

**И. Рабинович**

# **Курс строительной механики стержневых систем.**

**Часть 1. Статически определимые системы**

**Москва**  
**«Книга по Требованию»**

УДК 62-63  
ББК 30.6  
И11

И11 **И. Рабинович**  
Курс строительной механики стержневых систем.: Часть 1. Статически определимые системы / И. Рабинович – М.: Книга по Требованию, 2024. – 385 с.

**ISBN 978-5-458-51257-2**

Книга представляет собой первую часть курса строительной механики и содержит изложение основных графических и аналитических методов расчета статически определимых систем. Наряду с обязательным материалом она содержит краткое изложение ряда дополнительных вопросов в той же области. Книга является учебником для студентов строительных вузов, а также может служить пособием для инженеров-строителей в их практической работе.

**ISBN 978-5-458-51257-2**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2024  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



§ 26. Связь между линиями влияния для движущейся силы различных направлений	Стр.
§ 27. Влияние сосредоточенной силы, вращающейся вокруг неподвижной точки приложения (окружность влияния)	124
§ 28. Влияние гидростатической и тангенциальной нагрузок	126
§ 29. Исторические замечания о линиях влияния	129
	130

## Г л а в а V

### Общие свойства статически определимых систем

§ 1. Что такое статически определимая стержневая система	135
§ 2. Разделение неизвестных на две группы	135
§ 3. Связь между статической определимостью и геометрической неизменяемостью систем	136
§ 4. Единственность и конечность решения	137
§ 5. Статический критерий мгновенной изменяемости. Способ нулевой нагрузки	138
§ 6. Усилия в основной части сооружения и в элементах, прикрепленных к ней	139
§ 7. Влияние уравновешенной системы сил	141
§ 8. Влияние эквивалентных преобразований нагрузки	141
§ 9. Влияние формы и структуры геометрически неизменяемых частей сооружения	142
§ 10. Влияние температуры, смещения опор и неточной разметки для стержней	143

## Г л а в а VI

### Многопролетные статически определимые балки

§ 1. Анализ геометрической структуры	145
§ 2. Построение эпюор $M$ и $Q$ для многопролетных статически определимых балок	146
§ 3. Графическое определение наивыгоднейшего расположения шарниров и опор	147
§ 4. Построение эпюор $M$ и $Q$ при узловой нагрузке	148
§ 5. Построение эпюор углов наклона и прогибов для многопролетных балок	150
§ 6. Линии влияния усилий многоопорных балок. Статический способ их построения	150
§ 7. Построение тех же линий влияния кинематическим способом	152
§ 8. Исторические замечания	152

## Г л а в а VII

### Трехшарнирные арки и рамы

§ 1. Основные понятия	155
§ 2. Аналитический способ определения опорных реакций	158
§ 3. Эпюра изгибающих моментов	160
§ 4. Рациональное очертание оси трехшарнирной арки или рамы для вертикальной нагрузки	162
§ 5. Эпюры поперечных и продольных сил, отвечающих вертикальной нагрузке	165
§ 6. Графическое нахождение опорных реакций	168
§ 7. Использование симметрии при построении опорных реакций	169
§ 8. Многоугольник равнодействующих и кривая давлений	170
§ 9. Яdroвые моменты и нормальные напряжения	173
§ 10. О наивыгоднейшем очертании рациональной оси арки	175
§ 11. Линии влияния $H$ , $M$ , $Q$ и $N$	176
§ 12. Построение тех же линий влияния при помощи нулевых точек	177
§ 13. Кинематический способ построения линий влияния	178
§ 14. Трехшарнирная рама	179

§ 15. Системы, приводящиеся к трехшарнирным. . . . .	180
§ 16. Многопролетные и многоярусные трехшарнирные арки и рамы. . . . .	181
§ 17. Задачи и примеры. . . . .	182
§ 18. Арки или рамы с несколькими затяжками и арки с наклонными подвесками. . . . .	186
§ 19. К истории трехшарнирной арки. . . . .	190

## Глава VIII

## Расчет статически определимых плоских ферм. Балочные и консольно-балочные фермы

§ 1. Понятие о фермах. . . . .	195
§ 2. Классификация ферм. . . . .	196
§ 3. Простейшие законы образования ферм. . . . .	199
§ 4. Некоторые структурные свойства статически определимых ферм. . . . .	204
§ 5. Мгновенно изменяемые шарнирно-стержневые системы. . . . .	207
§ 6. Статический признак мгновенной изменяемости. . . . .	208
§ 7. Кинематический метод поверки на мгновенную изменяемость. . . . .	212
§ 8. „Почти изменяемые“ системы. . . . .	214
§ 9. Некоторые особенные системы. . . . .	216
§ 10. Общая форма метода сечений и его разновидности. . . . .	217
§ 11. Способ вырезания узлов. . . . .	219
§ 12. Другая возможная трактовка способа вырезания узлов. . . . .	222
§ 13. Связь между способом вырезания узлов и геометрической структурой фермы. . . . .	—
§ 14. Частные случаи равновесия узлов. . . . .	224
§ 15. Диаграммы усилий (Максвелла-Кремоны). . . . .	226
§ 16. В чем состоит „взаимность“ диаграммы и фермы?. . . . .	229
§ 17. Комбинированное построение диаграммы. . . . .	230
§ 18. Построение диаграммы методом „ложного положения“. . . . .	231
§ 19. Построение диаграммы при загружении узлов, лежащих внутри контура. . . . .	232
§ 20. Построение диаграммы для ферм, содержащих пересекающиеся стержни. . . . .	233
§ 21. Построение диаграммы для ферм с пересекающимися стержнями при помощи вспомогательной фермы . . . . .	236
§ 22. Построение диаграммы при помощи разложения нагрузки. . . . .	238
§ 23. К истории взаимных диаграмм. . . . .	239
§ 24. Способ сечений. . . . .	—
§ 25. Применение способа сечений в тех случаях, когда моментная точка недоступна. . . . .	240
§ 26. Примеры применения способа сечений . . . . .	241
§ 27. Пример. Ферма с непараллельными поясами и раскосной решеткой . . . . .	246
§ 28. Специальные балочные фермы. . . . .	248
§ 29. Более сложные случаи применения способа сечений. . . . .	251
§ 30. Способ равнодействующих. . . . .	254
§ 31. Способ двух или нескольких сечений. . . . .	255
§ 32. Способ замены стержней. . . . .	256
§ 33. Способ замены связей. . . . .	259
§ 34. Общие соображения о косвенных методах расчета ферм. . . . .	—
§ 35. Кинематический метод. Определение усилий при помощи мгновенных центров вращения. . . . .	260
§ 36. Кинематический метод. Определение усилий при помощи планов скоростей. . . . .	262
§ 37. Использование симметрии фермы. Разложение нагрузки на симметричную и обратно-симметричную. . . . .	267
§ 38. Расчет ферм на внеузловую нагрузку. . . . .	270
§ 39. Расчет составных ферм . . . . .	271
§ 40. Исторический очерк развития теории ферм. . . . .	275

## Глава IX

## Линии влияния усилий в фермах балочных и консольно-балочных

1. Общие соображения. . . . .	283
2. Построение линии влияния при помощи сечений или вырезания узлов . . . . .	—

§ 3. Задачи и примеры. . . . .	Стр.
§ 4. Построение линий влияния при помощи диаграммы усилий. . . . .	289
§ 5. Применение способа замены связей. . . . .	292
§ 6. Применение мгновенных центров вращения. . . . .	293
§ 7. Применение планов скоростей. . . . .	295
§ 8. Экспериментальная проверка теоретического расчета ферм. . . . .	300
	305

## Глава X

### Распорные фермы и распорные комбинированные системы

§ 1. Ферма с наклонным опорным стержнем. . . . .	307
§ 2. Трехшарнирная арочная ферма. . . . .	309
§ 3. Связь между усилиями в поясах двухпоясной арочной фермы и многоугольником давлений. . . . .	313
§ 4. Разновидности арочной фермы. . . . .	314
§ 5. Общие сведения о висячих системах. . . . .	315
§ 6. Расчет цепи, усиленной балкой жесткости. . . . .	316
§ 7. Понятие об общей теории вантовых ферм. . . . .	321
§ 8. Многопоясный веревочный многоугольник. . . . .	322
§ 9. Пример расчета радиальной вантовой фермы. . . . .	325

## Глава XI

### Системы, составленные из дисков, и комбинированные

§ 1. Где встречаются такие системы? . . . . .	328
§ 2. Порядок расчета. . . . .	—
§ 3. Шарнирный четырехугольник. . . . .	329
§ 4. Примеры и задачи. . . . .	332

## Глава XII

### О расчете сооружений с односторонними связями

§ 1. Примеры сооружений с односторонними связями. . . . .	335
§ 2. Особенности расчета сооружений с односторонними связями. . . . .	336
§ 3. Системы с антагонистическими связями. Четырехшарнирная арка. . . . .	336
§ 4. Условно и безусловно неизменяемые системы с односторонними связями. . . . .	340
§ 5. О расчете систем с односторонними связями. . . . .	—

## Глава XIII

### Перемещения узлов и стержней плоских ферм

§ 1. Введение. . . . .	343
§ 2. Понятие о диаграмме перемещений. . . . .	344
§ 3. Построение диаграммы перемещений в более общем случае. . . . .	346
§ 4. Построение перемещений для трехшарнирной арки. . . . .	347
§ 5. Неполярный план перемещений. . . . .	348
§ 6. Построение линий прогибов фермы при помощи диаграммы перемещений. . . . .	349
§ 7. Построение линий прогибов как веревочного многоугольника . . . . .	350
§ 8. Способ Мора построения линии прогибов. . . . .	352
§ 9. Влияние деформации поясов и решетки на прогибы фермы. . . . .	353
§ 10. Об одном приложении деформированной фигуры фермы. Расчет „иулевых“ стержней. . . . .	354

## Глава XIV

### Пространственные стержневые системы

§ 1. Значение расчета пространственных систем. . . . .	357
§ 2. Сложение сил в пространстве, . . . . .	—

§ 3. Разложение силы на три составляющие, пересекающиеся с ней в одной точке. . . . .	359
§ 4. Разложение силы или системы сил на шесть направлений. . . . .	361
§ 5. Случаи неопределенности разложения силы на шесть направлений. . . . .	362
§ 6. Признаки геометрической неизменяемости и неподвижности пространственных шарнирно-стержневых систем. . . . .	363
§ 7. Признаки геометрической неизменяемости и неподвижности пространственных рамных и комбинированных систем. . . . .	366
§ 8. Определение усилий в фермах способом вырезания узлов. . . . .	369
§ 9. Определение усилий при помощи разложения фермы на плоские системы. . .	370
§ 10. Определение усилий способом замены стержней. . . . .	371
§ 11. Задачи и примеры. . . . .	372
§ 12. Определение усилий в элементах статически определимых "биконструкций". .	377
§ 13. О некоторых течениях в области теории расчета пространственных систем. .	379

### ПРИЛОЖЕНИЕ

#### Некоторые основные построения для плоских шарнирных механизмов

§ 1. Мгновенный центр вращения и его основные свойства. . . . .	382
§ 2. Пострение мгновенных центров вращения для простых механизмов. . . . .	383
§ 3. Построение мгновенных центров вращения для более сложных механизмов. .	384
§ 4. Построение полярного плана скоростей. . . . .	385
§ 5. Построение неполярного плана скоростей. . . . .	387

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание настоящей книги вышло в 1938 г.

За истекшие 12 лет наука и техника в СССР достигли новых выдающихся успехов. Значительные успехи достигнуты также и в области промышленного, гражданского, гидротехнического и транспортного строительства. Эти успехи позволили в поразительно короткие сроки выполнить громадную работу восстановления промышленных гигантов, разрушенных оккупантами, и развернуть новое строительство, по своим масштабам не имеющее себе равного в мире.

В связи с этим выросло значение строительной механики, умножились и углубились предъявляемые к ней требования. Строительной механике приходится давать методы расчета сооружений, сплошь и рядом не имеющих себе подобных в прошлом либо по степени сложности, либо по размерам, либо по величине нагрузок, по методам возведения, по предъявляемым к ним эксплоатационным требованиям. От строительной механики ожидается также выдвижение и теоретическое обоснование новых типов и видов конструкций. Советские инженеры — конструкторы и проектировщики должны дать стране новые, смелые, прогрессивные строительные конструкции, достойные страны социализма.

Советская строительная механика успешно справляется с поставленными перед ней задачами. За истекший период она дала много нового и интересного во всех разделах, важных для нашего строительства: в теории оболочек и тонкостенных стержней; в теории динамических расчетов и устойчивости; в расчете сложных статически неопределеных систем, сооружений, лежащих на упругом основании, не вполне упругих систем; в теории давления земли и т. д. В скромных рамках теории статически определимых стержневых систем, которой посвящен настоящий первый том курса, этот прогресс не мог найти значительного отражения, однако следы его читатель увидит и здесь.

Автор стремился дать в курсе весь материал, необходимый студентам наших строительных вузов, в ясном, доступном, но в то же время научном изложении. Кроме того, помещен в весьма сжатом изложении материал, выходящий сегодня за пределы обязательной программы, но заслуживающий внимания. Этот необязательный текст выделен квадратиками.

Второе издание настоящей книги подверглось переработке по сравнению с первым изданием. Значительно сокращен раздел графостатики; внесен ряд сокращений в остальные разделы. Почти во всех главах имеются добавления, основанные на исследованиях отечественных ученых. Значительно переработаны и частично написаны заново все исторические обзоры.

Устраниены описки и неточности, вкравшиеся в чертежи и текст первого издания. Ссылки на параграфы и формулы сделаны с двойной нумерацией: римская нумерация указывает главу, арабская — параграф или формулу.

Автор признателен проф. А. А. Уманскому и коллективу возглавляемой им кафедры строительной механики Военно-воздушной инженерной академии им. Жуковского, а также проф. В. А. Гастеву за ценные замечания, учтенные автором. Автор выражает свою благодарность И. К. Снитко за внимательный просмотр рукописи и помошь в чтении корректур.

Проф. И. М. Рабинович

---

## Глава I

### ВВЕДЕНИЕ

#### § 1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ

Строительной механикой в широком смысле слова следует называть науку, которая занимается разработкой принципов и методов расчета сооружений на прочность, устойчивость и жесткость.

Цель расчета проектируемых новых сооружений на прочность и устойчивость состоит в том, чтобы обеспечить достаточную надежность этих сооружений и сочетать ее с экономичностью. Цель расчета на жесткость состоит в устраниении возможности появления больших прогибов, осадок и вибраций, хотя бы и безопасных для самого сооружения, но неудобных с эксплуатационной точки зрения.

Расчетом приходится пользоваться не только при проектировании новых сооружений, но и во всех тех случаях, когда существующее сооружение должно подвергнуться действию новых, не предусмотренных ранее нагрузок. Расчет должен выяснить, в какой степени эти нагрузки допустимы, требуется ли произвести усиление и какое именно.

К строительной механике в широком смысле этого слова относятся следующие дисциплины: сопротивление материалов, теория упругости, теория пластичности, а также строительная механика в узком и общепотребительном смысле слова. Первая из них занимается по преимуществу теорией простого бруса и является дисциплиной одинаково важной как для строительных конструкций, так и для машиностроения. Строительная механика в узком смысле слова, в отличие от сопротивления материалов, занимается по преимуществу теорией расчета системы брусьев или стержней, образующих сооружение. Обе эти дисциплины стремятся решать свои задачи, пользуясь, главным образом, сравнительно простыми математическими методами. В отличие от них теория упругости выдвигает на первый план возможно большую строгость и точность своих выводов и поэтому вынуждена прибегать к значительно более сложному математическому аппарату. Граница между этими тремя дисциплинами не может быть резко очерчена и не является постоянной. Имеется ряд пограничных вопросов, которые могут быть отнесены к любой из них. Кроме того, развитие механики, усовершенствование ее методов, появление новых, все более сложных конструкций, повышение требований, предъявляемых к практическим методам расчета с точки зрения их точности, постепенно переводят некоторые задачи из области теории упругости в область теории сооружений и теории сопротивления материалов.

Наконец, теория пластичности, которая занимается изучением деформаций и напряжений в пластичных и упруго-пластичных телах, используется в курсе строительной механики при решении некоторых вопросов, связанных с так называемой „несущей способностью“ сооружений.

Не подлежит сомнению, что развитие строительной механики приведет к значительному повышению роли этой теории.

Строительная механика в узком смысле этого слова иначе называется еще теорией сооружений. Это название можно было бы считать более правильным, но оно звучит слишком всеобъемлюще.

Более узким, а потому более удачным является название, предложенное проф. К. С. Завриевым<sup>1</sup>: „сопротивление сооружений“.

Та же наука в течение долгого времени называлась, а некоторыми авторами и до сих пор называется „статикой сооружений“ или „графической статикой сооружений“.

Эти названия совершенно не отвечают действительному содержанию науки, так как аналитические методы играют в ней не менее крупную роль, чем графические, а также потому, что, помимо статики, в современной теории сооружений заметную роль играют вопросы кинематики и динамики.

В дальнейшем мы для краткости будем пользоваться термином „строительная механика“ только в узком, ограниченном смысле слова.

Практическое значение современной строительной механики очень велико. Чем сложнее, крупнее, ответственнее сооружение, тем большее значение имеет правильный его расчет. Особенно серьезные требования предъявляются к строительной механике в СССР, где социалистическое государство ежегодно вкладывает в промышленное, гражданское, транспортное и другие строительства громадные средства, где вся страна заинтересована в экономичном и целесообразном расходовании этих средств и где отношение государства к человеческой жизни, как к величайшей ценности, делает недопустимыми строительные катастрофы и аварии сооружений.

Расчет вооружает проектировщика-строителя такими возможностями, о которых еще сто лет тому назад нельзя было и мечтать. Он как бы обнажает перед взором проектировщика скрытые в теле сооружения статические, а иногда и динамические силы, позволяет рассмотреть условия, в которых работает любой элемент, и предвидеть те напряжения, которые возникнут в материале при выбранных сечениях элементов.

Вооруженный расчетом проектировщик знает, какие элементы требуют помощи, в какую сторону следует изменить распределение сил и распределение материала, чтобы получить желательный ему эффект. Все это он может проделать заранее, ничем не рискуя, не ломая неудачного или непрочного сооружения, а лишь зачеркивая его на бумаге. Расчет обеспечивает инженеру возможность проектировать сознательно, уверенно и целесообразно, создавать конструкции смелые, но в то же время надежные; прочные, но одновременно легкие; грандиозные и вместе с тем удовлетворяющие эстетическим требованиям.

В какой неизмеримой степени усложнилась бы задача инженера, если бы ему приходилось нащупывать решение каждой отдельной задачи путем экспериментирования над моделями или путем поисков готовых образцов! При том бесконечном разнообразии заданий, условий, нагрузок и масштабов, которыми отличаются современные сооружения, это был бы невыполнимый труд. Он был бы вместе с тем мало убедительным и ненадежным, так как еще Галилею было известно, что геометрически подобные модели не являются подобными друг другу также в статическом или динамическом смысле; для того чтобы расшифровать данные эксперимента и перенести их с модели на действительное сооружение, все равно нужна теория, которая дается современной строительной механикой. Что же касается копирования готовых образцов, то оно во всяком случае не могло притти на помощь при проектировании сооружений, выделяющихся из общего уровня.

Для непосредственного, ежедневного практического применения нужен способ, приложимый ко всем системам, ко всему разнообразию возможных пролетов, нагрузок и материалов, способ математического расчета.

При наличии математической теории расчета разнообразие заданий учитывается подстановкой различных численных значений параметров в общие формулы или уравнения. Помимо несравненных достоинств — быстроты, точности и удобства, — этот способ важен еще тем, что он унифицирует принципы назначения раз-

<sup>1</sup> Проф. К. С. Завриев. Сопротивление сооружений (статика сооружений), Тбилиси, 1939.

меров сооружений и создает критерий для оценки правильности любого проекта с точки зрения прочности, устойчивости и жесткости. Вместе с тем он представляет собой как бы международный язык, понятный строителям во всех странах, способствующий широчайшему обмену опытом и быстрому прогрессу.

Однако было бы опасным заблуждением смотреть на строительную механику, как на чисто математическую дисциплину. Поскольку она имеет дело с прочностью и жесткостью реальных сооружений, сделанных из тех или иных реальных строительных материалов, ее выводы должны быть основаны на изучении и познании действительных свойств этих материалов. Поэтому подобно дисциплинам „сопротивление материалов“ и „строительные материалы“ она должна в сильной степени опираться на данные опыта.

## § 2. ЗНАЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ СООРУЖЕНИЙ И ИХ МОДЕЛЕЙ

Фиц Ломоносов предостерегал от попыток выводить законы природы чисто умозрительным путем, без опыта. Отмечая прогресс науки, он объяснял его тем, что „... ныне ученые люди, а особливо испытатели натуральных вещей, мало взирают на родившиеся в одной голове вымыслы и пустые речи, но больше утверждают на достоверном искусстве.... Мысленные рассуждения произведены бывают из надежных и много раз повторенных опытов“<sup>1</sup>. В полном согласии с этим воззрением можно сказать, что то математическое оружие расчетов, которое инженер-практик получает готовым в виде правил и формул строительной механики, могло бы на деле привести к катастрофам, если бы оно не было предварительно тщательно испытано, проверено и подтверждено и если бы опытами не было установлено, при каких условиях, в каких границах им можно пользоваться.

Но не только основные свойства материалов, как, например, предел текучести, предел упругости, модуль упругости и т. д., должны быть найдены опытным путем. Тем же путем должны поверяться все постулаты, касающиеся самих конструкций, все гипотетические свойства, которыми мы наделяем их при выработке соответствующих методов расчета.

При появлении нового сложного типа конструкции, характер работы которого не является бесспорным, а также при введении новых и важных деталей конструкций теоретические методы их расчета не могут проводиться в жизнь раньше, чем они будут проверены, подтверждены или исправлены на основании экспериментов.

Только пройдя через стадию опытной проверки, теория может претендовать на доверие к себе.

Нередко бывает и так, что эксперимент предшествует теории; после того как он покажет, какие факторы являются основными и какие второстепенными, создается возможность построить достаточно солидную теорию, которая затем уже поверяется окончательными экспериментами.

К эксперименту приходится прибегать также в тех случаях, когда проектируемое сооружение является исключительным по своим масштабам. В этих случаях второстепенные факторы, обычно игнорируемые, могут приобрести важное значение; нормированные для обычных сооружений численные коэффициенты, которые фигурируют в расчете, могут потребовать пересмотра; сама грандиозность сооружения также требует особо осторожного подхода к его расчету.

Испытание моделей в лабораторных условиях, хотя и не может заменить натурных испытаний, имеет то достоинство, что позволяет тщательно проводить все необходимые измерения и устранять приводящие и осложняющие факторы, которые всегда имеются при испытании и исследовании действительных сооружений. Например, при лабораторном испытании балки можно устроить опоры, весьма мало отличающиеся от шарнирных (опоры в виде ребра призмы), в то время как балки в сооружениях имеют более или менее жесткую и трудно поддающуюся измерению заделку; фермы и рамы можно изучать как самостоятельные системы, в то время

<sup>1</sup> М. В. Ломоносов, Предисловие к „Вольфянской Експериментальной физике“, 1746.

как в реальном сооружении они входят в состав перекрытий или каркасов и работают совместно с другими элементами, и т. д. В лабораторных условиях можно в процессе опыта постепенно изменять испытываемую конструкцию. Например, подводить дополнительные опоры, разрезать или, наоборот, скреплять элементы, изменять площади сечений, создавать искусственную осадку опор и т. д. В лабораторных условиях можно легко варьировать величину, направление и положение нагрузки, характер ее приложения; легко приводить в колебательное состояние, изучать вибрации модели и ее сопротивление ударам и сотрясениям. Наконец, в лабораторных условиях можно доводить испытываемую модель до разрушения, что имеет существенное значение для строительной механики; в обычных же условиях такой опыт можно производить только в виде исключения.

К лабораторным методам относится также оптический метод исследования напряжений, известный читателю из курса „сопротивление материалов“. Он наглядно раскрывает картину распределения напряжений в прозрачной модели и служит важным вспомогательным средством для теории расчета. В СССР этот метод нашел широкое применение.

На основании опытов, проводимых с уменьшенными моделями, приходится делать заключения, относящиеся к аналогичным системам более крупных размеров, т. е. к напряжениям, деформациям, свободным и вынужденным колебаниям сооружений. На помощь приходит в этих случаях теория моделирования и механического подобия, связанная с теорией размерностей.

Эти теории позволяют установить условия, при которых явления, протекающие в модели и в соответствующем ей оригинале, подобны между собой, а также найти коэффициенты подобия, если для обоих объектов известны соотношения между их линейными размерами, упругими характеристиками, объемными весами, величинами нагрузки и т. д.<sup>1</sup>.

Испытание действительного сооружения в отличие от лабораторных испытаний дает возможность установить истинное распределение напряжений и деформаций с соблюдением всех реальных условий работы сооружений, как бы сложны они ни были. В этом состоит достоинство так называемых „натуры“ испытаний. Зато анализ результатов испытания и выяснение роли и влияния отдельных факторов, входящих в состав цельной картины работы сооружения, оказывается нередко весьма трудным.

Современная измерительная техника и, в особенности, специальная электрическая измерительная аппаратура предоставляют исследователю работы сооружений и их моделей богатые возможности. Автоматические приборы измеряют ничтожные удлинения, укорочения, угловые деформации, прогибы и другие перемещения и записывают их в крупном масштабе. Запись может производиться вдали от места измерения, причем одновременно могут записываться показания многих приборов. Имеется возможность записывать механические колебания различных частот вплоть до очень высоких, фотографировать и фиксировать быстро протекающие процессы и т. д.

Мощные современные прессы и другие приспособления для испытания конструкций и их элементов позволяют передавать большие усилия, испытывать колонны и стержни больших сечений, а также крупные модели целых сооружений и доводить их до разрушения.

Для определения напряжений в массивных бетонных сооружениях (например, в плотинах) от неравномерного нагрева, вызванного процессом схватывания бетона, а также температурой внешнего воздуха, можно заложить термоэлектрические приборы в тело массива во время его возведения и оставить их там навсегда. Показания приборов могут быть получены на распределительном щите в любой момент<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> См. акад. М. В. Кирпичев, Теория моделирования, Журнал технической физики, т. IV, вып. 3, 1934; С. Г. Лехницкий, О переходе от напряжений в прозрачной модели напряжению в действительной детали, сборник „Экспериментальные методы определения напряжений“, 1935; Л. И. Седов. Методы теории размерностей и теории подобия в механике, 1944.

<sup>2</sup> Испытание Днепровской плотины, ч. I. Постановка эксперимента, под ред. проф. Ю. А. Инцендера. Главная редакция строительной литературы, 1937.