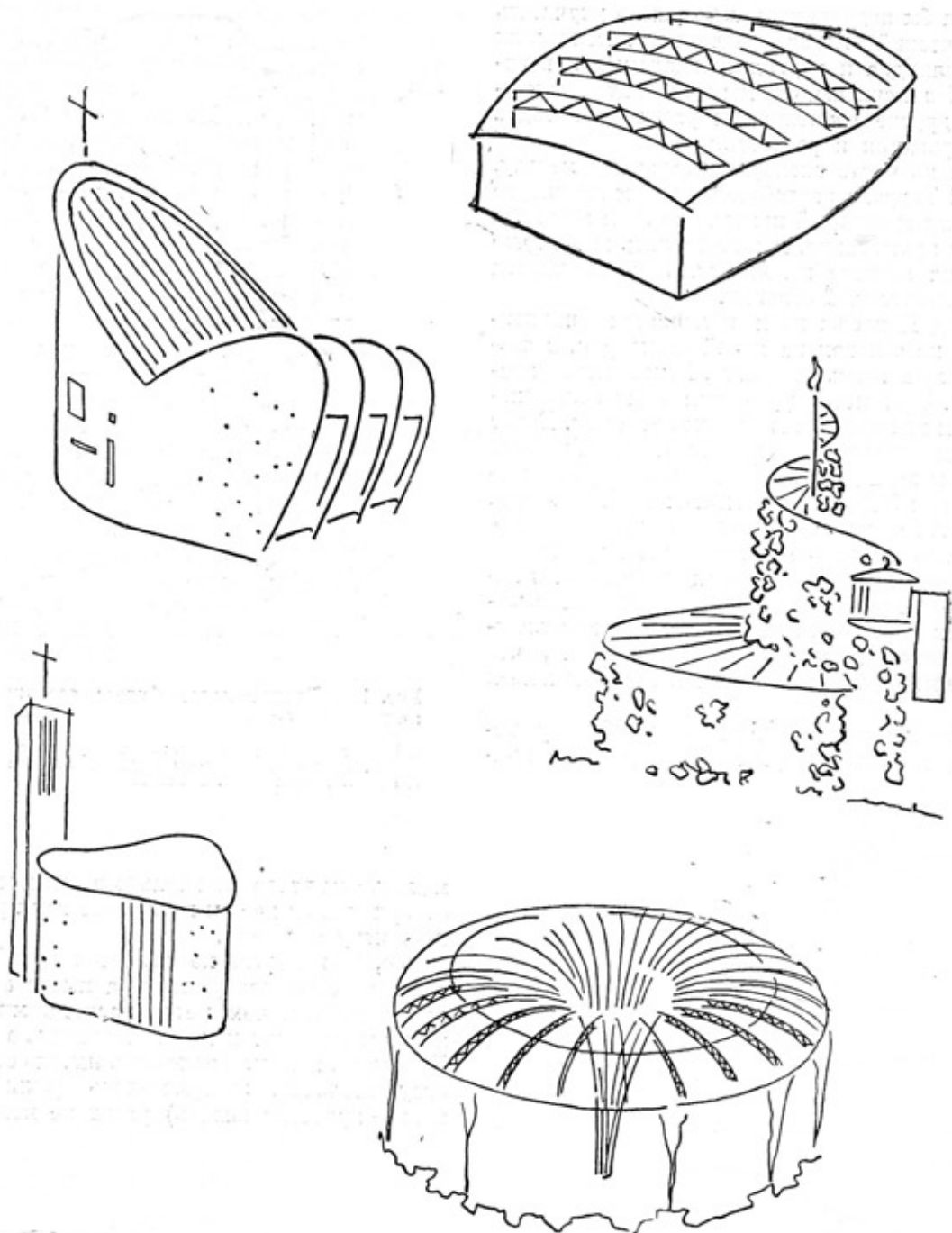


Рис. 195. Когда нарушаются законы тектонической связи формы с конструкцией, получаются сооружения произвольных форм, которые скорее являются скульптурными произведениями, чем зданиями в истинном смысле этого слова

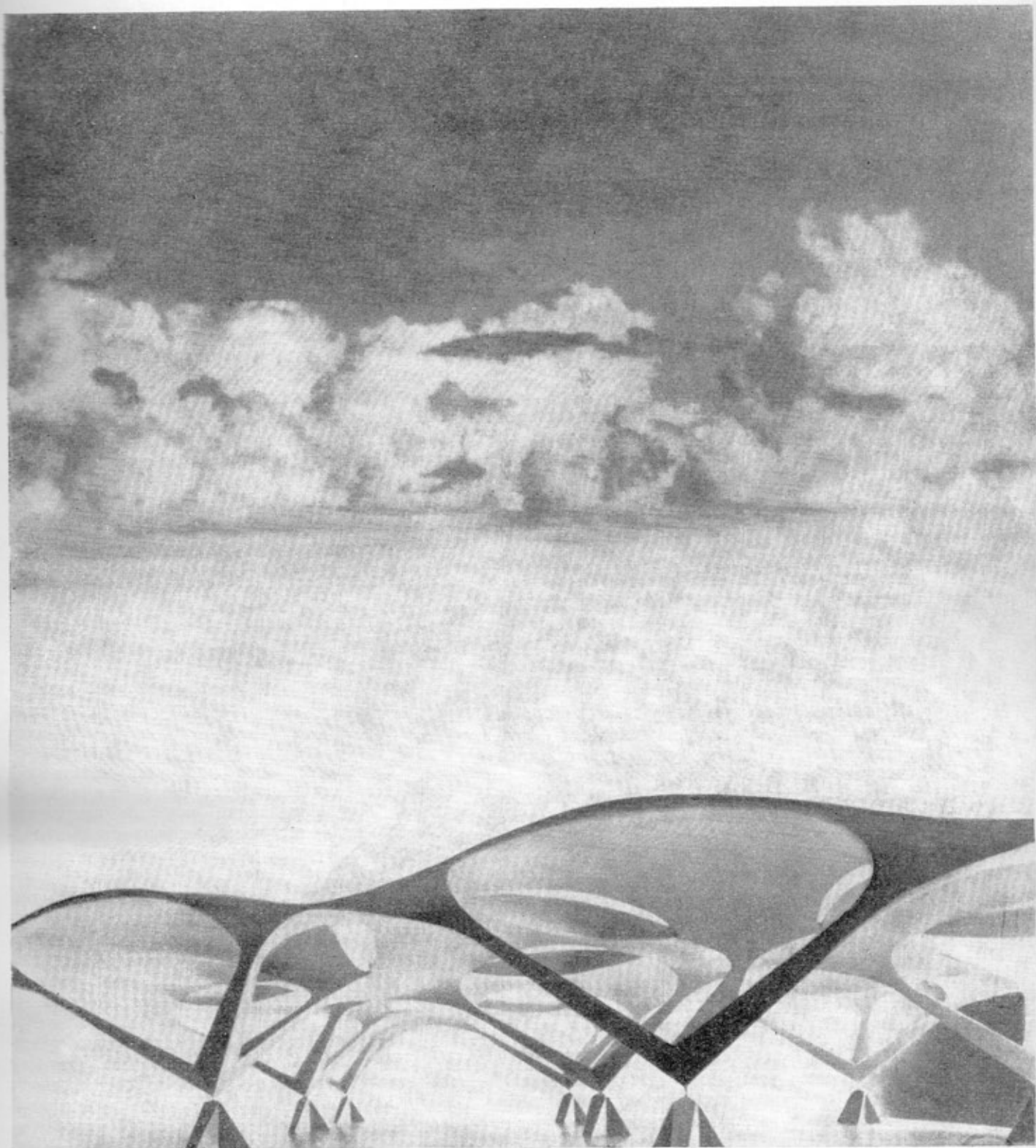


Фото 34. Проект вокзала в Неаполе. Фрагмент макета. Арх. Энрико Кастильони

по сравнению с их развитием в латинских странах, в средней и южной Америке. Тому, кто занимается творческими вопросами архитектуры и поисками новых форм, относительно безразлично, какой метод доказательства будет избран при решении вопросов статического расчета. Применение чисто математического анализа всегда несет в себе опасность раздробления проблемы. Желание упростить задачу и решить ее шаг за шагом легко приводит к тому, что форма начинает рассматриваться как нечто подчиненное, как неизбежный результат метода расчета.

С точки зрения решения формы конструкции мысленное отделение от оболочки ее жесткого краевого элемента, работающего на изгиб (смотри рис. 146), как это обычно делают при статических расчетах, рассматривая оболочку как напряженную мембрану, является неправильным. Если рассматривать конструкцию как единое целое, то необходимо, чтобы и сама оболочка, и ее краевой элемент также составляли одно целое. Аналитический метод расчета пока еще не дал удовлетворительного ответа на вопрос, как достигнуть цельности оболочки и краевого элемента. Следует все же надеяться, что эксперименты с применением моделей в будущем приведут к определенному прогрессу. Таким образом, без сомнения, один метод дополнит другой. Область исследований настолько широка, что разные методы расчета и способы экспериментирования найдут применение для решения поставленной задачи.

Если отвлечься от примеров «модной» архитектуры с ее обилием криволинейных форм и очертаний и ограничиться только теми «произвольными формами», которые отличаются тектонической связью с конструкцией, то окажется, что выбор примеров, на которые можно сослаться, невелик. Исключительный в своем роде проект вокзала в Неаполе был с точки зрения системы конструкций подробно рассмотрен во второй главе. Помещенная в настоящей главе фотография 34 дает ясное представление об оболочке покрытия вокзала как о «произвольной» форме. К этим примерам следует отнести также проект зала университета в Тукумане архитектора Карминуса, инженеров Нерви и Бартоли и, возможно, также проект театра в Сиднее (рис. 193).

Интересные решения встречаются также в проектах, составленных студентами архитектурных институтов, к сожалению, проекты остаются на бумаге и забываются. Следует упомянуть об одном таком студенческом проекте, созданном в лаборатории Торрохи в Мадриде (рис. 194).

Три оболочки соединяются друг с другом, образуя чашу. Форма их ничего общего не имеет с известными нам геометрическими формами. Однако нам вполне ясен тектонический смысл этой конструкции.

Между тремя опорными мачтами, установленными с наклоном наружу, подвешены оболочки с большими выносами. По-видимому, они имеют седловидную форму двойной кривизны. Загнутые края оболочки свидетельствуют о попытке авторов освободиться от строго геометрических строительных форм и применить в строительном деле формы близкие к тем, которые встречаются в природе.

Возникает другой вопрос: насколько трудно изготовить сложную опалубку и практически осуществить это сооружение произвольной формы.

Для контраста с произвольными, но тектоническими формами на рис. 195 приведен ряд примеров зданий надуманных фантастических форм, которые далеки от требований подлинной тектоники.

Вантовые и сетчатые конструкции

Идея использования тросов в строительстве привела к конструкциям висячих мостов, известным с давних времен.

Соответственно ранее приведенной классификации конструкции из тросов принадлежат к плоскостным системам.

Применять тросы в конструкциях покрытий стали совсем недавно. Эти покрытия обычно называют висячими по аналогии с висячими мостами. Однако название «висячее покрытие» является нехарактерным для большинства конструкций из тросов, рассматриваемых в данной главе.

Типичным для этого нового вида покрытия является не его «провисание», а натяжение перекрещивающихся рядов тросов, образование из них изогнутых в противоположные стороны поверхностей и создание благодаря этому конструкции, обладающей пространственной жесткостью.

В природе трудно найти прообразы пространственных конструкций из тросов. Отчасти их можно сравнить с крыльями летучей мыши или с перепонками ног водоплавающей птицы. Паутина паука представляет собой «плоскостную систему». Ее эффективность во многом зависит от упругой растяжимости, и поэтому ее вряд ли можно сравнить с сооружением вантовой конструкции. Среди предметов, создан-

ных человеком, палатка и парус ближе всего подходят к пространственным вантовым конструкциям.

Мы различаем следующие группы конструкций из тросов.

1. Односторонне изогнутые висячие покрытия, жесткость которых обеспечивается только их собственным весом или дополнительными конструктивными элементами, устойчивыми против изгиба. Они лишь условно могут быть отнесены к пространственным несущим конструкциям.

2. Сетки двойной кривизны из тросов. Жесткость этих сеток обеспечивается натяжением.

3. Комбинированные конструкции из стержней и тросов.

4. Палатки.

Односторонне изогнутые висячие покрытия

Односторонне изогнутые висячие покрытия представляют собой ряд параллельно подвешенных тросов. Каждый из них деформируется под действием нагрузки независимо от соседних тросов (рис. 196.1). Совместная работа тросов может быть обеспечена только при помощи уложенных на них поперечных жестких балок (рис. 196.2). Но при колебательном движении и несимметричной нагрузке конструкция все же не является еще жесткой (рис. 196.3). Против раскачивания конструкции ветром применяется дополнительная балластная нагрузка, что представляет собой довольно неэкономичное решение вопроса. Во избежание местного провисания следует оттянуть книзу концы уложенных сверху поперечных балок (рис. 196.4). Однако в результате этого односторонне изогнутое висячее покрытие теряет свою первоначальную ясную конструкцию. Несимметричная часть нагрузки воспринимается не подвесными тросами, а придающими им жесткость поперечными балками.

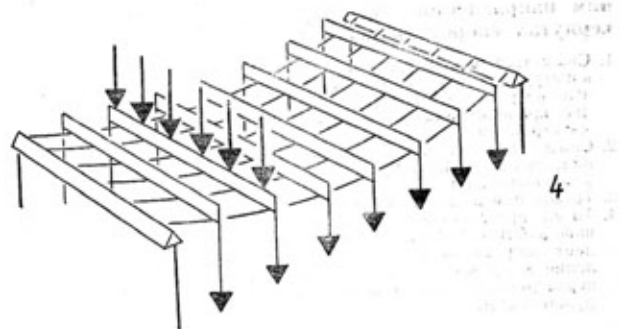
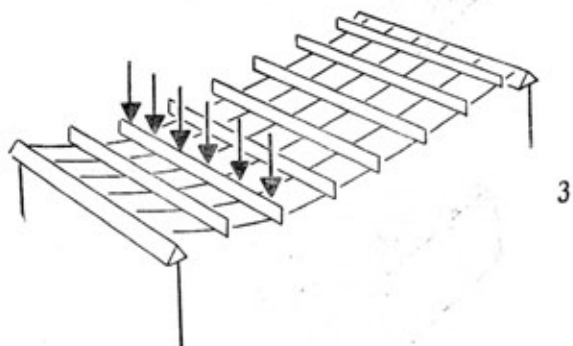
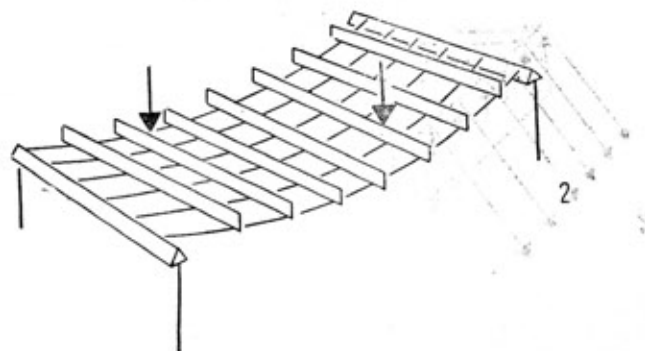
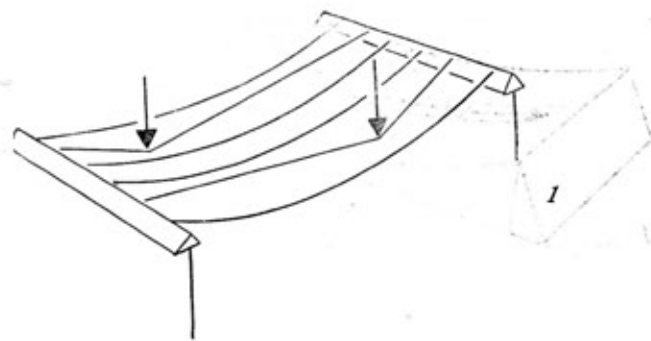


Рис. 196. Висячее покрытие из тросов, подвешенных в одном направлении

1. Каждый трос в отдельности деформируется под давлением воспринимаемой им нагрузки независимо от нагрузки другого троса
2. Взаимодействие всех тросов между собой может быть достигнуто только путем укладки на них жестких балок
3. При несимметричной нагрузке несущая система является неустойчивой несмотря на наличие балок
4. Только при условии устройства оттяжки концов поперечных балок с помощью дополнительной нагрузки обеспечивается устойчивость конструкции

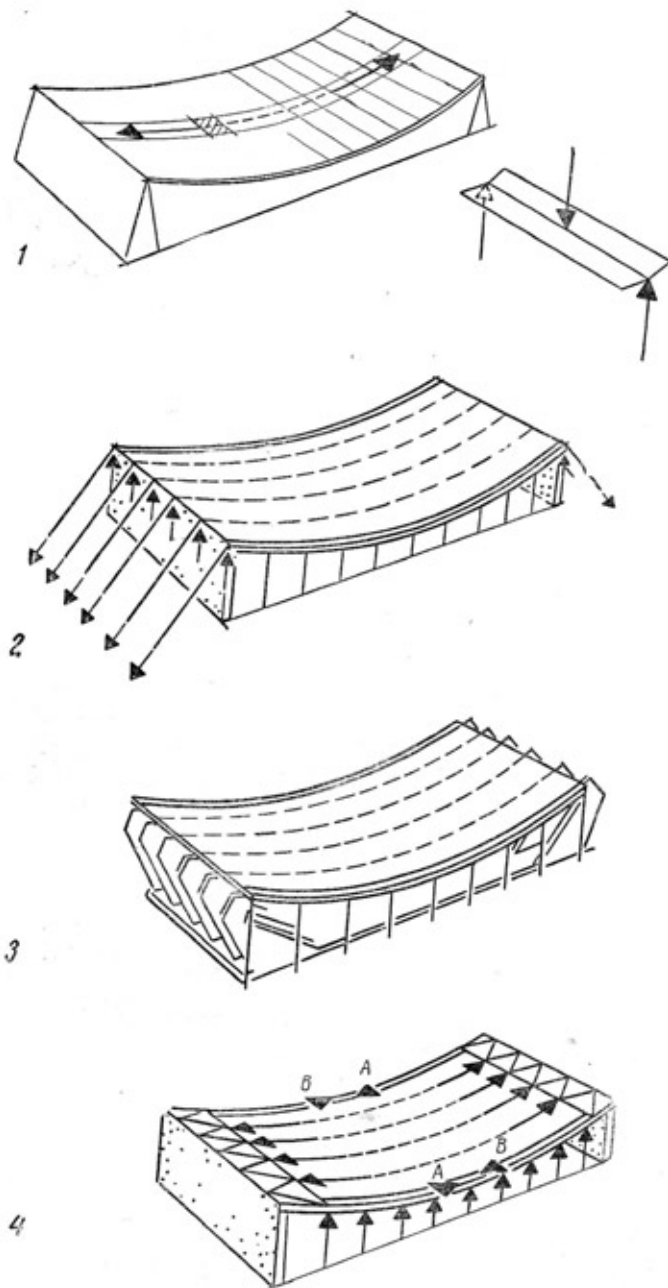


Рис. 197. Бетонная оболочка, изогнутая кверху в одном направлении, может рассматриваться как перевернутая «короткая оболочка»

1. Симметричные нагрузки передаются на самые высокие точки конструкции как усилия чистого растяжения. Несимметричные нагрузки благодаря кривизне оболочки передаются на две криволинейные стороны (сравни пластинки складчатой конструкции)
2. Силы, сосредоточенные на самых высоких точках конструкции, должны быть уравновешены при помощи оттяжек как у висячего моста
3. То же, при помощи устойчивых жестких несущих стенок
4. То же, при помощи помещенной в поверхности покрытия большой работающей на изгиб балки. В этом случае балка передает опорные реакции *A* и *B*, имеющие касательное направление к кровле, на жесткие края. Последние действуют как перевернутые арки и передают эти усилия на колонны, наружных стен

Такие односторонние изогнутые висячие покрытия выполняют также в бетоне (рис. 197). В результате получается односторонне изогнутая подвесная оболочка, имеющая очертание провисающего троса. Ее можно рассматривать как короткую оболочку, но с обратным знаком (см. рис. 151). Нагрузка перемещается в направлении провисающего каната в виде усилий растяжения и передается устойчиво опертým верхним краям конструкции. Все несимметричные составляющие нагрузки, которые могут вызвать колебания или одностороннее провисание изогнутой оболочки, последние благодаря ее жесткости передает краевой опоре. Это явление становится более понятным, если представить себе оболочку как ряд узких пластинок, расположенных рядом друг с другом (рис. 197.1). Изогнутые края висячего покрытия выполняют ту же задачу, что и ребра жесткости у «короткой оболочки». Поэтому они должны быть очень жесткими или же надежно подпертыми. В сооружениях с висячими покрытиями для этого могут быть использованы стойки наружных стен, служащие импостами для крепления оконных рам или элементами фахверковой конструкции стены (рис. 197.4).

Подобные бетонные оболочки, подвешенные в одном направлении (с точки зрения статики их следует рассматривать как оболочки, а не как висячее кровельное покрытие), являются относительно тяжелыми. Между тем основное преимущество конструкций из тросов — это их легкость и простота изготовления. Кроме того, передача нагрузок на фундамент совершается у таких конструкций окольным путем. В то время как изогнутая вверх короткая оболочка большую часть нагрузки передает по кривой давления непосредственно на фундамент и тем самым полностью разгружает конструкцию, односторонне изогнутая подвешенная оболочка хотя и отводит усилия с покрытия, по линии провисающей цепи, но она не доводит их до самого фундамента. Усилия сначала сосредотачиваются в наиболее высоких точках покрытий. В этих местах необходимо предусмотреть либо оттяжки (рис. 197.2), либо жесткие пластины (рис. 197.3), либо жесткие балки, расположенные в плоскости покрытия и передающие нагрузку к краям последнего, где она уравнивается соответствующими краевыми балками, работающими на сжатие (рис. 197.4). Краевые балки действуют как опрокинутые арки, работающие на сжатие и передающие на опоры наружных стен дополнительные вертикальные сжимающие усилия. Пути передачи усилий определить довольно сложно и поэтому их не легко выразить формулами.

Рис. 198. Примеры висячих оболочек

1. Здание плавательного бассейна в Вуппертале, ФРГ. Схема данной конструкции примерно соответствует схеме, показанной на рис. 197.3
2. Ангар, выполненный по схеме, сходной с показанной на рис. 197.2

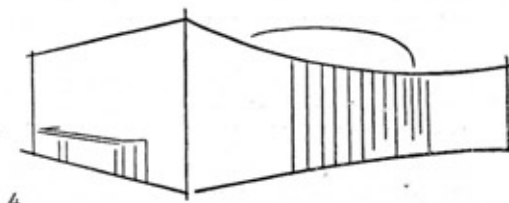
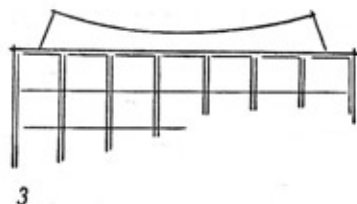
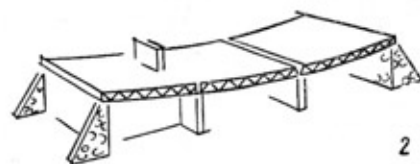
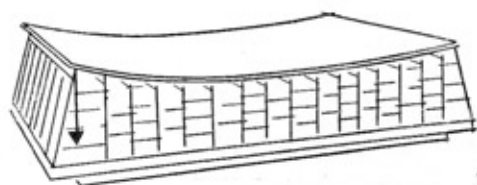
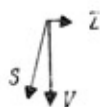
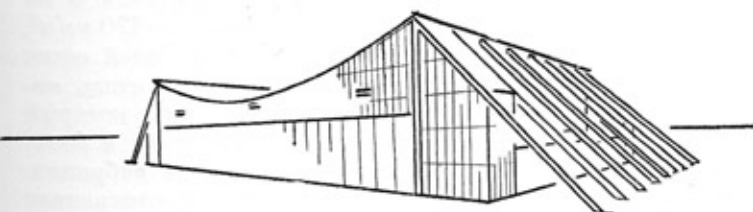
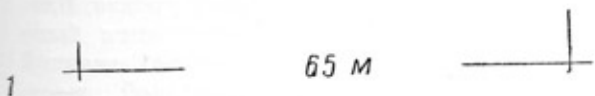
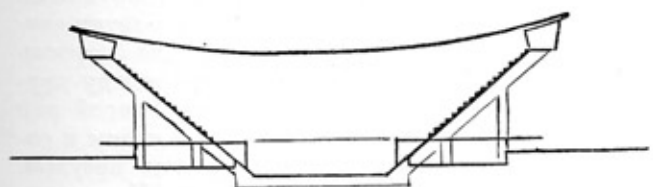
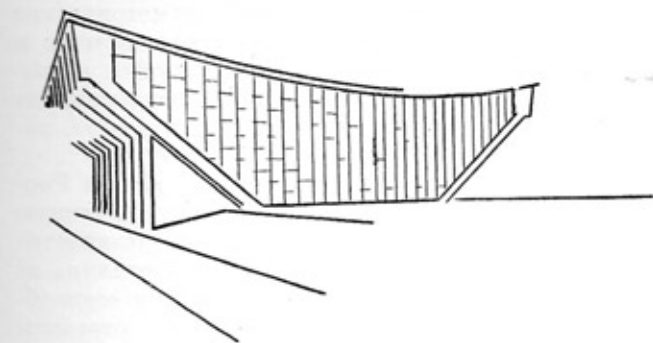


Рис. 199. Примеры формалистических решений покрытий, формы которых созданы как подражание висячим покрытиям

1. В данной конструкции нет работающих опор или оттяжек для восприятия усилий висячего покрытия. Силы натяжения S не могут действовать в плоскости узких сторон здания, так как здесь нет опор для восприятия вертикальных составляющих сил. Покрытие следует рассматривать как обыкновенную конструкцию из балок, перекрывающих пролет поперек здания. Наклон стен с торцов здания является подражанием форме, показанной на рис. 197.2 без правильного понимания ее конструкции
2. Тот же формализм, доведенный до гротеска, наблюдается в данном здании, где контрфорсы сложены из «дикий» каменной кладки (в направлении усилий растяжения). Очевидно, покрытие из решетчатых балок опирается на несущие поперечные стены, что делает бессмысленным его «висячую» форму
3. Ложное висячее покрытие в качестве венчающего элемента каркасного здания. Внешняя форма лишена конструктивного содержания
4. Если висячее покрытие прорезается возвышающимся над ним помещением, то его форма не может быть подлинно конструктивной

Поверхность одинарной кривизны, имеющая очертание провисающего троса, принадлежит, как уже было сказано, к плоскостным формам строительных конструкций, похожим на давно известные системы висячих мостов. Только условно ее можно отнести к пространственным несущим конструкциям.

При строительстве Вуппертальского плавательного бассейна (рис. 198.1) для подбора системы висячего покрытия решающее значение (в свете нашего определения лучше назвать его подвесной оболочкой) имела укладка несущих тросов в бетоне для защиты их от коррозии. Кровля работает как перевернутая короткая оболочка, схема которой представлена на рис. 197.

В практике встречается ряд подражаний этой ясной конструкции, что свидетельствует о ее неправильном понимании. Примеры такого формального подражания показаны на рис. 199. Висячее покрытие в виде ряда параллельно провисающих тросов в противоположность подвешенной оболочке является нерациональной конструкцией. Для восприятия неизбежных несимметричных нагрузок от снега или ветра и избежания колебаний тросов необходимо предусмотреть мероприятия по обеспечению жесткости. Однако эти мероприятия противоречат сущности рассматриваемой конструкции. Поэтому целесообразнее использовать седловидную поверхность, в форме которой наглядно раскрывается все значение идеи сетки двойкой кривизны, выполненной из тросов.

Тросовые сетки двойкой кривизны

В выставочном зале Рио-Гранде-до-Сул использованы сетки двойкой кривизны (рис. 200). Продольные несущие тросы подвешены к двум торцовым дугообразным аркам, работающим на сжатие. Тросы, принимая очертание цепи, огибают арки; концы их собраны в несколько пучков, которые прикрепляют к анкерам в грунте. Между опорными арками несущие тросы провисают не параллельно друг другу: они концентрически стягиваются поперечными натяжными тросами к средней оси сооружения. Все поперечные натяжные тросы образуют дуги. В целом сооружение приобретает форму сегмента тела вращения. В точках пересечения поперечных натяжных и продольных несущих тросов образуются составляющие усилий, имеющие касательное направление и заставляющие натяжной трос соскользнуть с несущего троса (рис. 200.3). Чтобы воспрепятствовать этому, было сконструировано специальное зажимное приспособление, которое соединяет тросы во всех точках их пересечения. Этим путем была

сохранена заранее заданная геометрическая форма. Последняя упрощает расчет системы и конструирование деталей. Вся несущая конструкция состоит из двух арок, установленных на торцах и работающих на сжатие, и тросов, работающих на растяжение.

Жесткая геометрическая форма зала в Рио-Гранде-до-Сул напоминает оболочку, имеющую форму тела вращения. Такая форма отличается недостаточной выразительностью. В отличие от оболочек в виде тел вращения форма седлообразной поверхности, не являющейся отрезком тела вращения, обладает значительно большей выразительностью.

Архитектор Новицкий, автор сооружения арены в Ралей, создал своего рода прототип сетчатых кровельных покрытий из тросов (рис. 201). Один ряд тросов висит между двумя наклонными опорными арками. Второй ряд натянут в поперечном направлении к ним и сообщает получившейся таким образом несущей сетке пространственную жесткость. На тросы, стягивающие друг друга, наложена кровля. Благодаря применению такой конструкции было построено покрытие с поверхностью двойкой кривизны, обладающее необходимой жесткостью.

Оно состоит из тросов, подверженных только усилиям растяжения, и не имеет элементов, работающих на сжатие и изгиб. Собственный вес покрытия значительно уменьшился по сравнению с покрытием обычной конструкции.

Железобетонная оболочка толщиной 6 см весит, включая кровлю, не менее $160-170 \text{ кг/м}^2$, в то время как покрытие арены в Ралей весит всего только 30 кг/м^2 . Покрытие со столь незначительным собственным весом, который меньше снеговой и ветровой нагрузок, в большой степени подвержено опасности вибрации. Но такое покрытие от вибрации предохраняет его собственная пространственная жесткость, которая создается системой двойкоизогнутой сетки из тросов. Эта жесткость становится тем больше, чем круче кривизна поверхности кровли. Незначительный собственный вес покрытия уменьшает нагрузку нижней части сооружения и фундамента, а тем самым и их стоимость. Тросы монтируют без применения лесов, что значительно упрощает производство работ.

Однако все это интересует нас меньше, чем форма. Пути передачи нагрузки через сжатые арки являются в одинаковой мере ясными и рациональными. Если сравнить описываемую конструкцию с конструкцией, изогнутой только в одном направлении (рис. 196), то становится ясным, насколько в последнем случае усложнены пути передачи действующих усилий. Подвесные и натяжные тросы, а также сжатые

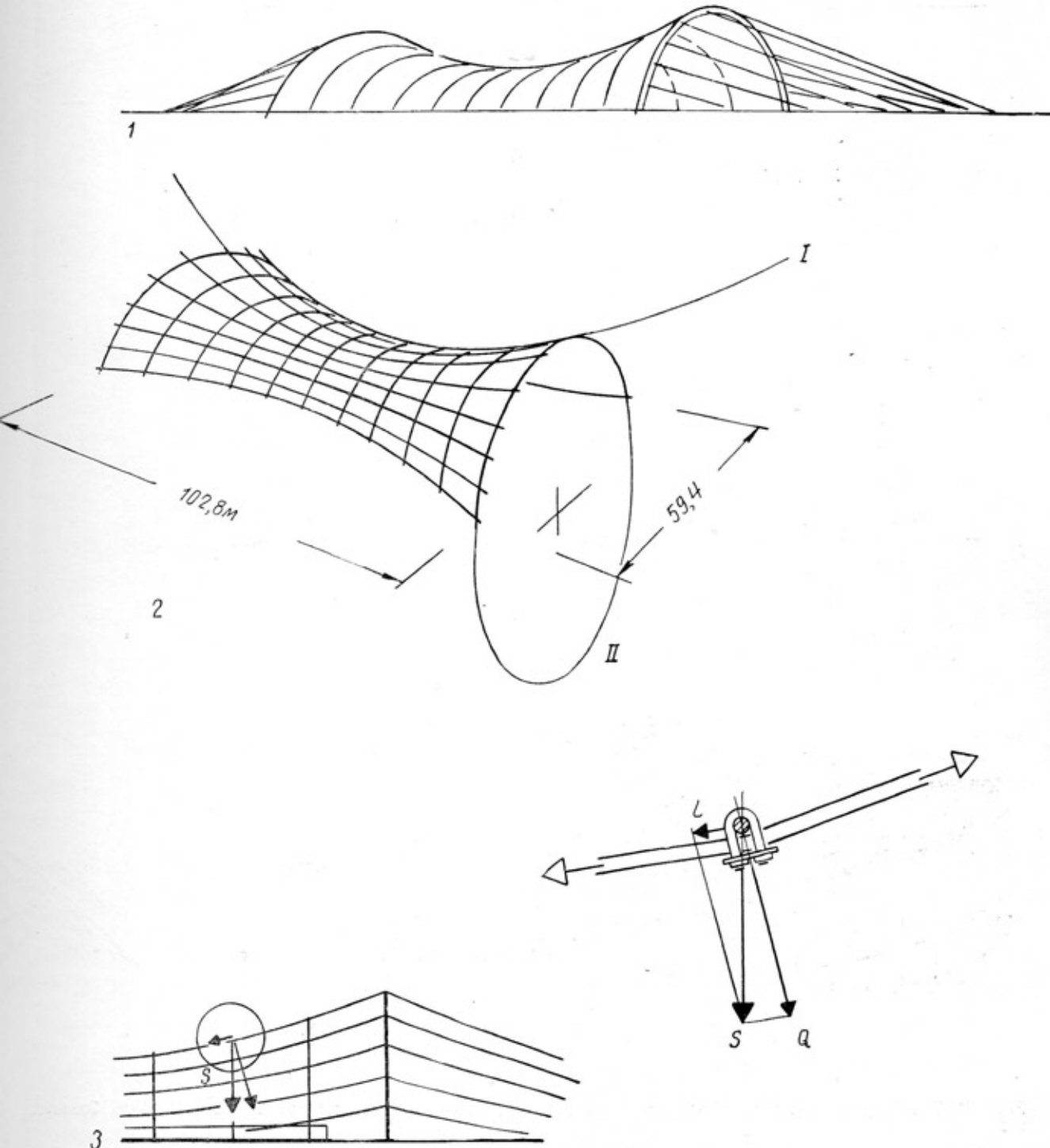


Рис. 200. Здание в Рио-Гранде-до-Сул в Бразилии состоит из ряда тросов, натянутых в противоположных направлениях. Несущие тросы принимают форму провисающей цепи, натянутые тросы — форму окружности. Вся конструкция состоит только из тросов, кроме двух сжатых арок на торцах здания

1. Общий вид
2. Геометрия формы, *I* — линия провисающей цепи, *II* — круг
3. Разложение сил в местах пересечения тросов. Натяжной трос, работающий в вертикальной плоскости, воздействует на несущий трос силой *S*. Последняя делится на составляющую *Q*, которая перпендикулярна к несущему тросу, и на силу *L*, которая действует по оси троса. Под воздействием силы *L* натянутый трос стремится скользить. Этому препятствуют зажимные устройства

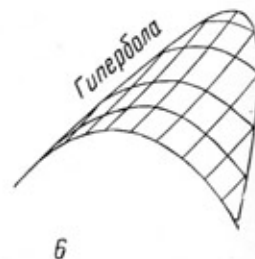
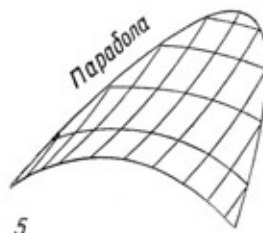
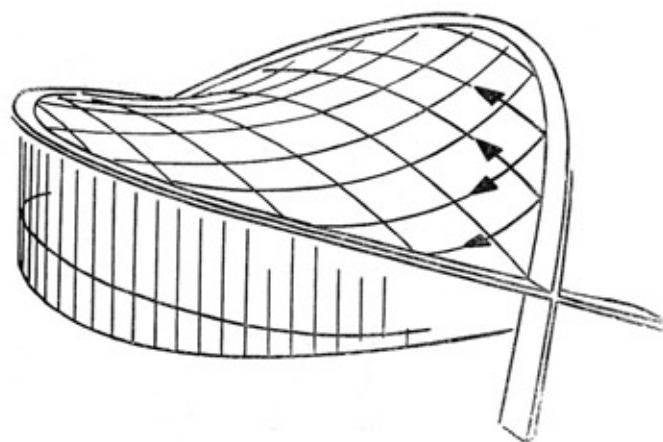
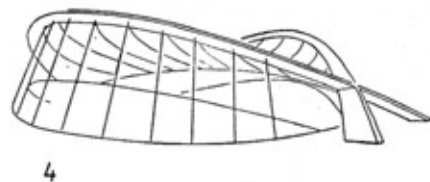
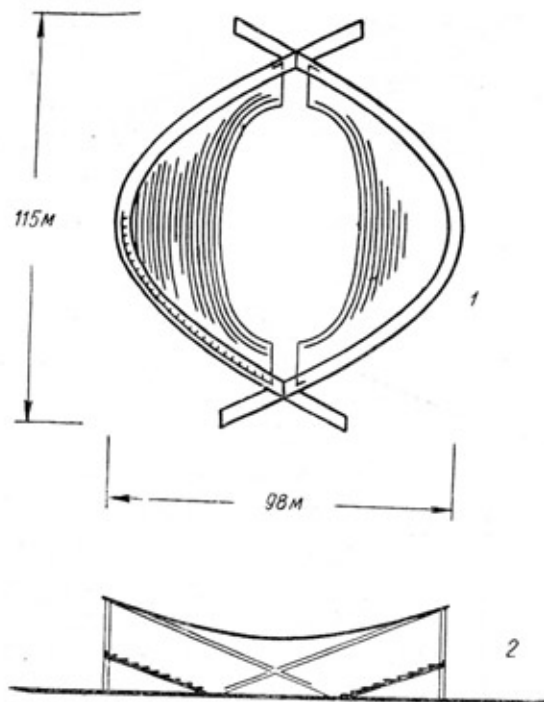


Рис. 201. Ралей-Арена в штате Северная Каролина, США. Арх. Новицкий, инженеры Северуд, Эльстад и Крюгер

1. Ряды тросов изогнуты в противоположные стороны и натянуты между наклонными параболическими арками, воспринимающими усилия сжатия.
2. На плане и разрезе показано как трибуны поднимаются в направлении наклонных арок.
3. При симметричной нагрузке арки, работающие на сжатие, уравниваются натянутыми тросами покрытия. Аркам необходимы опоры в плоскости наружных стен только в случае несимметричной нагрузки.
4. В неосуществленном проекте арены арх. Новицкого при помощи наклона наружных стен внутрь яснее выражен их несущий характер, чем при вертикальных стенах. Перелом стены наружу или внутрь еще более подчеркивал бы, что стена не несет нагрузки от покрытия.
5. Седлообразная форма покрытия не является гиперболическим параболоидом, так как она образована с помощью параболических арок. Поэтому перекрытие в верхней части слишком пологое.
6. Применяв арки гиперболического очертания, можно было бы создать поверхность гиперболического параболоида и достигнуть большей кривизны, а тем самым и большей жесткости поверхности покрытия.



Фото 35. Здание Ралей-Арена, США. Арх. М. Новицкий

арки уравнивают друг друга. Собственный вес арок используется частично для натяжения тросов, а частично передается в качестве составляющей сжатия в направлении арок. Сетка из тросов и наклонные сжатые арки образуют монументальную замкнутую систему, которая при симметричной нагрузке не нуждается в опирании арок на наружные опоры или стены.

В предварительном проекте Новицкий учел это обстоятельство и предложил стойки, устанавливаемые по периметру, ставить с наклоном внутрь. Тем самым было бы исключено ошибочное впечатление передачи нагрузки покрытия на опоры.

К сожалению, из-за ранней смерти автора этот вариант проекта не был осуществлен (рис. 201.4). Предпочтение было отдано варианту с вертикальными стойками по наружному периметру и параллельными импостами окон.

Характер наружных несущих стоек можно было бы сильнее подчеркнуть, сделав их с изломом, направленным наружу, или заменив их конструкцией из тросов, стянутых внутрь (фото 35).

Седловидная поверхность покрытия арены в Ралей, натянутая между двумя арками, наклоненными в противоположные стороны, послужила прототипом «висячего покрытия» или, вернее сказать, «натянутой сетки» из тросов, изогнутой в противоположные направления. Употребление этого термина привлекает большее внимание к форме поверхности покрытия, которая в данной конструкции важнее, чем форма арок. Стремление создать седловидную поверхность, обладающую жесткостью во всех направлениях, неизбежно приводит к форме гиперболического параболоида. Однако покрытие арены Ралей не представляет собой поверхность г. п. В результате принятой параболической формы арок [в поверхности г. п. это должны были бы быть гиперболы (сравни с рис. 175)] и при почти касательном примыкании подвесных тросов к аркам в верхней части покрытия получилась в противоположность г. п. очень слабо изогнутая поверхность (рис. 201.5). Вследствие недостаточной кривизны покрытия в нем вначале возникли вибрации под действием ветра, которые в дальнейшем были устранены устройством внутренних ветровых оттяжек. Этот факт не следует рассматривать как критику великолепного достижения в области конструкций, каким является сооружение арены в Ралей. Хотелось только обратить внимание на то, какое влияние оказывает форма сооружения на его конструкцию.

Зал конгрессов в Берлине имеет аналогичную форму, что и арена Ралей (рис. 202). Можно предположить, что в данном случае примене-

на та же конструктивная идея и что между арками натянута сетка из тросов (рис. 202.1). В соответствии с первоначальным архитектурным замыслом Зал конгрессов помещался под легкой оболочкой кровли с большим выносом по всему периметру здания. Для этого была выбрана натянутая между сжатыми арками конструкция висячего покрытия из тросов. Однако большой вынос кровли исключал возможность установки опор по контуру зала, как это сделано у арены в Ралей; тем самым вся конструкция становилась неустойчивой при несимметричной нагрузке (см. рис. 201.2). Поэтому было применено внутреннее усиление конструкции. На стенах зала была уложена тяжелая кольцевая балка, работающая на изгиб. Балка была заанкерена в фундаментах арок (см. рис. 201.3). Внутри кольца над залом была подвешена железобетонная оболочка.

Авторы проекта хотели создать впечатление, что покрытие подвешено к аркам. Однако арки воспринимают только постоянную нагрузку от веса крыши. Возникающие в этой системе несимметричные нагрузки от снега и ветра арки воспринимают только благодаря связи с жесткой кольцевой балкой, находящейся над залом и придающей им устойчивость.

Чтобы крепление арок к кольцевой балке было эффективным, бетонную кровлю между ними и залом через короткие промежутки необходимо было разделить швами. В противном случае покрытие работало бы как свод, возникли бы усилия, вызывающие распор, и эффект подвешивания был бы поставлен под сомнение.

Чтобы создать впечатление висячего над залом кровельного покрытия пришлось ввести шов, который делит покрытие на две половины. Шов проходит по коньку, в результате чего исключена возможность работы покрытия в поперечном направлении как свода и достигнута возможность частичного подвешивания покрытия к аркам. Если бы покрытие представляло собой замкнутую оболочку, то не было бы необходимости в разрезке его на отдельные части. Эта совокупность сложных и радикальных мероприятий, продиктованных соображениями статики, делает конструктивную схему неясной и, к сожалению, разрушает единство большой архитектурной формы. По внешнему облику мы имеем мощное висячее покрытие, натянутое между большими арками, работающими на сжатие. Можно предположить, что именно покрытие представляет собой основу конструктивного замысла. В действительности дело обстоит иначе. Оболочка кровли выполнена из бетона и средняя часть ее усилена кольцеобразной балкой. К балке подтянуты арки, благодаря чему они становятся устойчивыми.

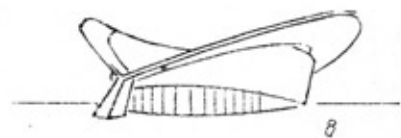
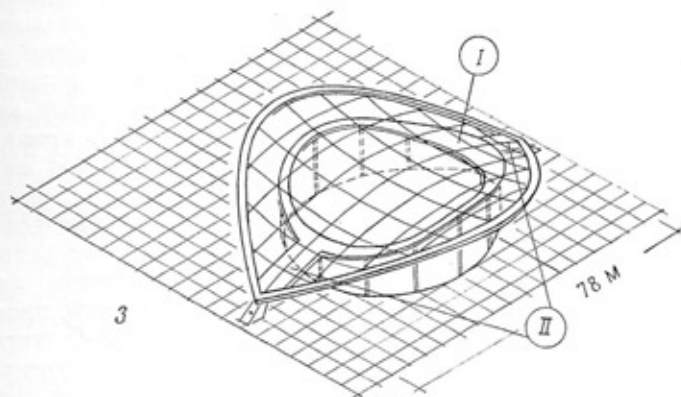
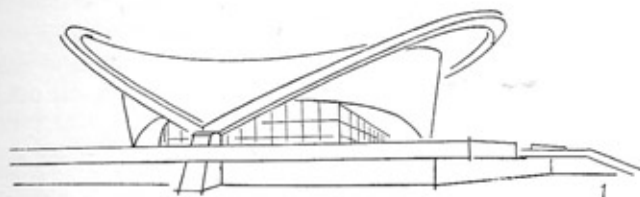


Рис. 202. Зал конгрессов в Берлине производит впечатление здания с висячим покрытием из сетки тросов, натянутой между двумя арками. В действительности покрытие бетонное

1. Общий вид
2. При несимметричной нагрузке висящее покрытие между двумя арками, опирающимися на отдельные опоры, не обладает устойчивостью
3. Перекрытие зала в виде бетонной оболочки подвешено к кольцевой балке I, которая закреплена у оснований арок II
4. Арки оттягиваются к кольцевой балке и благодаря этому приобретают необходимую устойчивость
- 5, 6 и 7. Данное покрытие может быть правильно решено в виде висящего покрытия из сетки тросов только при условии достаточной собственной жесткости арок при несимметричных нагрузках
8. Можно обойтись и без арок, обеспечив устойчивость при помощи массивных стен зала, как это сделано в натуре. Требуемый свес кровли может быть обеспечен консольной конструкцией

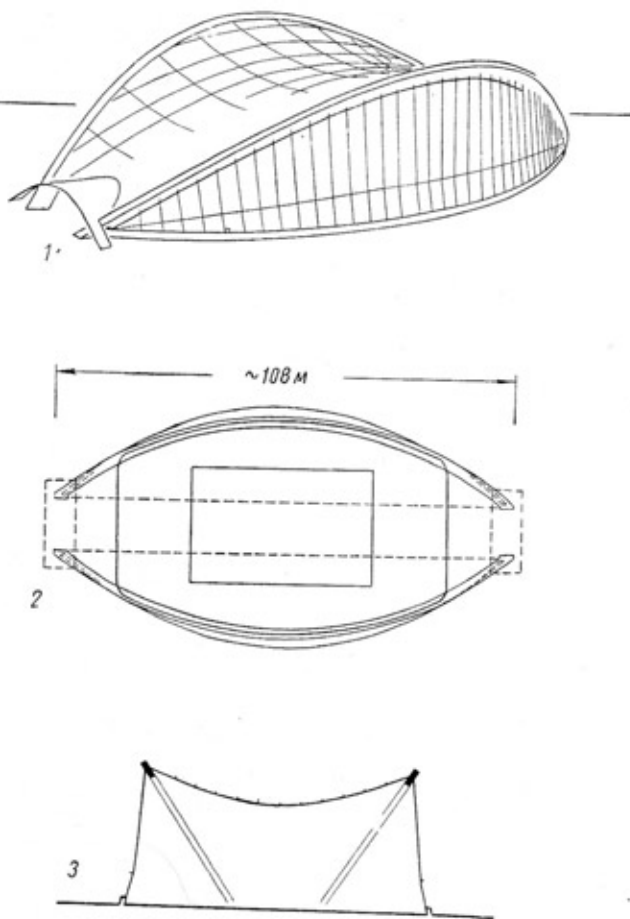


Рис. 203. Проект крытой спортивной арены в Париже

1. Две арки установлены в продольном направлении сооружения. Седловидная поверхность покрытия и поверхность стен образованы сеткой из тросов. Кроме двух арок, все конструктивные части являются тросами
- 2 и 3. План и разрез показывают, что распоры арок воспринимаются на торцах сооружения общими для двух арок фундаментами, связанными между собой затяжками

Для придания сооружению устойчивости при несимметричной нагрузке можно было бы принять следующие решения: либо отделить покрытие от стен зала и создать для него самостоятельную устойчивую конструкцию (рис. 202.5—202.7), либо соединить покрытие с залом, т. е. использовать пространственную устойчивость стен зала и расположенной над ними кольцевой балки и отказаться от излишних арок. Целесообразнее было бы придать покрытию форму оболочки со свободно выступающими консольными козырьками над стенами зала (рис. 202.8).

К сожалению, из-за отсутствия достаточного времени для разработки этой превосходной идеи не было найдено такого удачного и зрелого

решения, в котором можно было достигнуть единства архитектурной формы и конструкции. Это тем более обидно, что во всем остальном это архитектурное сооружение принадлежит к лучшим работам, созданным в ФРГ после войны.

На этих двух примерах — арены Ралей и Зала конгрессов в Берлине — видно, как трудно достигнуть логичного решения архитектуры такой своеобразной конструкции. Мы видим, с какой легкостью отказываются от ясной конструктивной идеи, как только появляются технические затруднения. В этом случае возникает ценная реакция ошибок конструктивного и архитектурного характера. Единственно правильным путем к достижению цели является непоколебимая логичность конструкции и пуританская простота архитектурной формы.

В Париже недалеко от выставочного зала в Сен-Уэне должен быть сооружен спортивный зал, конструкцию которого разработал инж. Сарже (рис. 203). Сетка двойной кривизны из тросов натянута между двумя арками, установленными вдоль продольной оси зала. Планы двух сооружений — арены Ралей и Зала конгрессов в Берлине — показывают, что арки, работающие на сжатие, лучше расположить в продольном, чем в поперечном направлении здания. Это и учтено в данном проекте. Арки ничем не подпираются и не подтягиваются к опорной центральной части сооружения, они только подтягивают друг друга и оттягиваются книзу тросами. Обе арки отводят равнодействующую усилия сжатия в общие фундаменты, которые соединены между собой затяжками, уложенными под полом вдоль продольной оси зала.

Мы хотим надеяться, что никакие формальные соображения и никакие непреодолимые препятствия не станут на пути практического осуществления этого смелого проекта!

Сарже разработал проект строительства крытого плавательного бассейна в Монако (рис. 204), который отличается небывалой до настоящего времени легкостью и воздушностью. Сетка из натянутых тросов составляет постоянную часть сооружения, а кровельное покрытие из пластмассовой фольги на летнее время может сниматься с сетки. Летом сетка из тросов используется только для подвески осветительных приборов и украшений.

Две торцовые стальные арки несут на себе натянутые в продольном направлении тросы, на которые укладываются поперечные тросы. На торцовых сторонах усилия растяжения тросов передаются через арки сеткам из тросов, образующим наружные ограждения и закрепленным в фундаменте. Для тросов предусмот-

рено применение высококачественной стали, имеющей большую прочность на растяжение. Вся конструкция натягивается весом арок и фундаментов. В результате натяжения шарнирно укрепленные в пятах арки свободно перемещаются. Покрытия боковых пристроек вдоль продольных фасадов образуют разжелобки в местах пересечения с основным покрытием седловидной формы. В этих разжелобках находятся тросы, натянутые между пятами арок; они служат как бы «растяжными дугами», придающими сеткам из тросов необходимую жесткость. Двойная кривизна покрытий пристроек имеет противоположное направление, но в отличие от основного покрытия в поперечном направлении они имеют провисающую форму, а в продольном — выпуклую кверху. Вдоль наружного края покрытий пристроек натянуты тросы по наклонно установленным опорам, работающим на сжатие. Эти опоры удерживаются в заданном наклонном положении с помощью вертикальных, работающих на растяжение элементов, заанкеренных в фундаменте.

В качестве кровли применяется пластмассовая оболочка, которая весит приблизительно 1 кг/м^2 и состоит из частей размером приблизительно 500 м^2 . Отдельные части имеют форму полотнищ, в точности соответствующих пространственной геометрии поверхностей двойной кривизны. Полотнища сшиваются друг с другом и свариваются. Укрупненные полотнища накладываются внахлестку в направлении, перпендикулярном стоку воды; швы их делаются водонепроницаемыми. Некоторым такая «архитектура» может показаться нереальной и утопичной, но человек, свободный от предвзятых мнений, не сможет отрицать того факта, что в основе развития этих своеобразных форм лежат вполне ясные конструктивные схемы, дающие основание отнести их к капитальным и долговечным.

На международной выставке 1958 г. в Брюсселе были представлены архитектурные формы, возникшие в результате непонимания новых конструкций. На выставке можно было увидеть висячие покрытия (не оболочки), которые вследствие незнания элементарной работы подвесной конструкции хотя и имели двойную кривизну, но не противоположного направления, а с выгибом в одну и ту же сторону (рис. 205.1 и 205.2). Такого рода покрытиям нельзя придать требуемой жесткости натяжением тросов. Они обвисают, как мокрый мешок. Только бесполезная дополнительная нагрузка может предохранить такого рода конструкцию от вибраций под действием ветра.

Фальшивые конструктивные формы встре-

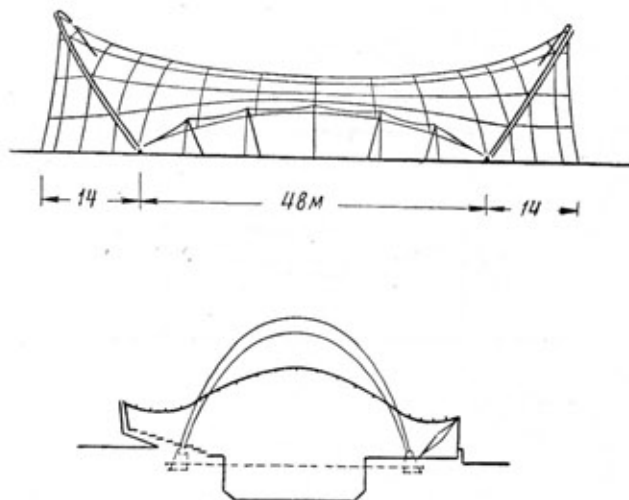
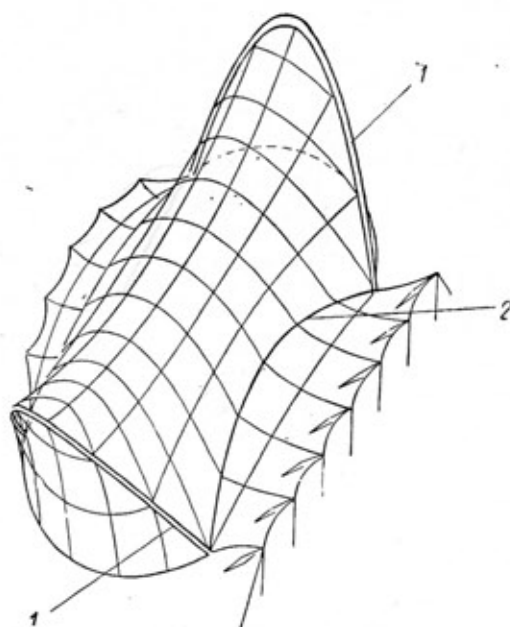


Рис. 204. Крытый плавательный бассейн в Монако

Сетка из тросов, изогнутых в противоположные стороны, натянута на две арки 1. Сетка покрывается прозрачной пластмассовой фольгой, которая в летнее время удаляется. Промежутки в продольных стенах здания создаются путем натяжения крайних несущих тросов книзу и образования жестких дугообразных разжелобков 2, к которым примыкают боковые навесы (также состоящие из тросов)

чаются также и в нижних частях сооружений. Рене Сарже, конструктор французского павильона, метко отметил следующее.

«Ложь модернизма проявляется вопиющим образом в одном из сооружений (рис. 205.3). Кровля его имеет форму седла; она натянута

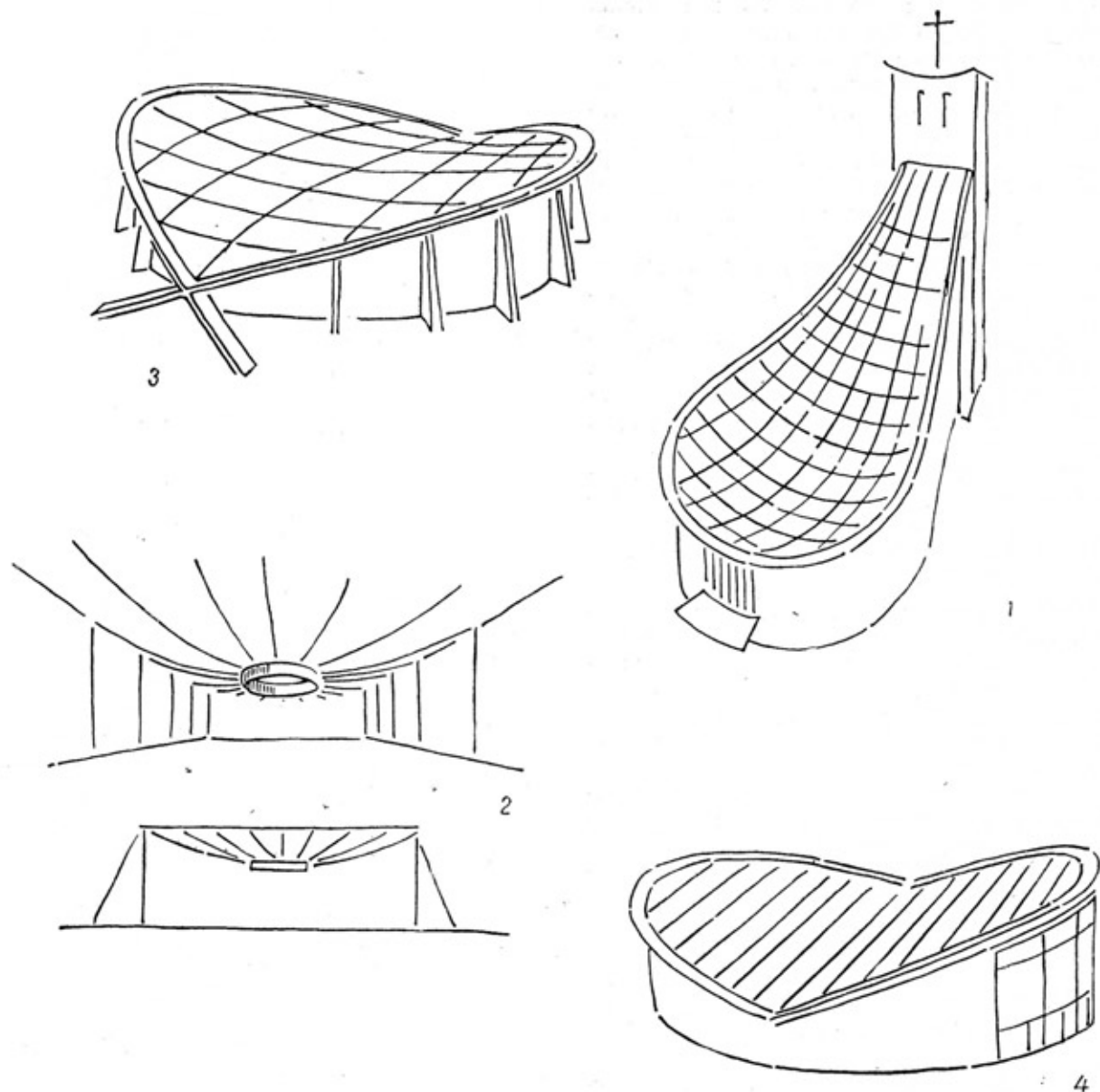


Рис. 205. Неправильно запроектированные висячие покрытия. Для формализма в современной архитектуре характерно использование чисто внешнего сходства с подлинно конструктивными формами

- 1 и 2. Двояковогнутая в одном направлении кривизна покрытия является абсурдом. Только достаточно большой собственный вес может воспрепятствовать вибрации этих покрытий
3. Контрфорсы в местах, где нет усилия сжатия являются излишним украшательством
4. Плоские поверхности кровли говорят о том, что покрытие представляет собой жесткую плиту. Наклонные дугообразные края покрытия заимствованы из конструкций висячих покрытий без всякого понимания их назначения

между двумя наклонными параболическими арками, которые приблизительно на высоте 2 м над уровнем земли скрещиваются и образуют вполне ясную двухстоечную опору. Конструктор наивно считал, что эта форма является плодом фантазии архитектора. Вспомним по ана-

логии арену Ралей. Он не понял, что наклонные арки являются конструктивными элементами и решил их как декоративный карниз. Чтобы создать видимость устойчивости сооружения, наружные стены были «окружены» прочными контрфорсами, хотя для устойчивости седло-

видной натянутой висячей кровли они совершенно излишни, тем более когда арки покоятся на сплошных наружных стенах».

Конструктор требовал установить эти ложные контрфорсы заранее, но, по имеющимся сведениям, они были забетонированы в последнюю очередь только для того, чтобы завершить выполнение проекта.

А что можно сказать о форме покрытия (рис. 205.4), состоящего из двух плоскостей, опирающихся с наклоном друг к другу на основание, имеющее в плане овальное очертание? Это перекрытие не является ни оболочкой, ни висячим покрытием, а только лишь конструкцией, состоящей из работающих на изгиб балок. Такие сооружения результат увлечения модой, а не плод разумной конструкторской мысли.

Оболочка, устойчивая против усилий сжатия и растяжения, может иметь одинарную или двоякую кривизну; последняя может быть одинакового или противоположного направления. Оболочка двоякой кривизны всегда образует замкнутую жесткую несущую конструкцию, которая непосредственно передает на опоры воспринимаемую ею нагрузку как в вертикальном, так и наклонном направлениях.

В отличие от оболочки покрытие из тросов может быть изогнуто лишь в противоположных направлениях; натяжение его может быть создано только рядами тросов, перекрещивающихся друг с другом. При помощи несущих тросов покрытие передает воспринимаемую им нагрузку вверх к наиболее высоким точкам конструкции. Направленные вверх при помощи несущих тросов усилия растяжения передаются нижней части здания. В этих сооружениях формы вспомогательных конструкций и поддерживающей части здания становятся наиболее ярким выражением действующих в висячем покрытии усилий.

Последние никогда не направлены вертикально вниз или в поперечном к поверхности кровли направлении; они должны иметь касательное к ней направление.

В сетке из тросов с очертаниями прямолинейного косоугольного четырехугольника (рис. 206) усилия натяжения тросов вызывают изгибающие моменты в прямолинейных краях. Если сделать края устойчивыми против изгиба, то покрытие натягивается под действием веса краевых балок так же, как оно натягивалось бы под действием веса арок (см. рис. 201).

Инженер Сарже использовал эту мысль при строительстве французского павильона на Международной выставке 1958 г. в Брюсселе (рис. 207). На косые ромбы натянуты ряды тросов, изогнутые в противоположных направ-

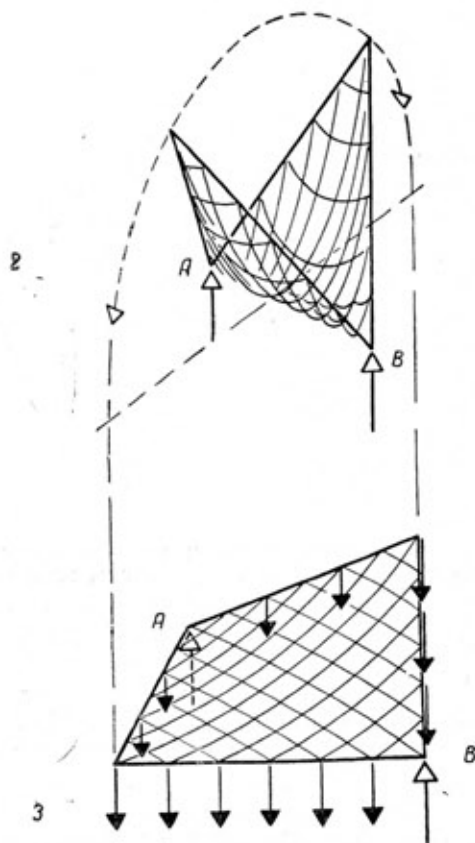
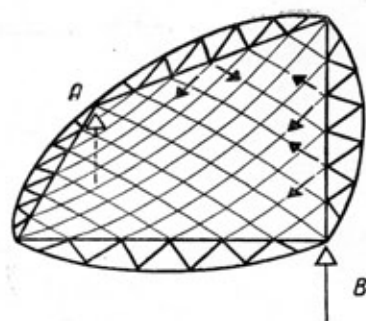


Рис. 206. Косой четырехугольник в качестве контура натянутой сетки из тросов (секция гиперболического параболоида)

1. Если сетку из тросов натянуть на косой четырехугольник, прямые края будут работать на изгиб
- 2 и 3. Сетка из тросов натягивается, если опустить и нагрузить края. Все усилия сосредотачиваются в точках опоры A и B

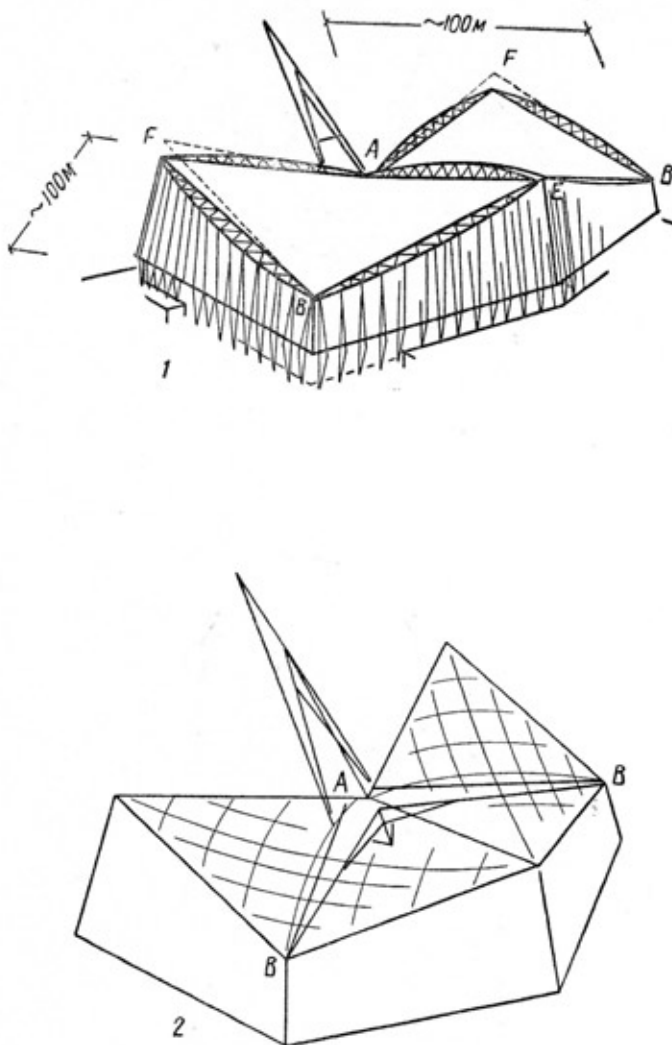


Рис. 207. Французский павильон на Международной выставке в Брюсселе 1958 г. Арх. Жиле, инж. Сарже

1. Два гиперболических параболоида $ABEF$ опираются только на две точки A и B . Края, представляющие собой жесткие балки, оттягиваются вниз под действием собственного веса и веса стен. В результате действующих напряжений точки F опускаются более чем на 50 см.
2. Через сетку тросов видно опирание обоих ромбовидных гиперболических параболоидов в наиболее низких точках A и B . Диагональные балки-стрелы AB , работающие как затяжки, воспринимают горизонтальные усилия, возникающие в сетках

лениях. Они образуют основную форму, вырезанную из середины седловидной части гиперболического параболоида (сравни с рис. 175.3). Усилия, натягивающие тросы, вызваны нагрузкой от собственного веса жестких краевых балок и стен. Оба двоякоизогнутых ромба передают вертикальную нагрузку на опоры только в точках A и B . По краям AE и EB ромбы оттягиваются вниз большой решетчатой балкой, которая выступает над поверхностью покрытия

и в свою очередь оттягивается вниз подвешенными стенами. В данном случае сетка из тросов после натяжения вызывает усилия, направленные вертикально вверх.

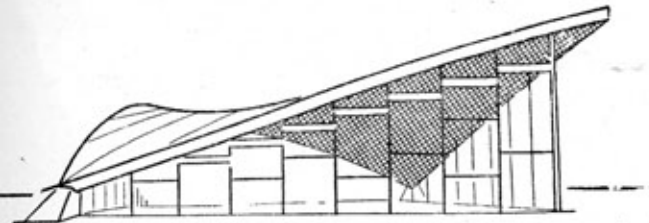
Следовательно, стены BE будут подвергаться усилиям растяжения, а решетчатая балка AE действующим вверх усилиям изгиба. Края FA и FB вначале висят свободно. Окончательное натяжение крыши создается тем, что вес краевой балки плюс вес наружных стен тянет края книзу, тем самым натягивая сеть. Расчетная величина понижения точки F в результате натяжения тросов составляла приблизительно 50 см. Сетка из тросов весит около 18 кг/м^2 , включая теплоизоляцию и кровлю. Площадь $12\,000 \text{ м}^2$ перекрывается без единой промежуточной опоры.

Нас интересуют прежде всего формы поверхностей перекрытий, изогнутых в противоположные стороны. При кривизне большого радиуса криволинейность формы ощущается только на краях, а не в самой поверхности. Края хотя и прямолинейные, но образуют перекошенный ромб. Вследствие этого как бы произвольно поднимается и опускается контур покрытия, образуются фасады косоугольного очертания и весьма необычные пропорции всего сооружения, которые сразу охватить нельзя. В результате сооружение, форма которого определяется криволинейными поверхностями покрытия и его косыми краями, отличается своеобразной архитектурой, обусловленной конструкцией. Однако эти были понято только немногими посетителями международной выставки. К тому же отдельные детали сооружения, не всегда хорошо проработанные, больше бросались в глаза посетителю, чем общая архитектурная форма. Например, в каркасе ограждающих стен не было никакой конструктивной необходимости.

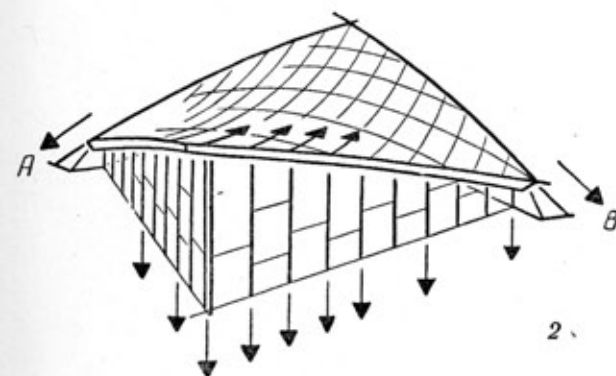
Согласно первоначальному замыслу наружные стены не имели несущих функций; они должны были служить ограждением из растянутых строительных элементов.

Однако несущий каркас наружной стены остался, так как не было достаточно времени, чтобы его заменить. Кроме того, он поддерживает большую решетчатую балку на краю покрытия. В этом здании впервые осуществлена сетка из тросов с очертаниями ромбической формы г. п., и его архитектурное и конструктивное решение без сомнения окажет огромное влияние на последующее развитие архитектуры.

Руководствуясь той же основной идеей, инженер Сарже построил ранее упомянутый павильон информации в Брюсселе (рис. 208). Интересно отметить, что вместо сетки из тросов было применено многослойное покрытие из деревянных досок, работающих на растяжение.



1



2

Рис. 208. Покрытие информационного павильона в Брюсселе следует рассматривать как висячую конструкцию из тросов, так как клееные дощатые плоскости подобно перекрещивающимся рядам тросов подвергаются действию растяжения в двух направлениях. Инж. Сарже

1. Вертикальные импосты остекленных стен, подвергающиеся усилиям растяжения, передают нагрузку фундаментов вверх к контуру покрытия и тем самым натягивают покрытие
2. Схематическое изображение сил растяжения, передаваемых импостами стеклянной стены контуру покрытия, и наклонно направленных усилий распора в точках опоры А и В, определяющих форму опор

Сила натяжения создается весом фундаментов, которые подвешиваются к краю покрытия посредством тонких оконных импостов, рассчитанных на растяжение. Таким образом, и данное сооружение, хотя оно и деревянное, следует рассматривать как натяжную конструкцию покрытия. В результате легкого отклонения краев от положения прямых образующих г.п. край покрытия кажется слегка изогнутым. Это придает сооружению характер легкости и уменьшает напряжение на изгиб в краевых элементах покрытия.

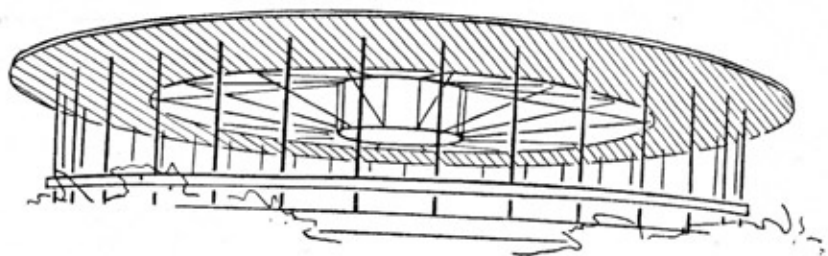
В последнее время появились конструкции, в которых различным образом комбинируются стержни и тросы. В результате передачи усилий тросами на сжимаемые стержни создается жесткая пространственная несущая конструкция. Пока еще не выработана единая достаточно ясная форма, выражающая эту конструктивную систему. Поэтому мы ограничиваемся кратким описанием некоторых наиболее известных примеров, оставляя вопрос открытым, удастся ли в будущем создать в данной области самостоятельную группу конструктивных форм.

Конструкция покрытия американского павильона на Международной выставке 1958 г. в Брюсселе (рис. 209 и фото 36) представляет большое колесо диаметром 104 м, стальной обод которого опирается на стойки, поставленные по кругу. Посредине над помещением висела барабаноподобная «ступица» колеса, поддерживаемая при помощи системы радиально натянутых тросов наподобие спиц колеса. Посетители павильона обращали внимание на большое отверстие в середине покрытия, обусловленное конструкцией, через которое в помещение проникал дневной свет. Форма носила элементарно геометрический характер. Она не поднялась до уровня эмоциональной архитектурной формы. Конструктивная идея терялась за декоративным убранством, в особенности за орнаментами наружных стен.

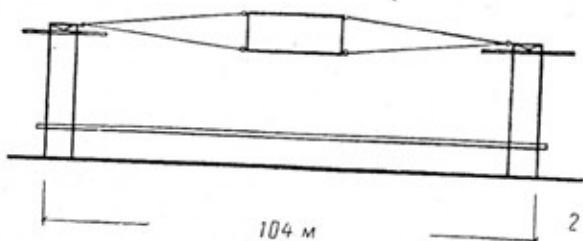
В другом месте выставки внимание привлекала сигнальная мачта (рис. 209.3), представляющая собой комбинированную конструкцию из стержней и тросов. Устойчивость ее обеспечивалась взаимодействием, с одной стороны, усилий сжатия и изгиба в стержнях, а с другой, — усилиями растяжения в натянутых тросах.

Аналогичные конструкции нам знакомы по произведениям инж. Букминстера Фуллера (рис. 209.4).

Сегодняшние возможности применения такого рода конструкций пока ограничены. Очевидно в будущем это положение изменится. Чем большее значение будет придаваться гибкости, легкости и разборности сооружений, тем более вероятно дальнейшее распространение конструкций из натяжных тросов. Конструкции, работающие на растяжение, требуют минимального расхода материалов и, следовательно, обладают минимальным собственным весом.

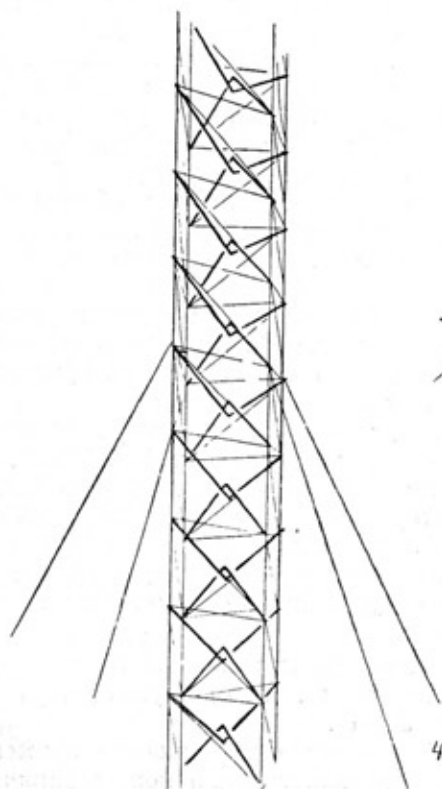


1

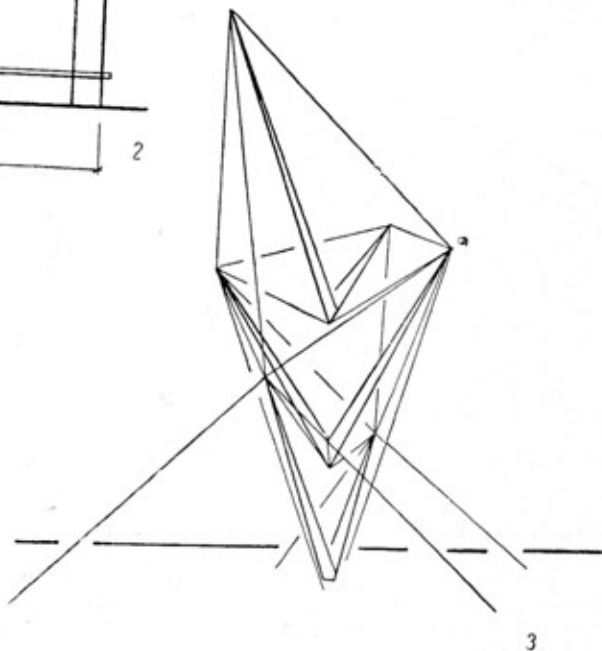


104 м

2



4



3

Рис. 209. Комбинированная конструкция из стержней и тросов

- 1 и 2. Покрытие американского павильона на Международной выставке 1958 г. в Брюсселе представляет собой большое горизонтальное колесо. К его спицам, работающим на растяжение, подвешен барабан над серединой зала. Барабан состоит из двух колец, подвергающихся растяжению, и вертикальных сжатых стержней. Спlices связывают барабан с наружным сжатым кольцом, придавая всему сооружению пространственную жесткость
3. Мачта из V-образных балок, которые совместно с системой тросов образуют пространственную жесткую конструкцию
4. Букминстер Фуллер спроектировал конструкцию из сжатых стержней и растягиваемых тросов, аналогичную показанной на рис. 209,3

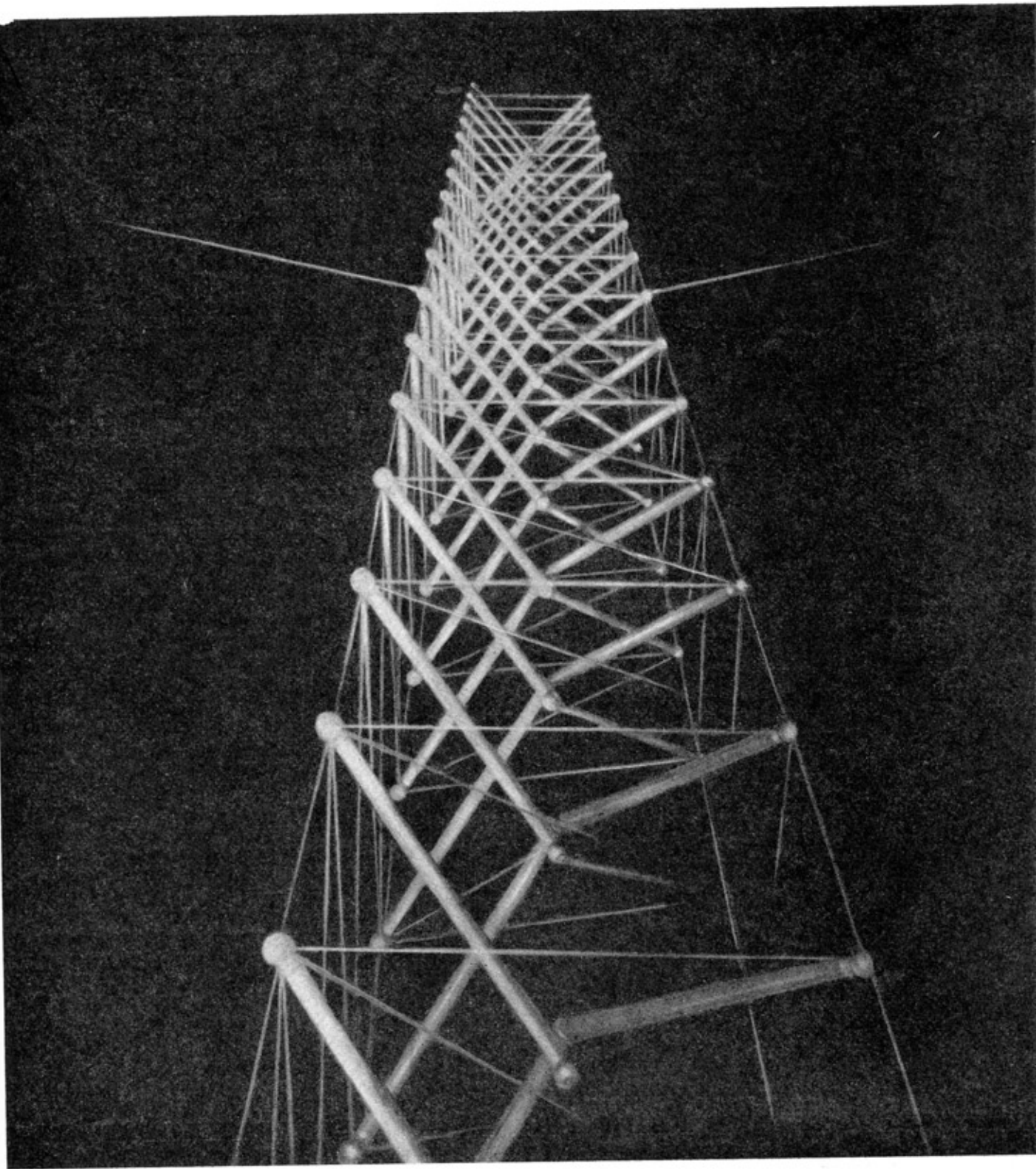


Фото 36. Стержне-тросовая конструкция. Инж. Букминстер Фуллер. Музей современного искусства, Нью-Йорк

Переходим к рассмотрению последней группы подвесных и натяжных кровельных покрытий — палаток. Они относятся к наиболее древним видам сооружений, которыми пользовался человек, вначале возводя их из шкур животных, а позднее из тканей. Только недавно палатки стали использовать как современное архитектурное сооружение. Новатором в этом деле был немецкий инженер Фрей Отто (рис. 210 и фотография 37), первый обративший внимание на геометрические и технические проблемы сооружений палаток и на привлекательные и красивые формы, которые с их помощью можно создавать. Эти проблемы следует рассматривать со всей серьезностью. Они являются актуальными и несомненно приобретут все большее значение для архитектуры больших объемов. Среди других рассмотренных нами конструктивных форм сооружения типа палаток представляют особый интерес, так как форма палаточных сооружений одновременно является конструкцией. Нет другого вида сооружений, у которого форма так непосредственно совпадает с конструкцией. До сих пор рассматривались подвесные или натяжные тросы и сетки из них, а ниже пойдет речь о тканях. По сути дела, это почти одно и то же, так как ткань можно рассматривать как сетку, состоящую из мелких ячеек.

Палатки состоят из натянутой ткани. Для предупреждения явления подвижности ткань должна быть максимально натянутой. Поверхность полотнища в натянутом состоянии должна иметь двоякую кривизну, подчиняясь тому же закону, что и ранее рассмотренные сетки двоякой кривизны из тросов. Полотнища, образующие поверхности двоякой кривизны, не могут быть развернуты в плоскости; следовательно, они должны быть такого покрова, чтобы после натяжения могли приобрести пространственную кривизну. Например, основная форма г. п., подходящая для строительства палаток, требует выкройки полос с непараллельными краями. Полосы расширяются от середины по направлению к наружному контуру.

Палатки должны поддерживаться жесткими мачтами, штангами, дугами или ребрами. Они

могут быть натянуты только при помощи этих поддерживающих элементов.

Количество возможных форм не ограничено.

Проектирование палаток скорее является делом скульптора с хорошим чутьем пластической формы, чем делом инженера. Поиски форм с помощью моделей дают очень хорошие результаты, а стремление применить математический метод конструирования палаток и точно их рассчитывать является почти безнадежным.

Нетектонические формы у палаточных сооружений невозможны. Такие палатки будут колеблющимися и неустойчивыми, так как сама форма является конструкцией.

В Америке строительство палаточных сооружений получило широкое распространение. Для университета в Йейле арх. Э. Сааринен построил крытый стадион для игры в хоккей в форме палатки (рис. 211 и фото 38). В продольном направлении здания длиной около 85 м установлена большая железобетонная изогнутая балка, служащая как бы хребтом сооружения и работающая на сжатие как арка.

В поперечном направлении к ней прикреплено покрытие в виде палатки, геометрическая форма которой заранее не была определена. На поперечные слабо натянутые тросы, несущие эту кровлю, сверху наложен второй ряд продольных тросов, которые оттягивают поперечные тросы книзу и создают необходимую жесткость поверхности кровли. Получается поверхность двоякой кривизны. Все кривые линии и закругления являются «произвольными» в том значении, как мы определили этот термин в разделе «Оболочки». Они не имеют строго геометрического характера, и обладают естественной красотой как и палатки. Обращает на себя внимание обратный выгиб кровли на торцах сооружения, который не может быть достигнут натяжением продольных тросов без того, чтобы кривизна поперечных тросов также не приняла обратного направления.

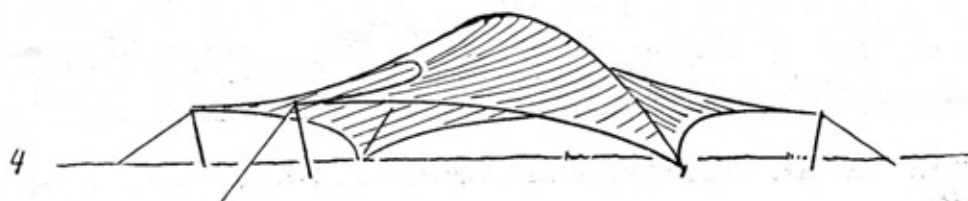
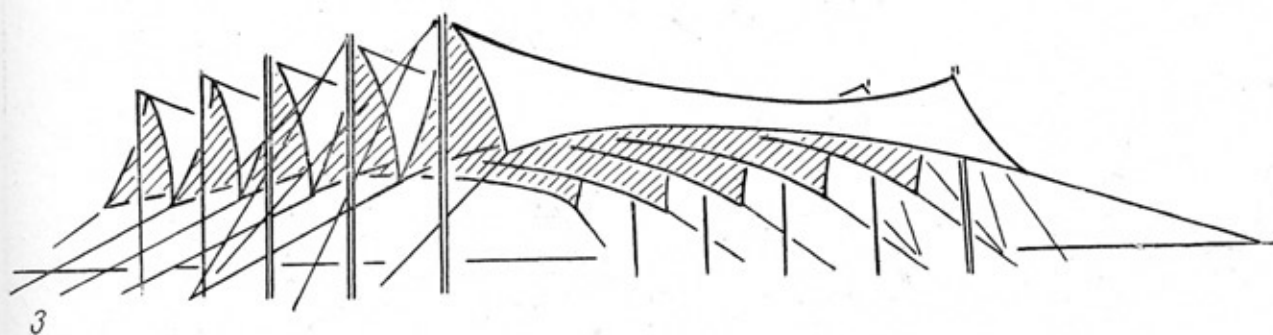
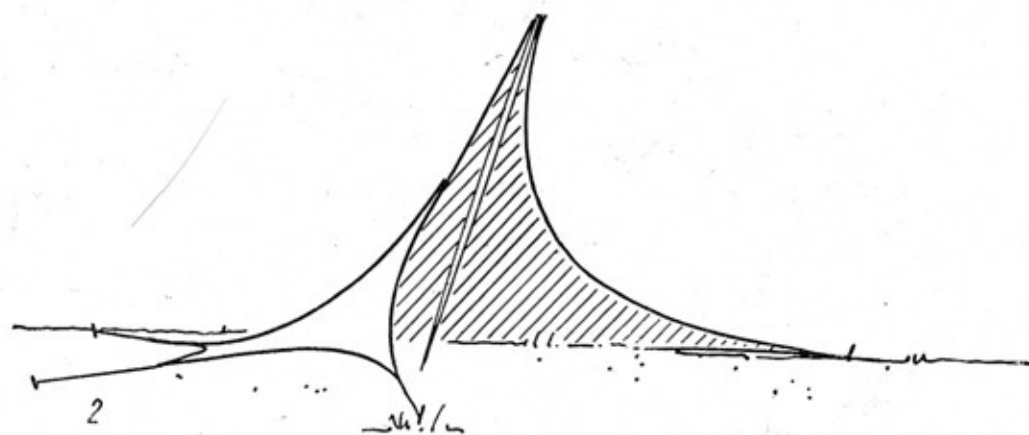
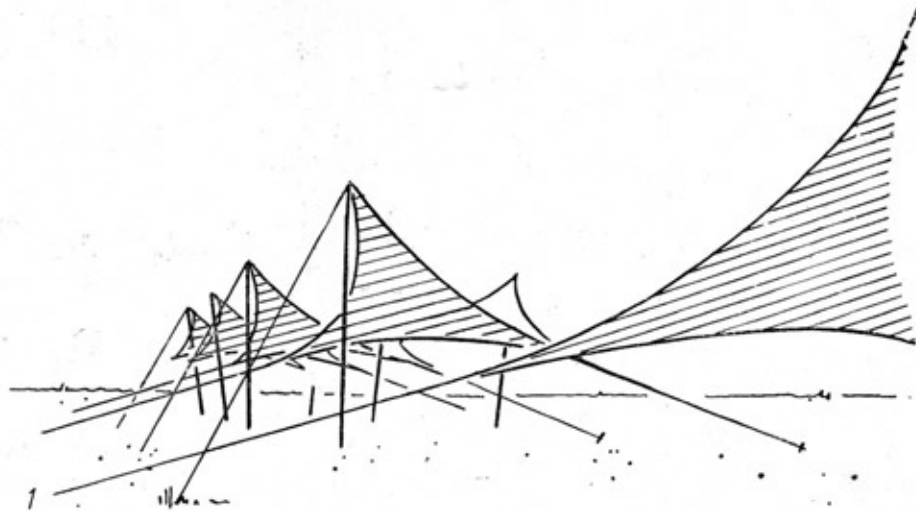
В действительности для оттяжки книзу продольных натяжных тросов в поверхности кровли на торцах сооружения встроена стальная решетка, спрятанная под кровельным покрытием. Без этой подсобной конструкции технически невозможно было бы создать обратную кривизну

Рис. 210. Палаточные сооружения Фрей Отто. Поверхности двоякой кривизны являются обязательными элементами палаток

1 и 2. Мачты и подпорки

3. Натяжные тросы, оттягивающие полотнища книзу и образующие разжелобки жесткости (сравни с рис. 204)

4. Арки, на которые накладываются полотнища палаток, являются наиболее эффективным средством опоры, придающим тканям или пластмассовой фольге натяжение и жесткость



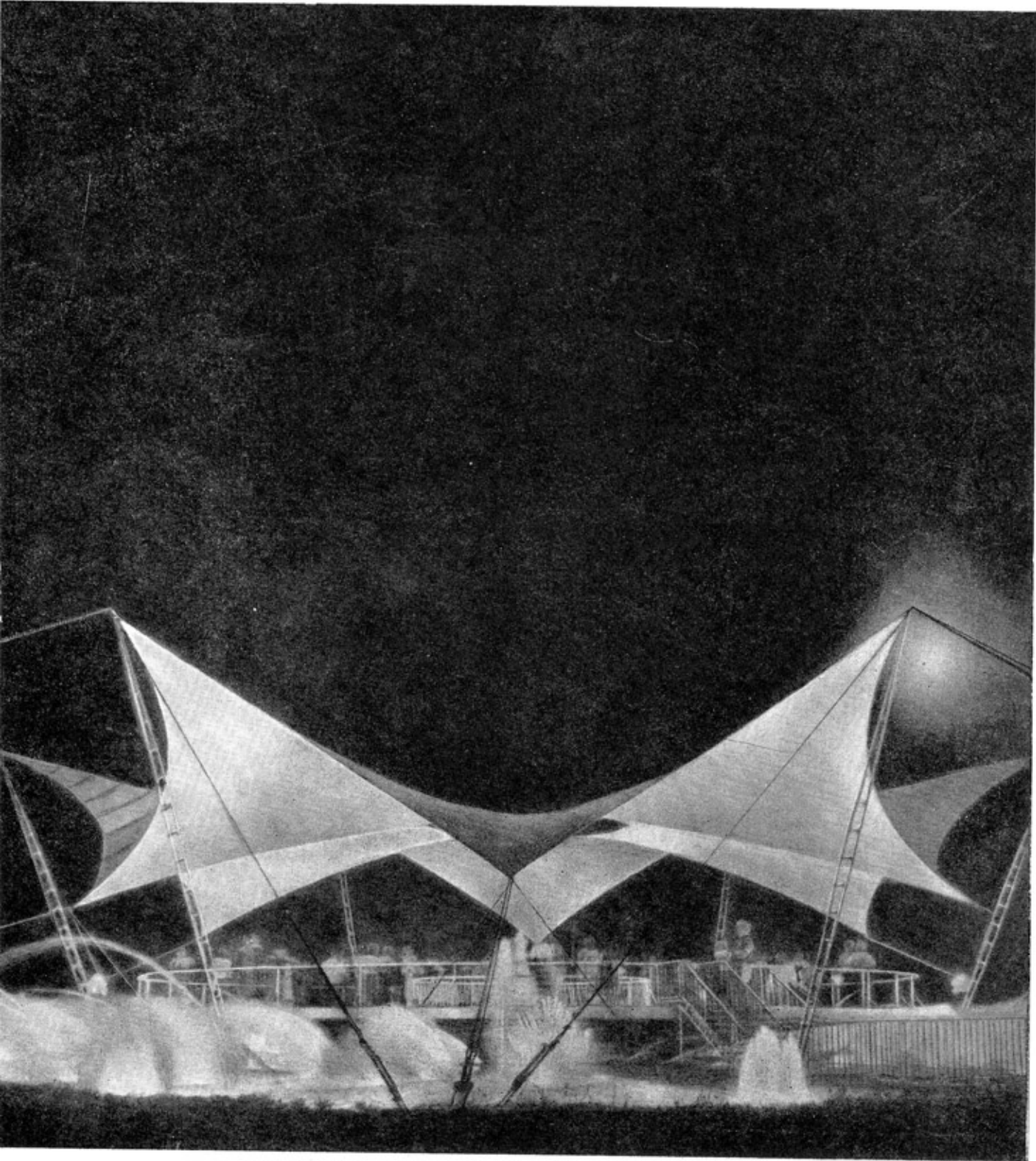
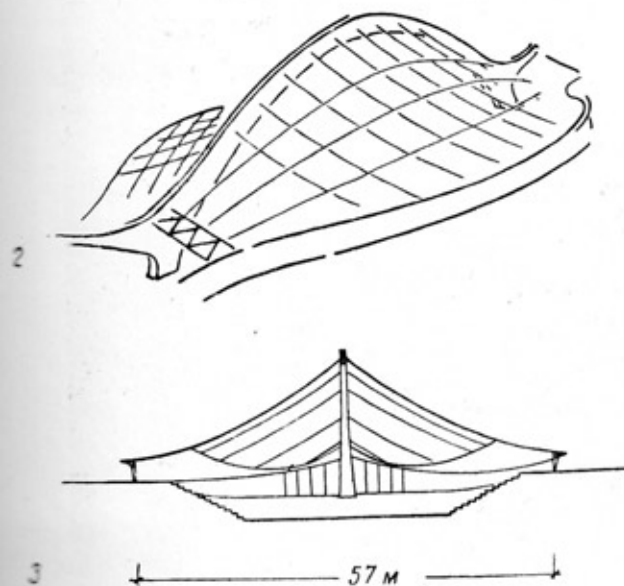
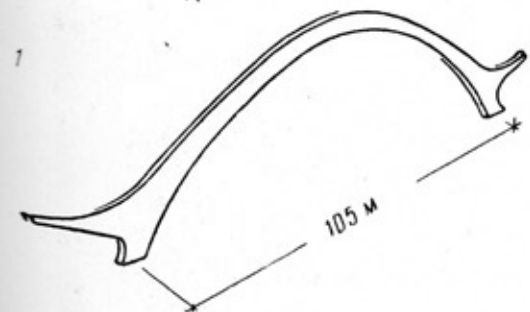
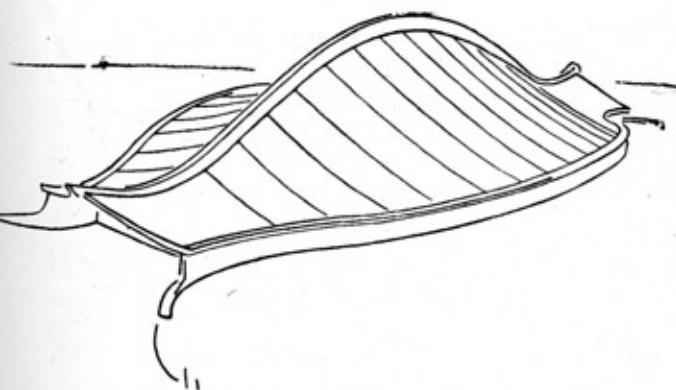


Фото 37. Палатка над танцплощадкой на выставке садоводства в Кёльне.
Арх. Фрей Отто



в продольном направлении. С точки зрения требований тектоники следует подчеркнуть это единственное противоречие между внешней формой и конструкцией. Во всем остальном необычная и монументальная архитектура данного сооружения весьма логично вытекает из своеобразной конструкции и заслуживает высокой оценки.

Заключение

Перелистаем вновь книгу и посмотрим еще раз на различные формы конструкций, обратив особое внимание на те формы, которые нам кажутся наиболее типичными и представляют собой большую группу однородных конструкций. Вспомним при этом строгие сетки каркасных зданий, оболочки Канделы, мосты Майара или складчатую конструкцию в Зале конгрессов ЮНЕСКО. Эти различные конструктивные схемы и системы нельзя втиснуть в единый «архитектурный ордер», ибо слишком широки конструктивные возможности и разнообразна тематика в современном мировом зодчестве.

Мы наблюдаем неисчерпаемое многообразие форм конструкций.

Мы вспоминаем, например V-образную опору, которая вначале применялась как стойка рамной конструкции и которая в новой форме появляется в качестве вилообразной опоры с тремя ветвями в проекте вокзала в Неаполе или в виде опоры несущей конструкции трибун на стадионе в Каракасе. Вспомним простую конструкцию цилиндрической оболочки, которая много лет применялась в качестве покрытия, а затем нашла применение в качестве стеновой конструкции, что определило новую архитектурную концепцию высотного дома.

Конечно, специалист-строитель видит ясную связь между многообразными формами архитектуры и в конечном счете воспринимает их как результат современного творческого процесса и логического стремления к созданию полноценных форм, в которых законы, определяемые свойствами материалов, используются для решения конструктивных задач.

Однако тому, кто подходит к проблеме формообразования с чисто внешней стороны, основываясь на зрительных впечатлениях без достаточного знания внутренней тектонической связи между многообразными формами, трудно найти единство во всем этом многообразии.

Из этого вытекает, что смысл современной тектонической формы не может быть постигнут без знаний конструкций и свойств современных строительных материалов. Таким образом, тре-

Рис. 211. Крытый стадион для игры в хоккей при Йельском университете в Нью-Хейвене, США. Арх. Саринен, инженеры Северуд, Эльстад и Крюгер

1. Аналогично палатке, показанной на рис. 210,4, в данном случае сеть тросов натянута на большую железобетонную арку, воспринимающую усилия сжатия.
2. Ввиду того что продольные натяжные тросы сетки на концах не могут быть выгнуты в обратную сторону без того, чтобы не придать кривизне поперечных тросов обратное направление, необходимо было в наиболее низкой части покрытия предусмотреть вспомогательную конструкцию в виде стального решетчатого элемента.
3. Поперечный разрез показывает полное соответствие этой своеобразной конструкции функциональному назначению сооружения.

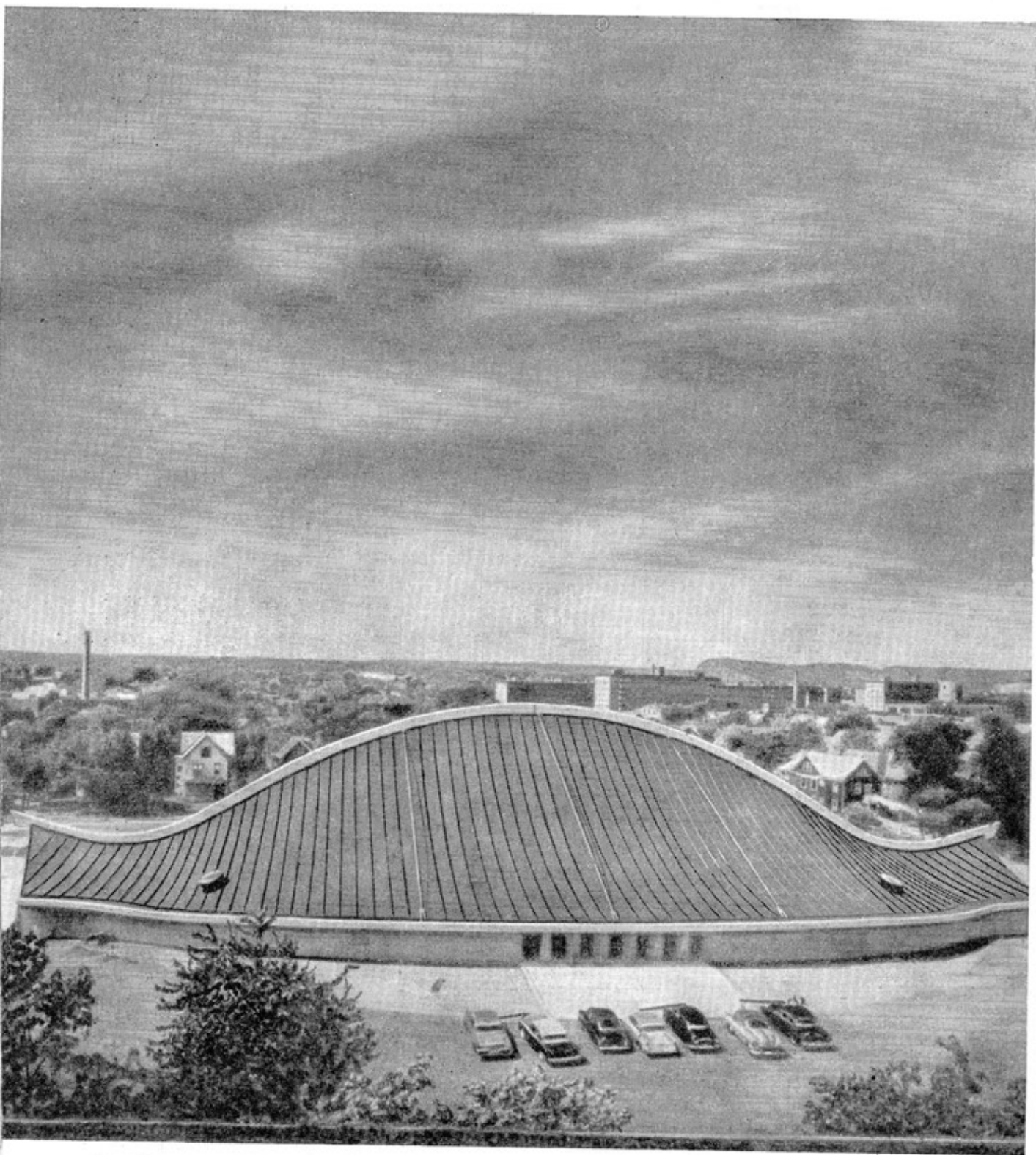


Фото 38. Стадион для игр в хоккей Пейльского университета, США.
Арх. Э. Сааринен

бование рационального подхода к проблеме тектонической формы (даже если она поднята до уровня произведения искусства) свидетельствует о том, что ее необходимо отнести к миру техники.

Другая важная особенность тектонической формы — это ее независимость от каких бы то ни было направлений и течений в архитектуре. Таким «направлением» является, например, «школа» Мис-ван-дер-Роз, с одной стороны, и так называемая школа «органической архитектуры» — с другой. Первая из них не имеет основания претендовать на то, что только она способна создавать истинно тектоническую форму, поскольку вторая вовсе не лишена этой способности. Неправильно без разбора приписывать архитектурному произведению, в котором доминируют прямоугольные формы, свойства тектоничности, а архитектурное произведение, которое отличается произвольными криволинейными очертаниями, называть нетектоничным. В настоящей книге много раз доказывается обратное. То, что наблюдателю резко бросается в глаза и воспринимается им как выражение определенного «архитектурного направления» (чтобы не назвать это стилем или модой), постоянное повторение определенных однородных форм, которые производят непосредственное впечатление на обывателя (крутая или плоская крыша, прямые углы или обтекаемые формы), не имеет никакой причинной связи с наличием или отсутствием тектоники. В каждом направлении архитектуры можно найти достаточно примеров подлинно тектонических и мнимо конструктивных форм.

Тот факт, что тектоническая форма является результатом рационального мышления и не связана с теми духовными течениями, которые рассматриваются (не всегда по праву) как «направления» в современной архитектуре, приводит часто к следующим поспешным выводам: форма конструкции, в конечном итоге, является только лишь рационально выведенной утилитарной формой. В качестве таковой она якобы относится только к деятельности инженера и не имеет отношения к искусству. Архитектура как искусство якобы стоит выше во-

просов формы, обусловленной конструкцией. Она должна, она даже обязана освободиться от этой обусловленности.

В результате такой аргументации и отчасти вследствие такого образа мысли возникают те псевдоконструкции, которые нередко бросают тень на современную архитектуру.

Было бы ошибочным впасть в другую крайность и смешивать форму, вытекающую из конструкции, с творческим произведением архитектуры. Было бы абсурдным утверждение, что хорошая конструкция сама по себе является архитектурой и было бы глупо стремиться создать фетиш из конструкции или конструктивистское направление в архитектуре. Тектоническая форма — это одно из типичных средств современного архитектурного творчества. Она возникает в результате того вполне определенного творческого метода, для которого наивысшим законом является естественная закономерность. В качестве выразительного средства ее можно приравнивать к языку.

Форма конструкции, как и язык, может быть недооценена и исковеркана, под ее напыщенностью можно похоронить лучшую идею. Но благодаря предельной ясности и четкости даже весьма скромной формы последняя может возвыситься до уровня подлинного произведения искусства.

Чтобы тектоническая форма стала средством, очищающим и формирующим современную архитектуру и придающим ей определенный порядок, необходимо углубленное изучение ее технических предпосылок, а тем самым и более глубокое изучение ее сущности. Ввиду того что тектоническая архитектурная форма возникает там, где смыкается и перекрывается область деятельности инженера и архитектора, для ее создания требуются добрая воля и целеустремленные искания обоих. В противном случае получается, как известно, только конструкция или только форма. Лишь при условии восстановления потерянных контактов, понимания общей цели и совместной работы над решением общих новых задач может быть создано то, что мы называем тектонической архитектурной формой.

	Стр.
Предисловие	6
Введение	8

Глава 1

Каркасные здания

Система сетки каркаса	14
Система с узким шагом колонн	—
Система с широким шагом колонн	21
Формы каркаса над первым этажом	25
Формы каркаса при сетке с узким шагом	26
Формы каркаса над первым этажом при сетке с широким шагом	—
Формы каркаса на углах	34
Несущие угловые колонны	35
Консольное решение торцов здания	40
Двухсторонний консольный вынос фасада	45
Решение угла при глухой торцевой стене	46
Завершение каркаса у крыши	51
Фасад первого этажа с отступом	56
Каркасная конструкция и стена из навесных панелей	57
Вычурные формы архитектуры	64
Украшательство	—
«Глухие» углы	65
Сетка каркаса, поставленная в «паспарту»	66
«Ящичные» формы в архитектуре	—

Глава 2

V-образные опоры

V-образная опора в качестве стойки рамы	78
V-образная отдельно стоящая опора	92
Несимметричная V-образная опора для эксцентричных нагрузок	99
V-образная опора с консолью	102

	Стр.
Козырьки над трибунами	108
Видообразные опоры	113
V-образная стойка с уширенной верхней опорной частью	130
Особые случаи применения V-образных несущих элементов	—
Опоры ангара, построенного по проекту Нерви	131
Проект церкви	134
Мосты Майара	—
V-образные опоры трех измерений	142
Проект вокзала в Неаполе	143

Глава 3

Пространственные несущие конструкции

Пространственные решетчатые конструкции	153
Складчатые конструкции	166
Оболочки	181
Цилиндрические оболочки	182
Оболочки как тела вращения	201
Коноиды	212
Гиперболические параболоиды	213
Произвольные формы	234
Вантовые и сетчатые конструкции	242
Односторонне изогнутые висячие покрытия	243
Тросовые сетки двойкой кривизны	246
Комбинированные конструкции из стержней и тросов	257
Палатки	260
Заключение	263



КУРТ ЗИГЕЛЬ

Ст р у к т у р а
и ф о р м а
в с о в р е м е н н о й
а р х и т е к т у р е

Тем. план 1963 г. № 142

Стройиздат
Москва,
Третьяковский проезд д. 1

Редактор издательства Т. Н. Федорова
Переплет художника А. С. Зубова
Художественная и техническая редакция Е. Л. Темкиной
Корректор Е. И. Кудряцева

Сдано в набор 22. VII. 1964 г.
Подписано к печати 1. III. 1965 г.
Бумага 84×108^{1/8} д. л.
8,375 бум. л. — 28,14 усл. печ. л.
(29,9 уч. изд. л.)
Изд. № AVI—6475
Зак. № 1379. Цена 2 р. 24 к.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР
по печати
Гор. Владимир, ул. Б. Ременники, д. 186.

Перевод с немецкого

инж. Г. М. ГОЛЬДЕНБЕРГА

Научные редакторы канд. арх. В. Г. ГРОССМАН и арх. А. И. СЕРЕБРЯНАЯ

СТРУКТУРА И ФОРМА В СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЕ

КУРТ ЗИГЕЛЬ



СТРОЙИЗДАТ 1965