



ИСТОРИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ДЕЛА

**ВАЖНЕЙШИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ
ДОСТИЖЕНИЯ
С ДРЕВНИХ ВРЕМЕН
ДО XX СТОЛЕТИЯ**

РИЧАРД КИРБИ

**Сидней Уитингтон
Артур Бёрр Дарлинг
Ричард Шелтон Кирби
Фредерик Гридли Килгур**

**История инженерного дела.
Важнейшие технические
достижения с древних
времен до XX столетия**

Текст предоставлен правообладателем

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=67025240

История инженерного дела. Важнейшие технические достижения с древних времен до XX столетия / Р. Кирби, А. Дарлинг, Ф. Килгур, С. Уитингтон; Пер. с англ. Л.А. Игоревского: Центрполиграф; Москва;

2021

ISBN 978-5-9524-5602-0

Аннотация

Настоящая книга представляет собой интереснейший обзор развития инженерного искусства в истории западной цивилизации от истоков до двадцатого века. Авторы делают акцент на достижения, которые, по их мнению, являются наиболее важными и оказали наибольшее влияние на развитие

человеческой цивилизации, приводя великолепные примеры шедевров творческой инженерной мысли. Это висячие сады Вавилона; строительство египетских пирамид и храмов; хитроумные механизмы Архимеда; сложнейшие конструкции трубопроводов и мостов; тоннелей, проложенных в горах и прорытых под водой; каналов; пароходов; локомотивов – словом, все то, что требует обширных технических знаний, опыта и смелости. Авторы объясняют назначение изобретений, дают подробные описания составных частей и как они взаимодействуют, сообщают основные размеры, дают представление о технологии строительства или сборки. Завершается обзор очерком о влиянии инженерии на общество, в котором утверждается, что технология должна содействовать повышению этических и эстетических ценностей.

Книга богато иллюстрирована и написана простым доступным языком, не отягощенным большим количеством технических терминов и деталей.

В формате PDF A4 сохранен издательский макет.

Содержание

Глава 1	6
Глава 2	13
Строительство в месопотамии	18
Гидравлическая и санитарная инженерия	30
Дороги, мосты и суда	39
Египетская инженерия	43
Пирамиды и храмы	50
Ирригация	65
Глава 3	69
Минойская инженерия	71
Микенский вклад	77
Греки	80
Греческая инженерия	87
Эллинистический мир	96
Конец ознакомительного фрагмента.	101

Ричард Кирби

История инженерного дела.

Важнейшие технические

достижения с древних

времен до XX столетия

Richard Shelton Kirby

Sidney Withington

Arthur Burr Darling

Frederick Gridley Kilgour

Engineering in History

© Перевод, ЗАО «Центрполиграф», 2021

© Художественное оформление, ЗАО «Центрполиграф»,

2021

Глава 1

Истоки

Существует два фактора, которые мы узнаем, изучая историю инженерного искусства: один – прагматический, другой – общий. В дополнение к обеспечению понимания того, что необходимо для национального развития, изучение истории инженерии наглядно показывает, что это такое – быть инженером. Для широкого круга читателей такой труд может дать понимание уроков инженерного опыта, а также знания о сложности окружающей среды, созданной человеком для себя. Он внушает уважение к прошлому, подчеркивая, что сегодняшние инженеры могут добиться многого, поскольку они вооружены опытом многих людей, живших до них. Как писал Джордж Сартон в «Истории науки»: «Почитание без прогрессивного развития скучно, а прогрессивность без почитания – безнравственна и глупа». И наконец, как и любое научное исследование, изучение истории инженерии расширяет человеческие горизонты и освобождает нас от узости мышления.

Цель любого исторического труда – трактовка развития и активности человека. История инженерного искусства – всего лишь один сегмент из великого исторического повествования, но, в отличие от других историй, он фиксирует че-

ловеческую деятельность, кумулятивную и прогрессивную. Слово «прогрессивная» в данном случае не подразумевает никаких суждений о достоинствах, а обозначает движение вперед, основанное на ранее существовавших знаниях. История инженерии, таким образом, описывает часть центральной темы истории, которая раскрывает развитие цивилизации.

Что такое инженерное искусство? На этот вопрос невозможно дать однозначного ответа. В 1818 году британский архитектор Томас Тредголд впервые сделал попытку дать определение этому термину. Он назвал его «искусством направления великих ресурсов энергии в природе для использования и удобства человека». Такое определение содержалось в хартии Института гражданских инженеров, первым президентом которого был Томас Телфорд. Простое и короткое определение Тредголда было более или менее удовлетворительным для его поколения, когда транспортировка с помощью пара считалась не самым успешным новшеством и лишь немногие ученые смутно ощущали возможности, таящиеся в таинственном электрическом токе. Однако развитие шло быстро, и в течение следующих десятилетий десятки определений, сформулированных лексикографами и даже различными инженерными организациями, появившимися после 1880-х годов, больше не были адекватными.

Авторы настоящей книги осторожно и примирительно отмечают, что в середине XX века гражданские инженеры за-

нимались «искусством практического применения научных и эмпирических знаний к проектированию и производству или выполнением разного рода строительных проектов создания машин и материалов, имеющих ценность или пользу для человека». Три ключевых аспекта этого определения – «применение знаний», «проектирование и производство или выполнение» и «ценность или польза». Для того чтобы выражение «инженерное искусство» было понято правильно, все эти три ключевых аспекта должны рассматриваться вместе. Основная тема данной книги заключается в том, что прогресс инженерного искусства является результатом накопления знаний. Только это еще не все. То, что производится или достигается, должно иметь некую ценность или полезность для человека. Причем ценность не обязательно измеряется экономическими параметрами: древних пирамид на земле немало, и они едва ли имеют экономическое значение, хотя их ценность в плане веры и красоты весьма велика. Профессор Харди Кросс в своем замечательном труде «Инженеры и башни из слоновой кости» (*Engineers and Ivory Towers*) уточнил место инженерии: «Мы привыкли думать об инженерном искусстве как о части триады: чистая наука, прикладная наука, инженерное искусство. Следует подчеркнуть, что эта триада – лишь одна из многих, куда входит инженерное искусство. Первая – это чистая наука, прикладная наука, инженерное искусство, вторая – экономическая теория, финансы, инженерное искусство, третья – социальные отношения,

промышленные отношения, инженерное искусство. Многие инженерные проблемы тесно связаны с социальными отношениями, равно как и с чистой наукой».

В статье У. Хармона в *The Journal of Engineering Education* так описывается деятельность инженеров:

«Повсеместно общество платит инженерам за работу над системами, касающимися проблем, решение которых интересно этому обществу. Такие системы можно сгруппировать следующим образом: а) системы обработки материалов, включая преобразование и сохранение сырьевых и переработанных субстанций; б) системы переработки энергии, включая ее преобразование, передачу и управление; в) системы данных о переработке информации, включая ее сбор, передачу и переработку.

Выполняя эту работу, инженеры занимаются разного рода деятельностью, варьирующейся от инженерных исследований, дизайна и развития до конструирования, эксплуатации и менеджмента».

Авторы данной книги старались осветить инженерное дело в истории не так, как если бы оно возникло в историческом вакууме без связи с другими видами человеческой деятельности, а как одну из многих социальных инициатив. Иными словами, они хотели интегрировать историю инженерного искусства в общую историю. С этой целью презентация ориентирована на восемь величайших исторических перемен, полностью изменивших жизни людей. Это:

революция в производстве продовольствия (6000–3000 гг. до н. э.);
появление городского сообщества (3000–2000 гг. до н. э.);
рождение греческой науки (600–300 гг. до н. э.);
революция в энергетике (Средние века);
подъем современной науки (XVII в.);
паровая и промышленная революция (XVIII в.); электричество и начало прикладной науки (XIX в.); эра автоматического управления (XX в.).

Перечисленные выше фундаментальные перемены стимулировали инженерные открытия, которые, в свою очередь, ускоряли исторический прогресс.

До 6000 года до н. э. основным занятием человека была добыча еды. Он охотился на животных в лесах и полях, ловил рыбу в озерах и реках, собирал дикие съедобные растения везде, где мог их найти. Он не имел одомашненных растений и животных, которые снабжали бы его продовольствием и одеждой. Многие семьи и племена являлись кочевыми, передвигавшимися за источниками продовольствия. Эти люди жили в самых непрочных строениях – хижинах из травы и шалашах, хотя в некоторых частях света появлялись более надежные жилища, такие как пещеры мустьерской культуры во Франции. Плотность населения была крайне мала, лишь изредка появлялись группы из нескольких жилищ, ко-

которые можно было назвать деревнями. Инженерное искусство в таком обществе не играло никакой роли.

Возможно, в Африке или Малой Азии около 6000 года до н. э. человек начал одну из самых важных эволюций в истории. Он приступил к одомашниванию и выращиванию растений и животных. Это происходило в первую очередь в долинах Тигра, Евфрата и Нила. Человек строил жилища группами и обрабатывал прилегающую территорию. Это великое событие, начавшееся примерно восемь тысячелетий назад, продолжалось в отдаленных уголках нашей планеты даже в XIX веке. Однако для истории инженерного искусства самым существенным являлся подъем общества производителей продовольствия, имевший место на Ближнем Востоке примерно в 6000–3000 годах до н. э.

Люди, которые в это время жили в долинах Тигра, Евфрата и Нила, строили постоянные жилища. Они использовали речную воду для орошения. Их решения проблем строительства и ирригации, безусловно, были инженерными. Строительная, гидравлическая, транспортная и металлургическая инженерия зародилась именно в этот период и помогла решить ряд проблем, порожденных новым стилем жизни. Собиратели продовольствия знали, как разжигать и контролировать огонь, но производители продовольствия изобрели колесо, упряжь для волов, паруса для лодок, плуг, кирпич. Они также придумали технику выплавки меди из руды.

Вскоре после начала культивирования домашних расте-

ний и животных население стало резко расти. Более того, по мере повышения эффективности культивации стало возможно высвободить часть людей, ранее занятых производством продовольствия, и они смогли заняться другими делами. Одни стали священниками, другие – правителями, третьи – ремесленниками, некоторые из которых превратились в первых инженеров. Хотя новый образ жизни создал стимулы и возможности для развития инженерного искусства, в то же время появилась практика порабощения мужчин и женщин. Продолжение использования рабов как главного источника энергии до Средневековья сделало ненужным развитие других источников энергии на следующие три тысячелетия.

Глава 2

Городское сообщество

Первой важной переменной в жизни человека после начала и развития производства продовольствия стал подъем городов, имевший место незадолго до 3000 года до н. э. До этого большинство людей жили в деревнях, состоявших из группы фермерских домиков. Принципиальная разница между деревней и городом заключается в том, что в деревне большая часть жителей занята непосредственно в производстве продовольствия, в то время как этим занимаются лишь очень немногие жители городов. Эффективность производства продовольствия вкупе с подъемом централизованной правительственной администрации и торговли позволили многим жителям более крупных образований, чем обычные деревни, заняться другими видами деятельности, а не только сельским хозяйством или рыболовством. Они стали управленцами, администраторами, солдатами, священнослужителями, писцами, ремесленниками. Взаимодействие между этим новым городским сообществом и инженерным искусством было более плодотворным, но не менее важным стало развитие знаний и инструментов знаний, фундаментальных для инженера.

Следует помнить, однако, что ранние знания были в ос-

новном чисто эмпирическими, полученными из опыта и передаваемыми от человека к человеку. Нет никаких свидетельств существования обобщенной или абстрактной геометрии, так же как и понимания общих черт или закономерностей в явлениях природы. Короче говоря, тогда не было науки в сегодняшнем понимании этого слова. Производители продовольствия обычно передавали своим ученикам – из уст в уста – накопленные знания. Чтобы облегчить передачу знаний, позже стала использоваться элементарная письменность, вычисления и измерения. Письменность до третьего тысячелетия до н. э. состояла из сложных пиктографических символов. Сохранившиеся документы – в основном счета, контракты и списки – состоят из знаков, представлявших отдельные объекты, а позднее – идеи, связанные с объектами.

На протяжении следующих нескольких столетий писцы упростили письменность: теперь они стали подготавливать новые типы документов: исторические тексты, описания ритуалов, законодательные кодексы. С ростом и процветанием городского населения письменность прогрессировала очень быстро. Хотя исток письма был экономическим, оно довольно скоро стало применяться для самых разных целей, включая инженерию. Алфавитное письмо возникло примерно в XIV веке до н. э. Вычислительные техники и арифметика в третьем тысячелетии до н. э. постепенно стали использоваться для коммерческих целей и всевозможных измерений. С возможностью вычислений тесно связана очень грубая и

в высшей степени местная стандартизация мер и весов. Все эти перемены оказали непосредственное влияние на инженерное искусство того периода.

Рост городов также стимулировал инженерное искусство в других аспектах. Этот рост сопровождался увеличением богатства, расширением политической власти и ростом торговли. До 3000 года до н. э. большинство построек были весьма скромными, но впоследствии строительная инженерия перестала быть чисто функциональной – она стала также архитектурной. Для принцев строили великие дворцы, а для священнослужителей – огромные храмы. Следствием подъема организованной религии с ее масштабными величественными сооружениями стал рост инженерной активности и знаний. Накопление богатств и религиозная деятельность также положили начало возведению величественных гробниц, ярчайшим примером которых являются пирамиды. Их сооружение продвинуло вперед инженерное искусство, однако нельзя забывать, что мотив для их постройки был религиозным.

В низко расположенных аллювиальных долинах Тигра, Евфрата и Нила одинаково не хватает полезных ископаемых. Там была глина для изготовления кирпичей, но не было камней для дворцов, храмов и гробниц. Каменные плиты приходилось транспортировать на большие расстояния, так же как и другие материалы, к примеру древесину. Другие требования к коммуникациям и транспортировке предъявляла

экспансия политической власти, равно как и необходимость контролировать большие территории. Развитие ремесленничества и мануфактур в городах означало рост торговли, а значит, увеличение требований к транспортировке. Инженеры решали транспортные проблемы, учась строить дороги, мосты и крупные суда, которые могли покрывать большие расстояния.

Города также создали проблемы, которые постепенно были решены развитием гидравлической инженерии. Чтобы убрать поверхностные воды, рыли открытые дренажные каналы, а в некоторых случаях и подземные осушительные сооружения, которые не позволяли фундаментам тонуть в грязи. Необходимость повышения эффективности производства продовольствия привела к сооружению запруд, дамб, резервуаров и каналов для контроля разливов и ирригации. Городским жителям нужна была вода, а потому прокладывали специальные тоннели для доставки воды из соседних рек в городские резервуары, но только около 700 года до н. э. для этой цели впервые стали строить каменные акведуки.

Таким образом, в процессе городской революции политические, экономические, религиозные и социальные факторы стимулировали развитие инженерного искусства и оказывали на него влияние в дальнейшем. В свою очередь, новые инженерные решения влияли на политику, экономику, религию и социальную жизнь, давая средства, благодаря которым инженерная деятельность могла развиваться. Нет ни-

каких сомнений в том, что инженерия появилась, чтобы решать новые проблемы нового общества, но, когда инженерное искусство прочно утвердилось на своем месте, возникла обратная связь, благодаря которой оно влияло на развитие общества. Такое положение дел сохраняется и сегодня и останется таким, пока цивилизация будет динамичной и продолжит двигаться эволюционным курсом.

Строительство в месопотамии

О достижениях жителей Месопотамии нам известно очень мало, поскольку их города давно исчезли, скрытые песками пустыни. Не осталось никаких величественных монументов, вроде египетских пирамид, которые могли бы передать традиции роскоши. Авторы, описывавшие инженерную деятельность вавилонян и ассирийцев, полагались на рассказы историков древности. Знаменитый грек Геродот (485–424 гг. до н. э.), посетивший Вавилон в V веке до н. э., вплел в свое повествование об увиденном им своими глазами легенды об услышанном, не делая разницы. Страбон, Диодор и Плиний Старший в римские времена опирались и на современные записи, и на традиции.

Некоторые рассказы Геродота оказались намного ближе к истине, чем считалось веком раньше. Однако археологам еще предстоит отыскать свидетельства, подтверждающие утверждения Диодора о существовании сводчатого кирпичного тоннеля под Евфратом. Заявление Плиния о том, что стены Вавилона имели длину 60 миль и высоту 200 футов, опровергнуто измерениями на раскопках. Вавилон имел размеры примерно 2 мили на 3 (рис. 2.2). Что же касается стен, Великая Китайская стена никогда не была выше 50 футов – ни в одном месте. 200-футовая стена имела бы высоту современного 20-этажного офисного здания. Немного-

численные обнаруженные надписи не дают точной информации. Цари не были склонны проявлять скромность, оставляя потомкам записи о себе. Навуходоносор правил в Вавилоне с 605 до 561 года до н. э. Некоторые его подвиги, мечты и эпизоды трагической судьбы связаны в Библии со славой иудейского пророка Даниила. Поэтому особенно интересно узнать, что Навуходоносор также реконструировал храмы Вавилона, ремонтировал ирригационные сооружения, вымостил улицы и построил стену вокруг города. Тем не менее у нас вызывает некоторые сомнения заявление, что фундамент его стены был поставлен на дне бездны, а ее вершина поднималась выше гор.

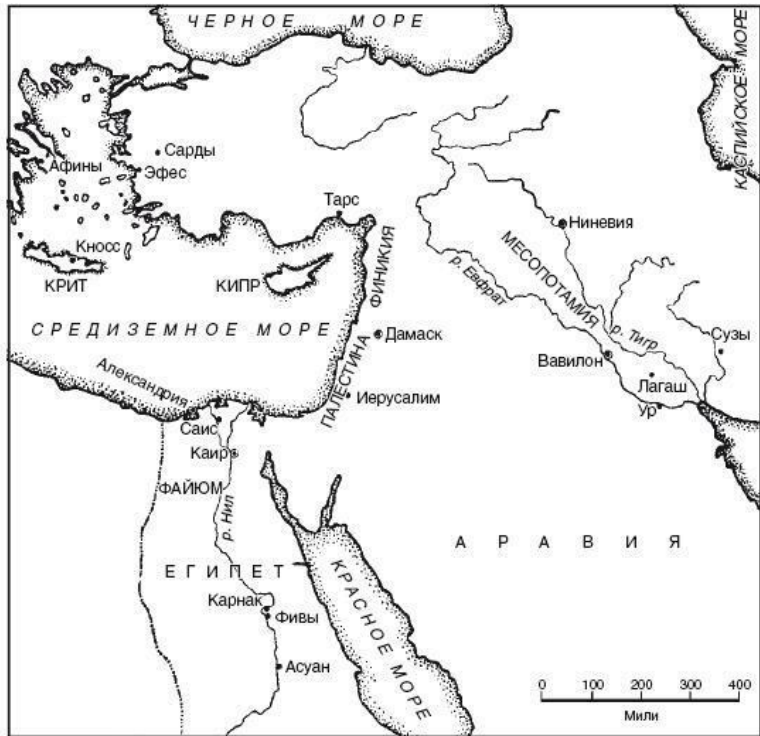


Рис. 2.1. Ближний Восток в древности

Тысячи глиняных табличек, найденных при раскопках и теперь бережно сохраняемых в музеях всего мира, являются более важными источниками информации. В основном они имеют размеры 3 на 4 дюйма, но есть и более крупные, размером с большую книгу. Многие из них датируются време-

нами Хаммурапи. Клинописные записи по большей части относятся к проблемам практической математики и показывают знания и деятельность вавилонских инженеров. Они знали, что такое прямоугольный треугольник, вычисляли площади земельных участков, объемы каменных кладок, кубатуру земли при рытье каналов. Они решали простые алгебраические уравнения и применяли знания в работе. Они использовали не десятиричную, а шестидесятеричную систему, которую мы используем и поныне для измерения углов и времени.

Архитекторы Месопотамии могли делать рисунки своих построек. Сохранились статуи мелкого правителя Гудеа, жившего около 2200 года до н. э., которые показывают его сидящим с материалами для рисования и рисунком на коленях (рис. 2.3). Но все наброски, дошедшие до нас, являются очень простыми и нередко грубыми. И хотя существует вероятность создания более сложных планов на пергаменте или папирусе, они не сохранились, равно как и записи о них. Самые важные источники информации о Месопотамии – развалины городов. Археологи обнаружили в Уре, к югу от Вавилона, остатки зиккурата, или храмовой башни, которые дают нам очень хорошее представление о его изначальной форме. Поскольку камня было мало, строители использовали кирпич, как правило высушенный на солнце. Найти топливо для поддержания огня было далеко не просто. Вы-

сокие стены нельзя было строить из кирпича, всего лишь обожженного на солнце, – такая кладка не выдержит большого давления. Когда инженеры достигали опасного предела – можно предположить, что они довольно скоро узнали из собственного опыта, где этот предел, – они начали сооружать вторую стену, позади и выше первой, на высокой земляной насыпи. Нередко строили третью и четвертую стену, иногда даже больше. В плане высокие зиккураты, вероятно, были немного похожи на наши небоскребы со смещенными назад стенами.

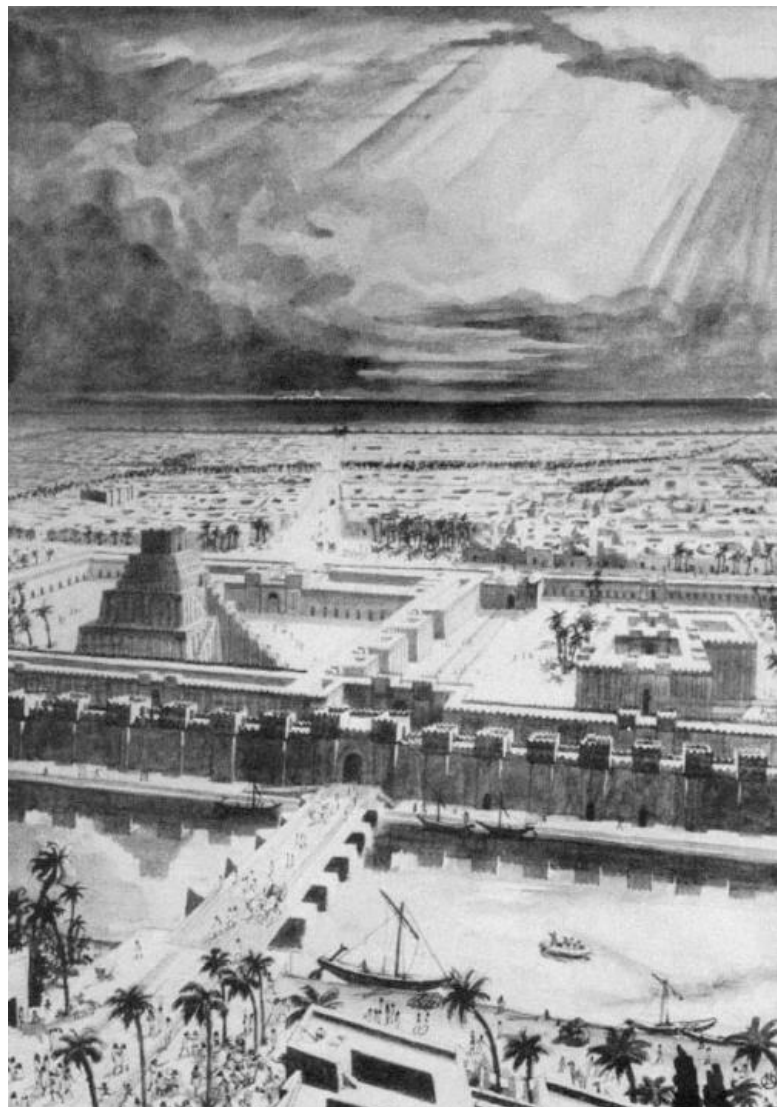


Рис. 2.2. Реставрация Древнего Вавилона



Рис. 2.3. Гудеа с рисунком на коленях

Как и современные жители пентхаусов, цари Месопотамии часто строили серию плоских крыш. Висячие сады Вавилона, созданные Навуходоносором, считались одним из семи чудес света. И возможно, благодаря храмовой башне Мардука, обладавшей невероятной высотой, тем более для людей, живущих близко к земле, до нас дошла история о Вавилонской башне. Ее действительная высота, вероятно, была не больше 100 футов. Остатки в Уре показывают, что его зиккурат был многоугольной сплошной пирамидой размером примерно 200 на 150 футов и высотой около 70 футов. Он был сложен из высушенных на солнце кирпичей и облицован обожженными кирпичами и камнями (рис. 2.4). Там имелось несколько лестниц, по которым процессии священнослужителей и верующих могли подняться к святыне на вершине. Эта кирпичная башня пережила два тысячелетия, испытала значительные изменения и перестройки – храмы Месопотамии являлись общей работой многих веков. Для связывания каменной кладки обычно использовали природный асфальт, или битум. Его до сих пор можно встретить на кирпичках, уложенных двадцатью пятью веками раньше. Желанный приз многих международных столкновений до сих пор можно видеть выступающим из-под земли возле места раскопок Вавилона. Очевидно, ранние инженеры и не думали использовать эти материалы для покрытия дорог.



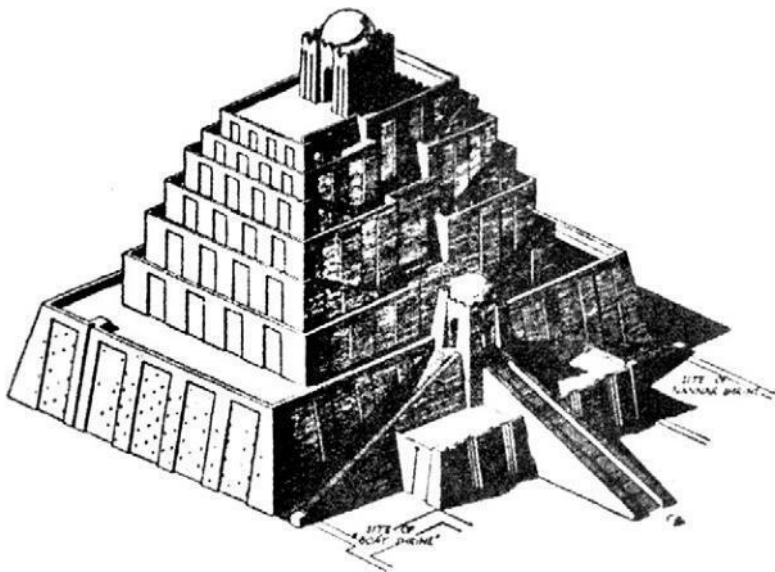


Рис. 2.4. Зиккурат Ура, нынешнее состояние и реставрация

Дворцы более поздних царей Ассирии и Персии строились из материалов, которые использовали древние шумеры на юге. К северо-востоку от Ниневии до сих пор можно видеть часть огромного дворца Саргона II, построенного в VIII веке до н. э. Изначально он состоял из трех групп построек, раскинувшихся на 25 акров. В нем было около 200 комнат. Стены были сложены из сырцовых или частично обожженных кирпичей, которые слипались в процессе высыхания и отверждения. Их облицовывали штукатуркой или глазурью.

рованными кирпичом. Но в нижних частях стен присутствуют крупные известняковые монолиты весом около 20 тонн каждый. Их инженерное и архитектурное назначение не очевидно. Дворы этого дворца были вымощены камнем или природным асфальтом. Существовала также ливневая канализация – вода стекала в выложенные кирпичом коллекторы, а оттуда – в главные каналы, покрытые плоскими каменными плитами или кирпичными сводами.

Жители Месопотамии создали два типа арок. Первый – ступенчатая или ложная арка, построенная из горизонтальных рядов кирпичей, каждый из которых слегка выступает над нижним рядом; в конце концов две стороны соединяются и закрывают пространство вверху. Принцип консоли не мог активно использоваться с такими материалами. Ступенчатые арки месопотамских инженеров имели поэтому относительно небольшие пролеты и не впечатляли ни высотой, ни шириной. Вторая форма арки – ворота в стенах – истинная арка.

Гидравлическая и санитарная инженерия

Хотя Тигр и Евфрат позволили создавать сельскохозяйственные поселения на земле, если их не контролировать, они были ужасными разрушителями. Библейская история о Потопе, судя по всему, дошла до нас из вавилонских источников. Это бедствие можно идентифицировать с наводнением в долине Евфрата. Жители Месопотамии, должно быть, с самых ранних времен столкнулись с проблемами гидравлической инженерии. Как они строили насыпи, чтобы удержать поток в русле? Как возводили дамбы, чтобы не давать воде разливаться? Как отводили воду в накопительные бассейны и рыли каналы для орошения полей в сухой сезон? Ранние строители Шумера и Вавилона добились существенных достижений в гидравлической инженерии.

Существует много легенд о Мардуке, величайшем из вавилонских богов, в одной из которых говорится о покоренном им драконе в водах на земле. Более надежными являются современные исторические тексты на глиняных табличках, датированных XV веком до н. э., в которых часто упоминаются каналы, вырытые по распоряжению разных царей. Каналы иногда служили границами. Также есть ссылки на резервуары, из которых те или иные города снабжались водой. В более поздних текстах (Третья династия Ура, пример-

но 2000 г. до н. э.) приводятся названия таких каналов и упоминаются рабочие, которые их ремонтировали и чистили. В письмах Хаммурапи (1800 или 1750 г. до н. э.) говорится об очистке каналов, а в знаменитом кодексе Хаммурапи есть разделы, посвященные «технической эксплуатации» ирригационных сооружений. В «Математических клинописных текстах» Нейгебауэр и Сакс ссылаются на таблички (большинство из них сейчас в Йеле), в которых речь идет о математических инструментах, использованных при строительстве каналов. Эти таблички датируются старым вавилонским периодом – примерно 1800 годом до н. э. Недавно расшифрованная глиняная табличка, датированная примерно 1200 годом до н. э., относится, вероятнее всего, к некоей форме привода для подъема воды из ирригационного канала. Это документ, подтверждающий, что некий человек позаимствовал водяное колесо из семнадцати ступеней длиной десять футов, утратил его и был обязан возместить его стоимость.

То, что осталось от низких дамб и других речных сооружений в Месопотамии подверглось такому сильному разрушению, а русла рек настолько изменились, что современные инженеры не рискуют давать конкретные ответы на очевидные вопросы. Сохранившиеся холмы и водоразделы показывают, что насыпи и дамбы, защищавшие земли низовьев Евфрата, имели ширину 100 футов и длину сотни миль. Где это было возможно, существовали водосливы, по которым под-

нявшаяся вода отводилась в гигантские впадины в пустыне. Эти впадины занимали 650 квадратных миль, и глубина воды в них достигала 25 футов. Но как древние строители делали свои дамбы и насыпи водонепроницаемыми и не подверженными размыванию? Как их огромные резервуары открывались и закрывались, без утраты контроля над запруженной водой? На все эти вопросы археологам еще предстоит дать ответы.

Мы располагаем лишь небольшим объемом информации об одной из величайших дамб древней истории. На арабском побережье Красного моря, которое сегодня представляет собой пустыню, в течение двух тысячелетий или даже больше жили люди, которыми правила царица Савская, и процветало сельское хозяйство. Их сравнительно богатая жизнь в X веке до н. э. (дни Соломона), судя по всему, была возможна благодаря огромным дамбам, которые задерживали дождевую воду в холмах, предохраняли верхние слои почвы от эрозии и обеспечивали ирригацию. Только очень немногие западные исследователи, ни один из которых не имел инженерного образования, попали на раскопки самой крупной из них, Марибской, или Йеменской, плотины. Согласно одному из повествований, она, вероятно, была очень большой – длиной 2 мили, высотой 120 футов, шириной 500 футов (в основании). Она была построена из 15 миллионов кубических ярдов камня. Однако, согласно другому рассказу, плотина имела в четыре раза меньшие размеры и состояла из земли. Она

продолжала использоваться до VI века н. э., когда разрушилась, вероятно, из-за пренебрежения. Откуда у людей царицы Савской знания о гидравлической инженерии – из Месопотамии, от египтян с другого берега Красного моря или они дошли до всего сами – неизвестно. Если самые восторженные рассказы верны, Марибская плотина была еще одним чудом света. Автор Джордж Хейралла повествует об арабах, которые в 1936 и 1947 годах исследовали остатки Марибской плотины. Они сообщили, что плотина длиной 650 метров, имела 5 водосливных и 14 ирригационных каналов. Эти исследователи обошли молчанием первоначальную высоту плотины, зато обнаружили остатки гранитной кладки очень высокого качества.

Низкий хребет Джерван, возвышающийся над Ниневией, издавна вводил в заблуждение археологов, считавших, что это либо дорога, либо дамба. Впоследствии при раскопках было доказано, что это акведук, который инженеры ассирийского царя Сеннахериба построили в VII веке до н. э. для снабжения Ниневии водой. Его самая примечательная черта – мост длиной более 1000 футов и шириной 70 футов. В одном месте он поднимается на 30 футов над водой и пересекает поток, опираясь на ступенчатые арки. На его сооружение ушло не менее двух миллионов известняковых плит. Русло акведука выложено известняковым покрытием, до сих пор сохранившим прочность. Объявив себя царем Ассирии и мира, Сеннахериб составил отчет об этом проекте для по-

томков, проявив небывалую для божественного представителя на земле скромность. «Я, Сеннахериб, царь Ассирии и мира, отвел на большое расстояние воды рек Хазур и Пулпуллия, воды источников близ городов Ханус и Гаммагара и воды горных источников справа и слева через канал, вырытый в долинах Ниневии. На глубоких вади построил я акведук из белых каменных блоков, через который потекла вода». Что еще удивительнее, он отдал должное инженерам и рабочим. Большой рельеф из алебаstra на стене дворца Сеннахериба в Ниневии показывает, как тяжелые статуи перемещались в горной стране.

На Ближнем Востоке было обычной практикой, если источники оказывались неподалеку, доставлять воду по тоннелям в резервуары, расположенные в пределах городских стен, чтобы был запас воды на случай осады. Женщины с кувшинами на плечах сновали вверх-вниз по каменным лестницам, чтобы принести воды. В те времена вода в дома не подавалась по трубам. Следует отметить, что водопроводы в частных домах по сей день не являются повсеместными. Такого рода тоннель, построенный в VII веке до н. э., подавал воду из источника Гихон в Силоамский пруд в Иерусалиме. Трубопровод имел высоту 6 футов, длину 1750 футов и был прорублен в горе. Строительство началось с двух концов. К счастью, каждая бригада рабочих, трудившаяся в полной тьме, слышала звуки, производимые другой, и потому после нескольких неудачных попыток они в конце концов

встретились. Надпись, повествующая об их опыте и радости по поводу удачного завершения строительства, была обнаружена в 1880 году мальчиками, купавшимися в пруду.

Ирригационная система, многие века пересекавшая равнины вдоль Тигра и Евфрата, давно исчезла под песками пустыни. Возможно, Киру в VI веке до н. э. удалось направить Тигр в 30 каналов, а потом перекрыть его главное русло земляной дамбой. В любом случае существуют остатки масштабной земляной конструкции, усиленной бревнами. Представляется, что когда-то ее верхняя поверхность была облицована кирпичом. Дамба была посвящена Мардуку и может датироваться тысячелетием до Кира. В 401 году до н. э. известный греческий полководец Ксенофонт видел сеть каналов и описал ее в «Анабасисе». Он постоянно встречал каналы, которые невозможно было пересечь без мостов. Иногда это были стационарные мосты из кирпичей и леса, иногда плавучие – из лодок. Ксенофонт утверждает, что каналы шли из Тигра и от одного до другого были прорыты траншеи. Первый канал был самым крупным, второй меньше, а последние – не более чем дренажными канавами.

Указанные каналы являлись важными инженерными сооружениями, однако жители Месопотамии и те, кто учился рытью каналов от них, не знали всего, что следует знать об этом процессе. По крайней мере, так следует из рассказа о канале, который персидский завоеватель Ксеркс, следовавший в Грецию, велел своим людям прорыть через Афонский

перешеек в 482 году до н. э. Он желал переправить свою армию, не подвергая ее опасности, минуя штормовой регион, где в Эгейском море ранее уже потерпел крушение персидский флот. Геродот поведал, что начальнику строительства Артахею не хватало всего четырех пальцев до роста 8 футов и он имел самый громкий голос из всех строителей. Историк подробно описал инженерные детали строительства. Он рассказал, как вынутый грунт перемещали с одного уровня на другой и затем увозили со стройплощадки. Он указал, что большинство рабочих всеми силами старались сделать боковые стороны канала вертикальными с катастрофическими результатами. Финикийские инженеры из армии Ксеркса сделали верхнюю часть канала в два раза шире, чем его дно. Они понимали, что канал, прорытый в земле, должен иметь пологие склоны.

Покинутые города Хараппа и Мохенджо-Даро, что в долине Инда в Западной Индии, содержат превосходные свидетельства древних знаний гидравлической инженерии (рис. 2.5). Возможно, там жили те люди или родственники тех людей, чья ранняя культура оказала большое влияние на египтян и шумеров. Как бы то ни было, на территории Мохенджо-Даро, где уже проводились раскопки, найдены остатки канализационной системы, которую можно признать эффективной даже по современным стандартам.



Рис. 2.5. Канал Хараппы, долина Инда

В 2500 году до н. э. городские власти обеспечивали для домовладельца со средним достатком санитарные удобства, которые в других местах имели только цари. Каждый из крупных домов, даже если в нем не было окон, имел колодец и, в непосредственной близости, ванную, отхожее место, прачечную, сточный колодец и место для свалки мусора. Сточные воды из жилых домов и общественных зданий отводились по керамическим трубам в крытые вымощенные кирпичом дренажные канавы, расположенные вдоль каждой улицы, оттуда сливались в поля или реки. В городе был кирпичный резервуар размером примерно 23 на 40 футов. Как

он наполнялся – загадка. То, что он был наполнен, очевидно, потому что его толстые стены были сделаны водонепроницаемыми с помощью глины и битума. Возможно, это был рыбный пруд. Хотя, вероятнее всего, это было место для ритуального омовения и очищения.

Дороги, мосты и суда

Твердое дорожное покрытие стало более ранним инженерным достижением, чем канализационные системы и водоснабжение. Люди ходили по мощенным булыжниками улицам в Ассирии еще за четыре тысячи лет до Рождества Христова, а позже – по кирпичным и известняковым тротуарам в Вавилоне. Знаменитая улица Процессий, ведущая к мосту через Евфрат, имела кирпичное основание, покрытое природным асфальтом – известняковыми плитами со скошенными стыками, установленными в битуме. Проезжая часть мостилась крупными камнями длиной и шириной 3–4 фута, тротуары – красной брекчией, состоящей из цементированных обломков нескольких горных пород. На реке было найдено семь фундаментов опор моста. Этот самый древний мост, упомянутый в документах, был построен, вероятно, во времена Навуходоносора. Хотя его опоры сделаны из маленьких обожженных кирпичей, они были довольно прочными – каждая имела размеры примерно 30 на 70 футов. У них была разумная форма – заостренный конец направлен против течения, чтобы снизить силу течения, а скругленный конец – по течению, чтобы уменьшить водовороты, которые могли размывать фундамент. Представляется вероятным, что поверх этих опор было два ряда расположенных близко друг к другу деревянных продольных балок, по кото-

рым, собственно, и проходила дорога, согласно древним историкам вымощенная каменными плитами. Мост имел длину 400 футов. В рассказе Геродота упоминается своего рода разводной пролет – возможно, военная предосторожность. Он не описывает его конструкцию.

Все ранние цивилизации на Ближнем Востоке имели дороги того или иного типа, построенные и обслуживаемые преимущественно для административных и военных целей. Что характерно, записи, которыми мы располагаем, повествуют нам очень мало. В Ассирии были специальные люди – *ummani*, которые выравнивали землю для проезда телег и строили временные мосты. Дороги, которые ими создавались, были предназначены для коммерции и поездок как в мирное, так и в военное время. Перс Дарий в VI веке до н. э. имел Царскую дорогу от Сард в Малой Азии до Суз, что вблизи Персидского залива. Она имела протяженность более 1500 миль, и по ней беспрепятственно передвигались посланцы царя. Эта «магистраль» обеспечивала связь через горные проходы и обширные пустоши. Она открыла путь на запад к Эгейскому морю и историческому столкновению между персами и греками при Марафоне. Однако пока археологи не обнаружили никаких следов этой знаменитой дороги прошлого, и нет никаких источников информации о ее конструкции.

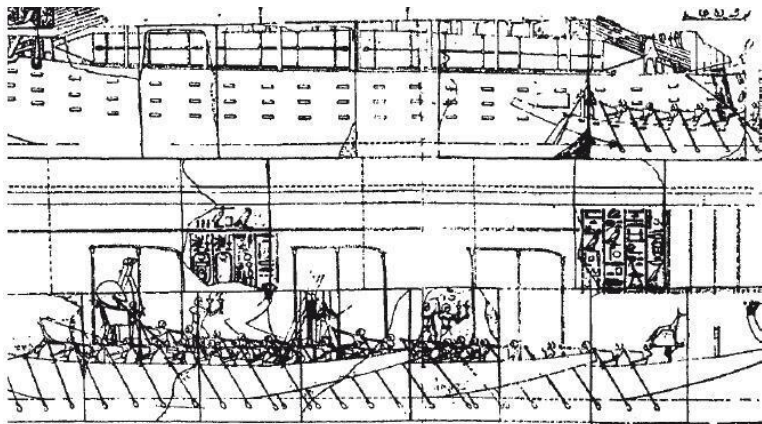


Рис. 2.6. Транспортировка обелисков

Водный транспорт во многих районах, таких, например, как Египет, имел большую важность, чем дороги по суше. До подъема цивилизации производителей продовольствия не было необходимости транспортировки по воде значительных объемов грузов. После 3000 года до н. э. появились суда значительных размеров, причем их создатели демонстрировали существенные знания деревообработки и строительства деревянных конструкций. Первоначально такие суда приводили в движение веслами, но уже до 3000 года до н. э. появились грубые паруса, так что, если ветер дул в нужном направлении, его сила помогала гребцам. Эти единичные паруса всегда крепились к мачте, установленной перед центром вращения судна, и являлись малоподвижными. В

результате команды могли их использовать, только если ветер дул с кормы.

Самые крупные суда не были самоходными. Их буксировали более мелкие суда со своими командами гребцов и, возможно, одним парусом. Около 2400 года до н. э. египтяне построили крупное судно, которое, вероятно, имело длину около 100 футов. Иными словами, оно было длиннее корабля «Мейфлауэр», который в 1620 году привез отцов-пилигримов в Массачусетс. Оно имело длину 90 футов. Судно 1600 года до н. э., перевозившее два обелиска, уложенные на главной палубе, имело длину не менее 220 футов (рис. 2.6). Потребовалось три группы более мелких весельных судов, чтобы отбуксировать его с грузом вниз по Нилу. В общем, какими бы ни были размеры древних судов, они приводились в движение в основном мускульной силой человека.

Египетская инженерия

Оседлый земледельческий народ сформировался в плодородной долине Нила за много веков до того, как эти люди сумели изложить свои достижения в письменной форме. Подъем, расцвет и упадок египетской цивилизации можно проследить приблизительно с 4000 года до н. э. Государство после длительного периода междоусобиц объединилось. Одновременно с установлением безопасности начался рост населения и богатства. Чужеземные враги были или присоединены, или завоеваны и обращены в рабство. Египет медленно перерастал из царства в империю. Один важный этап в этом далеко не быстром процессе отмечен строительством пирамид, которые были воздвигнуты примерно в 2700–2200 годах до н. э. Ирригационные проекты двенадцатой династии 2000–1800 годов до н. э. идентифицируют второй этап, а великие храмы Луксора и Карнака – третий; эти памятники семнадцатой династии в основном были построены в XVI–XIV веках до н. э. Поскольку воинственные цари того времени проводили агрессивную политику против захватчиков и расширили египетское правление от Сирии на севере до Ливии на западе, их народ жил в условиях относительной безопасности, изобилия и комфорта. А потом настало тысячелетие упадка и подчинения.

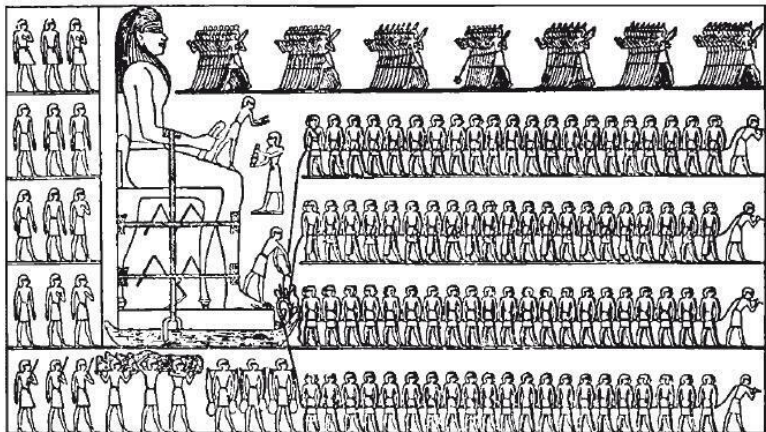


Рис. 2.7. Перемещение египетской статуи. Барельеф эпохи двенадцатой династии

Насколько известно из раскопок, надписей на памятниках и документах на папирусе, в этот период почти не было значительных прорывов в области инженерных техник. Египтяне третьего тысячелетия использовали строительные методы, обусловленные окружающей средой. Они продолжали использовать те же методы тридцатью или больше веками позже, когда их страна перестала существовать как отдельная империя. Три фактора определили характер египетской инженерии. Первые – неограниченные людские ресурсы. Все операции основывались на неограниченном использовании времени и сил рабов (рис. 2.7), захваченных во время войн или набегов на соседей. Тягловый скот играл небольшую

роль в египетском строительстве. Лошадь – почитаемое животное на Востоке – никогда не использовалась для работы. Да ее и не знали в Египте до 1700 года до н. э.

Когда труд рабов был недоступен или его не хватало, на посменные работы призывалось местное население. Представляется, что оно обладало ничуть не большей свободой выбора, чем рабы. Но было бы ошибкой представлять египетских тружеников страдающими под бичом надсмотрщика, несмотря на библейский рассказ о Моисее и его сыновьях. Крестьянин был готов к привлечению на общественные работы в то время года, когда климат и поведение реки не позволяли ему работать на своем поле. Когда к нему не применялось насилие, он, судя по всему, работал охотно. Он даже гордился своим участием в проекте и подчинялся дисциплине, необходимой, чтобы управлять большим числом людей, выполняющих одну задачу. Если верить надписям, некоторые работы выполнялись без несчастных случаев, болезней и завершались вовремя. Вторым определяющим фактором в египетской инженерии было сосредоточение гигантской армии рабочих под началом одного человека и его помощников. Ни время, ни стоимость не играли роли для фараона, решившего построить для себя гробницу, которая будет стоять вечно, или повернуть русло Нила так, чтобы пустыня превратилась в цветущий сад. Египетское инженерное искусство отличалось пышностью; масштабы его достижений вполне соответствовали тому, кто считал себя царем

и богом. Третий фактор, определивший характер египетской инженерии, – большие объемы строительного камня в долине верховьев Нила. В каменоломнях известняка, песчаника и гранита добывали экземпляры весом от 2,5 до 30 тонн для самых крупных и самых древних конструкций в мире. Из них также вырезали обелиски весом несколько сотен тонн. Как минимум одна добытая каменная глыба имела вес 1000 тонн.

Для такой работы египтяне использовали только простейшие механические принципы и приспособления. Отмечали желаемые размеры камня, делали канавки с использованием деревянного молотка и бронзовой стамески, вроде тех, что используются сейчас, и каменные глыбы откалывали от скалы с применением метода, известного сегодня как метод клиньев и перьев. Бронзовые клинья вставляют между двумя тонкими перьями и вгоняют в камень, пока он не раскалывается. Или вставляют деревянные клинья, которые расширяются за счет увлажнения и раскалывают камень. Таким способом египтяне обычно добывали известняк и песчаник. Для гранитных обелисков, обычно вырезавшихся горизонтально, египтяне вбивали клин твердым и грубым долеритом, необработанным базальтом, по кругу вдоль краев, пока не прорежут глубокую канавку и, в конце концов, откалывают камень нужного размера. Нет необходимости говорить, что этот процесс тяжелый и трудоемкий, требует физических сил, опыта и терпения. Посетители сегодняшних

каменоломен Асуана могут наглядно видеть следы применения этого метода. Большой камень до сей поры лежит там, где его когда-то бросили из-за несовершенства.

Металл, который египтяне использовали для клиньев, пил и режущих инструментов, – твердая бронза. Как ранние люди ее впервые получили – неизвестно. Мы мало знаем о технике металлообработки в этой стране. Как и многие другие ранние народы, египтяне с самого начала их цивилизации знали ценность железа, содержащего никель, которое падает с небес в виде метеоритов, и относились к нему с большим уважением, чем к золоту. Незадолго до начала 600 года до н. э. они узнали, предположительно от хеттов из Малой Азии, как выплавлять металл из руды, которую они находили в земле, и металлургия стала намного эффективнее.

Кроме клиньев, деревянных молотков и стамесок, египтяне использовали прямые рычаги и наклонные плоскости. У них были ролики, сделанные из твердой древесины акации, и в 1800–1600 годах до н. э. они узнали от жителей Малой Азии колесо, лошадь и колесницу. Вероятнее всего, в Вавилонии шумеры умели пользоваться колесницами еще до Саргона, возможно, в XXV или XXVI веке до н. э. Представляется, что египтяне не знали винта и не могли поднимать тяжелые блоки с помощью винтовых домкратов. Не было у них и шкивов для канатов. Таким образом, не имея возможности увеличить силу, используя веревку и блок, они были вынуждены прилагать всю доступную мускульную силу че-

ловека непосредственно к грузу.

Поскольку каждый камень был вырублен и получал определенную форму еще в каменоломне, инженер должен был постоянно иметь в виду общий план конструкции и положение, которое должен занять конкретный камень. Древний египтянин, как и его современный преемник, работал с чертежами, сделанными на папирусе, известняковых табличках и, иногда, на древесине. К сожалению, до нас дошли очень немногие таблички, но очевидно, что древние египетские инженеры умели показывать детали в разных проекциях и выполнять модели в масштабе.

За много веков до того, как грек Пифагор продемонстрировал обобщенную взаимосвязь между сторонами прямоугольного треугольника, египетские землемеры, судя по всему, знали, что угол между двумя сторонами треугольника является прямым, если сумма их квадратов равна квадрату гипотенузы, и применяли это знание на практике. Папирус, ныне хранящийся в Британском музее, показывает, что они также понимали, как подсчитать объем твердых тел и определить уклон или понижение, когда речь идет о высоте пирамиды и длине ее стороны. Интересны и другие факты относительно их математических знаний. Они, как и мы, использовали десятичную систему, хотя и без арабских цифр. Их дроби всегда имели цифру 1 в числителе, за исключением дроби $\frac{2}{3}$. А при определении площади круга они использовали число пи (отношение между длиной окружности и диа-

метром), равное 3,16. Общепринятая величина этого коэффициента сегодня – 3,1416.

Пирамиды и храмы

Необходимы немалые знания и опыт измерений, чтобы перенести параметры такой конструкции, как пирамида, с плана на местность. Египетские инженеры-архитекторы оставили убедительные свидетельства того, что они такими знаниями и опытом обладали. Средняя длина сторон великой пирамиды Хеопса в Гизе – 755 футов 9 дюймов в основании. Две стороны отличались от этой цифры не более чем на 1 дюйм, и два угла были построены с ошибкой в 3 или 4 минуты. Подобная степень точности едва ли могла быть получена с использованием канатов – обычных инструментов землемера. Известно, что применялись рейки, градуированные в кубитах, ладонях и пальцах (египетский кубит – чуть больше 20 дюймов, ладонь – 3–4 дюйма, палец – около $\frac{3}{4}$ дюйма). Предположительно для углов использовали большую деревянную «рейшину» длиной 8 или 10 футов. Вероятно, для выравнивания основания пирамиды использовалось некое приспособление, позволявшее смотреть вдоль или параллельно поверхности спокойной воды. Как ее смогли так точно ориентировать – ведь ее ось практически совпадает с меридианом – неизвестно.

После определения линий основания строительные проблемы только начинаются. Конструкция должна была подниматься вверх под одинаковым углом 51 градус 51 минута,

точно сохраняя ориентацию ступеней каждого ряда кладки, чтобы избежать скручивания и поддерживать горизонтальность. Все это требовало знаний и опыта строителей – впрочем, как и сегодня. Одна трудность, которую не все принимают во внимание, заключалась в том, что лежащая в основе земля не была ровной. Скалы поднимаются вверх – никто не знает, насколько высоко – внутрь тела пирамиды.

Великая пирамида Гизы (рис. 2.8) датируется XXVII веком до н. э. В ней 206 горизонтальных рядов каменной кладки, которые достигают высоты 481 фут. Это гигантская груда из $2\frac{1}{4}$ миллиона выглядящих грубо, но аккуратно выровненных и прилаженных известняковых блоков средним весом $1\frac{1}{2}$ тонны. Изначально она была облицована тщательно подобранными и обработанными плитами из того же материала, причем вес некоторых из них доходил до 15 тонн. Египетские каменщики установили эти облицовочные камни на строительный раствор из гипса и песка. При этом они добились невероятно плотных, почти непроницаемых соединений шириной не более $\frac{1}{50}$ дюйма. Эти камни были как-то заякорены к центру – как именно, точно неизвестно, в результате чего стороны пирамиды стали едиными плоскостями сверху донизу. Шли века, и эти сияющие белые облицовочные камни постепенно перекочевали в другие постройки в долине Нила – вплоть до Каира.

Внутри великая пирамида – как и другие – представляет собой главным образом плотную каменную кладку. Но есть

наклонный проход, достаточно большой, чтобы человек мог заползти внутрь. Он начинается на северной стороне и идет внутрь и вниз под углом $26\frac{1}{2}$ градуса к горизонтали. От него отходит еще один проход, ведущий вверх, в высокую, но узкую галерею, по которой можно добраться почти до царской погребальной камеры, расположенной под вершиной пирамиды. Странно, но добраться можно именно почти, а не до нее. В этой камере (17 на 34 фута) должен был вечно храниться саркофаг фараона Хуфу, или Хеопса. Она выложена гранитом и покрыта опирающимися на ступенчатый выступ гранитными плитами. Над крышей последовательно расположены пять больших разгрузочных камер, очевидно предназначенных для частичного снятия нагрузки от огромного давящего сверху веса более чем 300 футов каменных блоков. Кроме того, они могли предохранить от разрушений при землетрясении. Внутри пирамиды также есть наклонные шахты, вероятно предназначенные для вентиляции, «камера царицы» и еще одна – глубоко под основанием.

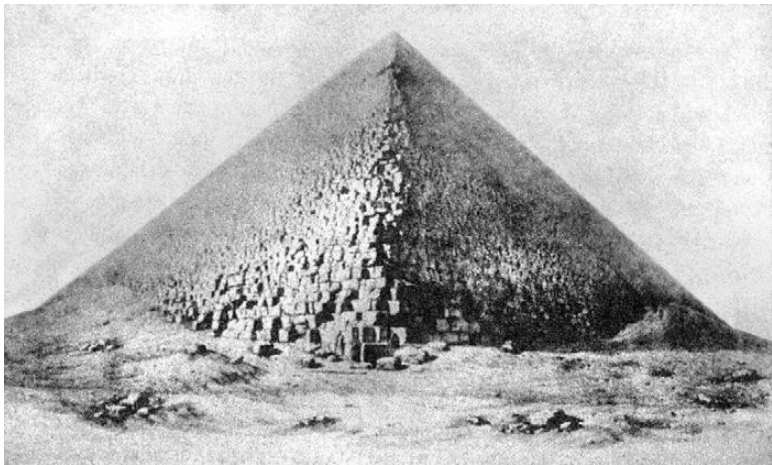


Рис. 2.8. Великая пирамида

Многие ученые считают, что эта пирамида являлась в каком-то смысле астрономической или астрологической обсерваторией. Некоторые авторы полагают, что нижние части пирамиды использовались для наблюдения за звездами еще задолго до завершения строительства. Однако больше всего вопросов вызывает именно процесс строительства. Как египетские инженеры перемещали тяжелые материалы? Как они транспортировали тяжеленные каменные блоки, поднимали их и укладывали точно на место, не имея кранов, талей и даже тягловых животных? Вопрос, зачем они это делали, интересует инженеров значительно меньше.

Сейчас преобладает следующее мнение. Египетские ин-

женеры доставляли камни вниз по Нилу и через него по высокой воде на длинных баржах, имевших прочную связь поверху от носа до кормы. Баржу швартовали максимально близко к каменоломне и стабилизировали с помощью песка, а бригады рабочих затаскивали камень на деревянных салазках по наклонной плоскости на баржу. Эта плоскость, так же как и дорога до нее (иногда длиной милю и больше), должна

была быть твердой и гладкой. 20-тонный камень невозможно протащить по сыпучему песку. Поверхность укрепляли каменными блоками, тонкими пластинами из каменоломни или смесью влажного песка, ила и глины в пропорциях, полученных из опыта. Количество людей в бригаде подсчитывалось надсмотрщиком исходя из веса камня. При любых условиях использование двадцати или пятидесяти тысяч людей в бригадах разной численности для выполнения подобных работ требовало организации и дисциплины.

Насчет способа подъема блоков и их установки на нужное место общего мнения нет. Подобная конструкция может быть воссоздана сегодня за два или три года с использованием электроприводных машин, кранов, дерриков и относительно небольшого количества людей. Однако, как это делали египтяне, неизвестно до сих пор, несмотря на наличие красочных иллюстраций в популярных журналах. Эти иллюстрации поддерживают постоянный интерес к египетским пирамидам со стороны тех, кто любит красивые картинки, но не дают точной информации о том, как пирами-

ды строились. Из древности до нас дошли сведения о самых разных приборах и процессах, но никакой достоверной информации о возведении пирамид как не было, так и нет. Чем больше Кларк и Энгельбах изучали египетские методы строительства, тем больше они убеждались, что, если какая-то деталь объясняется использованием более или менее сложного инструмента, тогда объяснение неверно.

Теория песчаных насыпей, одна из самых старых, предполагает, что после укладки каждого ряда камней его окружали слоем песка, который спускался под наклоном до земли. По этой наклонной насыпи втаскивали материалы для следующего слоя. Когда строительство пирамиды завершалось, она оказывалась практически полностью засыпанной песком, который потом, разумеется, следовало убрать. Учитывая угол естественного откоса песка (примерно два горизонтальных ряда к одному вертикальному), ширина основания песчаной горы, покрывающей пирамиду высотой 500 футов, окажется более 2000 футов, возможно, полмили. Француз Огюст Шуази полагает, что камень укладывали на прочные деревянные салазки с цилиндрической нижней поверхностью, как будто вырезанной из ствола дерева, и катили их с использованием гигантских рычагов, вероятно, с противовесом. Из надписей в гробницах и небольших моделей, дошедших до нас из древности, следует, что египтяне использовали такие салазки для подъема и перемещения грузов. Когда одну сторону поднимали, вниз ставились подпорки; рычаги перемеща-

лись к другой стороне, и операция повторялась. Таким образом каменные блоки могли подниматься, шаг за шагом, к вершине пирамиды.

Еще одна теория, вроде бы подтверждаемая имеющимися свидетельствами, заключается в том, что египтяне строили наклонную дорогу до уровня, который в данное время сооружался. Такая рампа могла быть или прямой, или полностью огибающей конструкцию. Если вести речь о прямой рампе, по мере роста пирамиды один слой накладывается поверх другого. И каждый раз, естественно, необходимо выравнять и укреплять поверхность. С круговой рампой трудностей, на первый взгляд, меньше. Если возводить ее под умеренным наклоном, она может обогнуть пирамиду несколько раз, прежде чем достигнет вершины. Периодически возможны платформы, крутые подъемы и спуски, а также повороты, и удерживающая стена из камня или кирпича вдоль внешнего края. В 1914 году археологи нашли остатки рампы. Она была выложена высушенными на солнце кирпичами самых разных размеров: одни – привычных для нас размеров, другие могли поднять только два человека. Огромные гранитные перемычки, вроде тех, на которые опиралась крыша царской погребальной комнаты в пирамиде Хеопса, вероятно, устанавливались с использованием метода раскачивания. Каждый камень весом около 55 тонн мог опираться на две опоры, поставленные близко к центру. Потом его могли начинать раскачивать и приподнимать на дюйм или

два, подставляя небольшие камни на каждую опору поочередно. Опытная бригада рабочих, переходя с одной стороны камня к другой, могла за день работы поднять его на высоту 20 футов.



Рис. 2.9. Великий храм Амона в Карнаке

Монументальные постройки Фив, Луксора и Карнака, что в 300 милях (или около того) вверх по Нилу от Каира и региона пирамид, являют собой итог двух тысячелетий труда египетских инженеров и архитекторов. Самая известная из построек – храм Амона-Ра в Карнаке (рис. 2.9). Некогда он был самой крупной колоннадой в мире. Его размеры – 338 на 1220 футов. На этой площади могли бы поместиться одновременно собор Святого Петра в Риме, Миланский собор и собор Парижской Богоматери. Большой зал храма, известный как Гипостиль, имел размеры 329 на 170 футов. Это настоящий лес колонн. В центральных проходах высота колонн 69 футов, по краям – 42 фута, диаметр – больше 10 футов. Они поддерживают короткие архитравы весом 60–70 тонн каждый. На них опирается плоская крыша на двух уровнях, оставляя место для верхнего ряда окон, вероятно первого в истории. Здесь за много веков до рождения Христа были впервые созданы строительные принципы для соборов, которые активно воздвигались в Средневековье для поклонения Всевышнему.

Мрака, который верхний ряд окон Карнакского храма не мог разогнать, было достаточно, чтобы с помощью всевозможных заклинаний вызвать суеверный страх перед Амоном-Ра – к чему, собственно, и стремились жрецы. Только инженеры не сумели создать большой благоговейный трепет с помощью полутемного, изобилующего пустотами про-

странства. Небольшая прочность камня на растяжение не позволяла установить более или менее длинные поперечные балки. Колонны были поставлены так густо, что занимали не меньше места, чем огороженные пространства, которые они должны были оставлять. Храм Амона-Ра едва мог считаться большим строительным успехом. Строительный метод Карнака – сооружение вокруг колонн и вдоль стен опорных конструкций из кирпича и песка, рамп и террас, на которые можно было затащить каменные блоки и установить их в нужное положение. Временные сооружения поэтапно разрушались – по мере того, как шло украшение храма резьбой и росписью. Между тем фундаменты в Карнаке были не так тщательно спроектированы и построены, как в других местах. Наводнения размывали их настолько, что некоторые колонны просели и части крыши обрушились.

Для того чтобы поставить вертикально обелиск весом несколько сотен тонн, необходимы глубокие инженерные знания, точные расчеты и специальное оборудование – даже в наши дни. Длина, вес, гибкость и относительная слабость при воздействии изгибающей нагрузки таких гигантских каменных блоков делают задачу, мягко говоря, неоднозначной. Судя по количеству подобных памятников в Египте, очевидно, что древние инженеры эту задачу решили, хотя нам до сих пор в точности неизвестно, как именно. Возможно, так, как описал в своем исследовании Энгельбах. Колонна из камня, усиленная деревянными деталями напряжения

при изгибе, возникающего из-за ее собственной длины и веса, перемещалась по длинной рампе, переворачивалась через изогнутый край на ее вершине и опускалась на заранее подготовленный фундамент. Из этого положения – вероятно, уже на три четверти вертикальную – ее подтягивали к вертикали. По сути, тот же метод, хотя со сложными механизмами, использовали с почти сорока египетскими обелисками, которые были вывезены из Египта и поставлены в других местах.

Из них самый крупный за пределами Египта и второй по величине в мире был перевезен в Рим во времена Калигулы и поставлен в цирке Нерона. У нас нет информации относительно способа производства грузовых работ. Известно только, что он был перевезен через Средиземное море с почти 1000 тонн чечевицы в качестве балласта на самом крупном судне своего времени. По крайней мере, так утверждал Плиний. В 1586 году он был переправлен на площадь перед собором Святого Петра. Процедура была описана Доменико Фонтана. Мы осветим ее подробно в главе 6.

Заслуживают хотя бы мимолетного упоминания еще три обелиска. Один, датированный XIII веком до н. э., был перевезен в 1830–1836 годах из Луксора в Париж и установлен на площади Согласия. Другой знаменитый обелиск – Игла Клеопатры (хотя его добыли за пятнадцать столетий до появления на свет этой царицы) – совершил путешествие из Гелиополиса в Александрию в римские времена, а в 1877 году

– в Лондон. К этому времени инженеры имели стальные тросы, гидравлические домкраты и железные оболочки, чтобы облегчить перегрузку. Третий обелиск сегодня стоит в Центральном парке Нью-Йорка. Он был доставлен в 1879–1881 годах из Александрии и выгружен с судна в Нью-Йорке через отверстие в корпусе. Последние две мили путешествия он совершил на специальном наземном транспорте со скоростью 97 футов в день. Всего на наземную перевозку ушло 112 дней. Установка потребовала еще две недели. По утверждению Джона Т. Джонстона, общие расходы составили чуть больше 100 000 долларов.

Египетские каменщики использовали свои простейшие инструменты с изобретательностью и мастерством. В их лучших творениях, таких как храмы Карнака и облицовка Великой пирамиды, камни прилегали друг к другу вплотную, причем швы были почти неразличимы, даже когда их укладывали на сухую. Чтобы обеспечить точное и твердое основание, использовали раствор из гипса с добавлением небольшого количества песка. Но такая точность была привычной только в наружном слое, где поверхности обрабатывались инструментами и выравнивали после укладки камня. Внутренние работы выполняли более грубо и в раствор добавляли больше песка. Стены часто строили без соединительных камней с двух сторон, удерживающих их вместе, и иногда пространство между ними заполняли бутовой кладкой. Образец египетской каменной кладки можно увидеть в музее

Метрополитен в Нью-Йорке. Гробница некоего Пернеба, занимавшего высокую должность в Мемфисе около 2650 года до н. э., была разобрана и восстановлена в 1916 году. Также выставлены инструменты египетских каменщиков более позднего периода – бронзовые стамески, мастерок штукатурка, клинья и свинцовые отвесы.

Несмотря на замечательные достижения, особенно при перегрузке тяжелых материалов, нельзя сказать, что египтяне совершили выдающиеся открытия в технике строительства из камня. Представляется, что они всегда воспроизводили то, что было сделано ранее из дерева, земли и кирпича. Их пирамиды – увеличенные мастабы, или прямоугольные надстройки над подземной гробницей. Их храмы так и не отступили от стандартной формы *столб – перемычка*. Истинные арки, сделанные из земляных кирпичей в форме клина, были известны в Египте, как и в неолитических поселениях, но египтяне никогда не выносили их на поверхность земли и никогда не адаптировали эту форму к сооружениям из камня. Этот важный прорыв в инженерии произошел намного позже – при этрусках.

Несмотря ни на что, архитекторы и инженеры Древнего Египта были исключительными людьми. Они среди первых – если не считать царей – добились исторической идентичности. Они были по достоинству оценены в свое время и почитаемы следующими поколениями. Имхотеп, дизайнер и строитель первой великой пирамиды, в Саккаре, был изве-

стен также как врач и автор пословиц. Его карьера являлась сплавом предрассудков и реальности, что было характерно для жизни древних египтян, занятых тяжелым ежедневным трудом и мыслями о жизни в ином мире. Говорят, что его планы «спускались к нему с небес, к северу от Мемфиса». Он всегда давал советы как божественный оракул. Два тысячелетия спустя Имхотеп сам вошел во внушающую страх компанию египетских богов.

Последователи этого первого великого строителя сооружений из камня были не так известны, и им меньше поклонялись, однако они, без сомнений, были видными людьми своего времени. Один из них, Сенмут, являлся «великим отцом-наставником царской дочери», «смотрителем всех полей Амона, Сенмутом-триумфатором» и «главным помощником царя». Возможно, именно в этом качестве он обеспечил наличие своего портрета за каждой дверью в храме царицы Хатшепсут. О себе он написал: «Я был величайшим из великих на всей земле». Инени, «глава всех работ в Карнаке», занимал более раннее место в череде замечательных инженеров, однако здесь он заслужил последнее место, благодаря собственной оценке себя. «Не хватит слов, – писал он, – чтобы описать мое величие... Я никогда не совершал дурного». Помимо этого, он был «начальником начальников» и «никогда не богохульствовал, когда речь шла о священных вещах».

Ирригация

Как и в Месопотамии, природа Египта далеко не всегда обеспечивала постоянное и адекватное снабжение водой. Кроме того, долина Нила была слишком узкой для жизни обширного населения, и в те времена – впрочем, как и сейчас тоже – не могла поддерживать население без дополнительной ирригации прилегающих земель. Ирригационные системы по большей части использовались на протяжении нескольких тысячелетий.

Один из самых примечательных мелиорационных проектов в истории был разработан и полностью выполнен фиванской династией в 2000–1788 годах до н. э. Эта династия объединила Египет после того, как старый режим строителей пирамид рухнул, превратив империю в воюющие между собой феодальные государства. Фиванские цари развили активную торговлю с другими частями Средиземноморья и расширили свое влияние до самой Палестины. Для блага своего народа они решили превратить Файюмскую пустыню, что к западу от Нижнего Нила, в плодородный и населенный оазис. Они велели построить дамбы через ущелья, ведущие в оазис, чтобы запрудить воды сезона дождей и использовать их против засухи. Одна из этих дамб в ущелье шириной 250 футов имела основание шириной 143 фута – в четыре раза больше высоты. Она состояла из трех слоев:

нижний – из необработанных камней, уложенных в глину, средний – из известняковых блоков неправильной формы, а верхний – из шлифованных блоков, уложенных ступенями, так чтобы сдерживалось падение воды, переливающейся через край, и конструкция не размывалась. У египтян также был канал, названный Бахр-Юсуф, или канал Иосифа, соединявший Нил с озером Мер-Ур (греческое название – Меридово озеро). Существовала развитая система запруд, ворот для контроля наводнений, каналов и мостов. В те времена было построено много зданий, в том числе царские дворцы. Город провинции, божеством которого был Себек – крокодиловый бог, стал важным центром Египта. Согласно Уильяму Уилкоксу, главному проектировщику современной Асуанской плотины, влияние запруд, дамб и ворот Меридова озера, построенных правителями Верхнего Египта, снизило течение Нила в Нижнем Египте, что вызвало семь лет голода при Иосифе. Захват этих гидротехнических сооружений царем Нижнего Египта положил конец трудностям. Аналогичные манипуляции с местными дамбами и запрудами способствовали исходу Моисея и древних евреев из Египта.

Согласно традиции, еще одним творением египетской инженерной мысли был канал, соединивший Нил с Суэцким заливом, иными словами, соединивший Средиземное море с Красным. Его строительство могло начаться около 1870 года до н. э., однако, если верить ряду авторов, проект был заброшен. Другие считают, что его построили и использовали во

время правления царицы Хатшепсут, которая умерла в 1468 году до н. э., а впоследствии он был занесен илом.

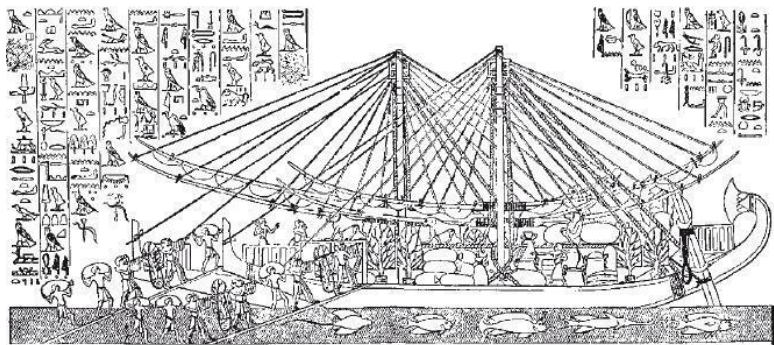


Рис. 2.10. Одно из судов царицы Хатшепсут, совершающее путешествие в Пунт

Существует изображение торговой экспедиции, имевшей место в ее время, по Красному морю в Пунт (рис. 2.10), что на территории современной Эфиопии. Во время непродолжительного периода независимости Египта между нашествиями ассирийцев и персов фараон Нехо, родившийся в 608 году до н. э., решил возродить известный проект. В этой попытке он пожертвовал жизнями 120 000 рабочих – по крайней мере, так утверждает Геродот. Вероятно, их унесла болезнь. В XIX веке строительство железной дороги и французского канала в Панаме стоило более 66 000 жизней. Фараон прекратил работы либо потому, что стоимость стала

слишком велика, либо из опасения, что Египет может быть затоплен из Красного моря. Наполеоновский инженер Лепер в 1803 году сообщил, что Красное море расположено на 29 футов выше, чем Средиземное. Но когда пятьюдесятью годами позже проводились измерения для строительства Суэцкого канала, была обнаружена ошибка Лепера. Два моря расположены на одном уровне.

Глава 3

Греческая инженерия

К северу и западу от Суэцкого канала располагается остров Крит. Здесь за двадцать пять веков до Рождества Христова, в контакте с египетской цивилизацией, но отличный от нее, развился центр городской культуры, названной Минойской по имени легендарного царя Миноса. Эта культура оставила уникальное наследие последующим греческим сообществам, а при их посредстве всем нам. Знания эгейской цивилизации, главным городом которой был Кносс на острове Крит, относятся к недавнему времени, поскольку только в 1894 году Артур Дж. Эванс начал открывать археологические свидетельства великолепной минойской цивилизации. Поскольку эта цивилизация открыта недавно, нам предстоит еще многое узнать о ней. В 1953 году британский архитектор, лингвист-самоучка Майкл Вентрис впервые расшифровал минойское письмо.

Блестящая минойская цивилизация достигла вершин процветания около 2100 года до н. э. Минойским правительством была монархия. Цари жили в большом дворце Кносса. Известно, что минойцы были отличными мореплавателями, но не только. Они обрабатывали землю, были великолепными ремесленниками, делавшими статуэтки, вазы, украше-

ния, текстиль. Критяне вели обширную морскую торговлю. Многие минойские продукты были обнаружены в Египте, а египетские товары – в Кноссе. Минойцы обладали продвинутыми инженерными знаниями и отличными инструментами. В доме плотника одного из минойских городов найдены стамески, пилы, шила, гвозди.

Эта интересная цивилизация процветала примерно до 1400 года до н. э., когда царский дворец Кносса был разрушен и политическая власть кносских царей уничтожена. Минойцы, однако, во многих отношениях способствовали расцвету греческой цивилизации. Возможно, они даже оставили грекам свой язык, поскольку Вентрис сумел расшифровать минойское письмо, выработав греческие слоговые эквиваленты минойских символов.

Минойская инженерия

Терракотовые трубы во дворце Кносса были предположительно суживающимися, потому что так было легче их изготавливать и соединять. Такая форма придавала скорость воде, что помогало сохранять трубы от осаждения налета. Некоторые способы соединения используются и сейчас. У минойцев были ванны, ванны и санитарные удобства с притоком воды. В этом отношении они находились впереди всех европейцев до 1800 года до н. э. Все это представляется даже более эффективным, чем в некоторых слаборазвитых странах нашего времени. Минойские строители создали систему сбора дождевой воды и метод сохранения ее чистой. Понимали они или нет математику и химические процессы, происходящие в воде, неизвестно, однако они точно знали, как ведет себя вода, и умело использовали свои знания. Они строили водосточные желоба в виде серии вертикальных параболических секций, расположенных в виде лестницы, чтобы вода стекала вниз от уровня к уровню. Такая серия контролируемых потоков не позволяла воде набирать слишком большую скорость при спуске и размывать фундамент. На поворотах снаружи делались возвышения, чтобы вода не переливалась через край. Через определенные интервалы устанавливали резервуары для осадка, а солнечный свет помогал очищать воду на ее пути к местам накопления и ванным.

Дворец Кносса, судя по руинам и реконструкциям, выполненным археологами, был впечатляющей конструкцией из обтесанных камней – тяжелой, угловатой, приземистой. Его чопорность отчасти смягчалась круглыми колоннами, которые, впрочем, тоже выглядели тяжелыми и приземистыми. Они возвышались перед портиками и рядом с большими лестницами. Но при этом они не создавали впечатления легкости и грациозности, как их преемницы, великолепные колонны греческих храмов. Минойский Крит обладал неудержимым живым духом, однако его жители давали выход своему энтузиазму и дерзости в кровавой забаве – травле быка, а также в художественном творчестве, но не в архитектуре.

Критские инженеры строили в той же манере, что и их египетские современники. Критские постройки создают впечатление, что на острове, как и в Египте, изобилие камня, много времени и огромные запасы силы людей – предположительно рабов. В обеих странах имеются свидетельства частых взаимных контактов, постоянного обмена товарами и идеями. Нам мало что известно о критских методах и инструментах; их техники вполне могли быть такими же, как в Египте. Критяне не внесли заметного вклада в строительство, а если и внесли, он еще не обнаружен. Они тоже использовали стоечно-балочный метод, примитивную конструктивную систему, образованную вертикальными элементами – стойками, колоннами, столбами, и перекрывающими их горизонтальными элементами – балками

и перемычками. В своих дворцах, жилищах и складах они не использовали даже ступенчатых арок. Однако критские мастера показали изобретательность – большую или меньшую, чем их египетские современники, сказать трудно, в обеспечении доступа к последовательным уровням в своих постройках по лестницам, помещении рядов комнат вокруг двора и строительстве световых колодцев во внутренние лабиринты. Эти достижения обессмертили их в греческой легенде об Ариадне, Тесее и лабиринте. Археологи, работавшие на раскопках, были потрясены находкой изогнутых стен и овальных или эллиптических домов. Но какой бы ни была художественная привлекательность такого проекта, здесь не видно работы инженерной мысли. Все элементы конструкции были прямолинейными. Да и в любом случае изгибы были горизонтальными. Критские инженеры не использовали вертикальных кривых в постройках, даже в виадуках (за исключением параболических водосточных желобов, о которых уже говорилось).



Рис. 3.1. Древняя Греция

Остатки большой мощеной дороги через остров на юг от Кносса к порту на средиземноморском побережье напротив Ливии демонстрируют массивные столбы из обтесанных камней. На первый взгляд они были некогда соединены

ступенчатыми арками. Однако подходящие камни при раскопках не обнаружили, и было выдвинуто предположение, что они поддерживали деревянные поперечины, по которым, собственно, и шла дорога от столба к столбу, так же как над открытыми пространствами внутри дворца. Критские инженеры использовали деревянные поперечины, чтобы связать облицовку толстых стен, внутренности которых заполнялись бутовой кладкой. Минойская дорога, обнаруженная в нескольких футах под римской мостовой, датированной намного более поздним периодом, находится во вполне приличном состоянии. Она не хуже римской мостовой – если не лучше. Разумеется, не следует судить по современным меркам; необходимо учитывать цели, для которых эти дороги строились, но они пока точно не установлены. Римская дорога представляет собой булыжники, уложенные на землю, а минойская располагается на фундаменте из грубых камней, врытых на глубину два фута под уровнем земли. Ее центральная часть шириной $4\frac{1}{2}$ фута была сделана из двух рядов гладких плит, уложенных вплотную друг к другу на глиняное основание. С двух сторон от центральной части располагались боковые части шириной $3\frac{1}{2}$ фута, из гальки и осколков гончарных изделий, вдавленных в глину. Все это уложено на грубые камни, которые, в свою очередь, опираются на фундамент. Вдоль одной стороны находилась дренажная канава. В отличие от римской дороги минойская была плоской – без выпуклости. На глиняных табличках позднего миной-

ского периода изображены царские кони и колесницы, но пока не обнаружено никаких свидетельств движения колесного транспорта по критским дорогам.

Микенский вклад

Тем временем материковый город, расположенный к северу на материке, стал культурным центром. Пусть он был не таким богато украшенным, но именно ему было суждено соединить Крит и Египет с греческой цивилизацией, Эгейскими островами и Малой Азией. Микены, город, из которого Агамемнон отправился на Троянскую войну, располагался вдали от моря, на высокой горе Пелопоннеса, возможно, место для него было выбрано, чтобы избегать частых и нежелательных визитов путешественников из Трои, финикийских пиратов и прочих непрошенных визитеров.

Строители Микен, как и египтяне, очевидно, перерабатывали крупные камни без использования домкратов и других подъемных механизмов. Их знаменитые Львиные ворота, построенные до 1300 года до н. э., имели перемышку размерами 15 на 7 на 3½ фута. Она весила 30 тонн и опиралась на вертикальные опоры высотой более 10 футов. Ее или установили с земляной ramпы, которую потом убрали, как в Египте, или микенские строители умели пользоваться рычагами и прочими приспособлениями, о которых не сохранилось никаких записей. Они установили камни весом 120 тонн каждый по обе стороны от входа и поставили еще одну известняковую перемышку весом 100 тонн в одной из гробниц.

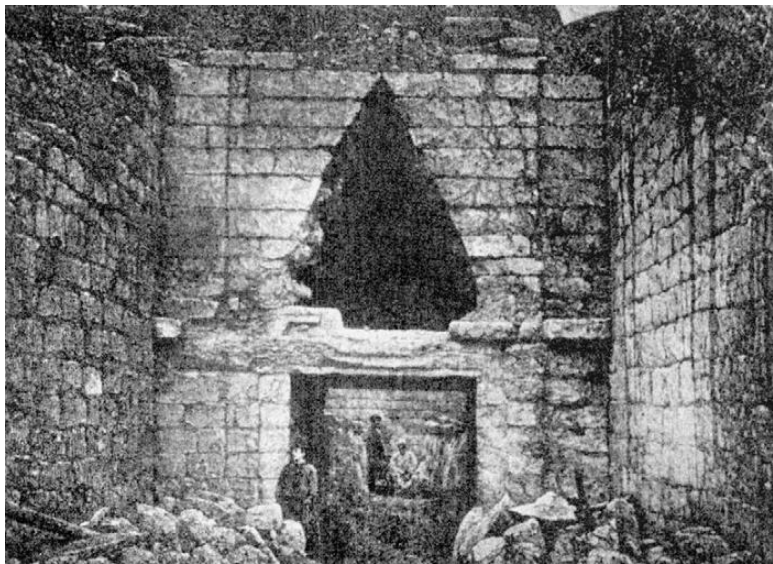


Рис. 3.2. Ворота, Микенская сокровищница

Микенские строители заняли достойное место в истории инженерии, благодаря использованию ими ступенчатой, или ложной, арки или свода (рис. 3.2). Они использовали этот принцип в подземных конструкциях для создания больших гробниц конической формы или складских помещений из камня. Они применяли его и в наземных конструкциях при строительстве мостов для прокладки дорог. Эти дороги предназначались только для вьючных животных и пеших путешественников, поэтому в некоторых местах представляли

собой всего лишь ряд ступенек, вырубленных в скале. Но на других участках, когда пересекали уступы и огибали выступающие скалы, они имели каменные удерживающие стены и преодолевали встречающиеся горные потоки на кульвертах или ступенчатых арках. Ступенчатые арки заняли прочное место в строительстве, а истинным аркам пришлось дожидаться этрусков и римлян.

Ранние обитатели Греции хорошо понимали значение и снабжения водой, и дренажа. Микенцы в своих городах не помещали воду под давление, чтобы поднять ее на более высокий уровень. Они лишь доставляли ее по подземному каналу в колодец у стен. К северо-западу от Афин в горах находилось мелкое озеро Копайда площадью около 100 квадратных миль. В этом районе были исключительно богатые плодородные почвы. Дренажные каналы из этого озера, которые британские и французские инженеры восстановили в 1880 году, впервые были выкопаны четыремья тысячами лет раньше.

Греки

В какое-то время до 3000 года до н. э. первые поселенцы прибыли в Грецию, где человек каменного века, вероятнее всего, не процветал. В. Гордон Чайлд в своей книге «Доисторические миграции в Европе» продемонстрировал, что ранняя греческая культура пришла с Востока, как и ее преемницы. Эти люди имели большие способности и со временем породили культуру, которая до сих пор удивляет мир.

Когда греки впервые появились, они занимались сельским хозяйством. После того как они обосновались на этой земле, их социальная организация стала сложной системой, в которой были богатые и бедные, знатные и простые люди. В их землевладении и институтах, которые они создали, не было ничего необычного, однако Гомер обессмертил их в своих поэтических произведениях. К V веку до н. э. сельское общество, которое изображал Гомер, стало, с одной стороны, замысловатой военной олигархией Спарты, практически лишенной поэзии, с другой стороны, еще более городской демократией Афин, где бурно развивались ремесла. Разницу едва ли можно приписать противоположному отношению к согражданам, поскольку и Спарта, и Афины основывались на рабском труде. Какой была движущая сила, превратившая простую лояльность племенных воинов в сложный народный дух афинян? Вопрос издавна занимал философов и истори-

ков, но так и не получил всеобъемлющего ответа. Дабы понять, что делали греки, не пытаясь разобраться, почему они это делали, необходимо серьезное исследование. Очень уж разнообразными и многочисленными были их достижения в искусстве, драме, философии, науке и архитектуре.

Греческие достижения в науке в VI–III веках до н. э. привели к ускоренному развитию инженерии. Следует подчеркнуть, что практически все ранние знания получались на основании опыта. До VI века до н. э. не существовало никаких общих теорий природных явлений или математики. Также не были сознательно выражены или определены «законы природы». Люди еще не осознавали, что в природе присутствует закономерность и порядок. Без понимания закономерности идея природных законов невозможна. На самом деле не может быть науки без концепции упорядоченности в природе, поскольку именно этот порядок ищет наука.

Возможно, высшее достижение греческой науки заключается в открытии самой науки – открытии того, что есть общие законы природы, которые человек должен изучить. Грека, которому обычно приписывают это открытие, звали Фалес Милетский. Он жил около 600 года до н. э. и считается родоначальником современной науки. Фалес поставил важный вопрос: «Из чего все состоит?» Его вывод, что все сущее произошло из воды, разумеется, является неудовлетворительным в свете современных знаний. Тем не менее именно Фалес стоял у истоков исследования проблем материи –

это исследование продолжается до сих пор. Ведь проблема материи – одна из самых важных в современной физике.

Считается, что Фалес изобрел или определил абстрактную геометрию. Месопотамцы и египтяне знали, как измерять участки земли неправильной формы; они также умели вычислять объемы цилиндрических предметов. Между тем они всегда считали эти многообразные формы «треугольными участками» или «цилиндрическими камнями» и никогда не представляли их абстрактно – треугольниками и цилиндрами. Хотя они были знакомы с некоторыми связями между сторонами треугольного участка земли, они не знали общих свойств треугольников. Именно Фалес и несколько других ученых его времени заложили общие знания об отношениях и свойствах линий, углов, поверхностей и твердых тел в абстракции, без привязки к конкретному предмету. Греческие геометры развивали свой предмет так быстро, что уже около 300 года до н. э. Евклид смог написать свой классический труд «Элементы».

Греческие ученые накапливали важные знания и в других областях. Их труды в физике стали фундаментальными для будущего развития науки. Аристотель (384–322 гг. до н. э.) был величайшим ученым своего времени в области физики, и его труды заложили основы предмета на ближайшие две тысячи лет. Однако греческие естественные науки в древности внесли разве что весьма небольшой вклад в инженерию. На самом деле инженерия давала намного больше нау-

ке, чем наука инженерии, и такое положение сохранялось до второй половины XIX века. Иными словами, потребовалось двадцать пять веков, прежде чем научные знания выросли достаточно, чтобы стать полезными инженерам. Это неудивительно, если принять во внимание, что эмпирические знания инженерии накапливались по меньшей мере двадцать пять веков, когда греки в VI веке до н. э. начали проводить научные исследования природных явлений. Хотя применение естественных наук в инженерии началось относительно недавно, греческие и римские инженеры стали использовать новую геометрию, как только она начала развиваться. Главным образом геометрия применялась в архитектуре.

Греки с презрением относились к окружающему миру, считая его менее культурным, варварским. Они гордились собой и своими достижениями, однако не были лишены реализма и осознавали, что получали от других и где научились многому из того, что вполне успешно применяли. В области архитектуры они были скорее умелыми пользователями, чем творцами. Их инновации, часто очень важные для усовершенствования микенских, минойских или египетских моделей, тщательно сохраняли фундаментальные черты, доказавшие свою надежность и стабильность. Их вклад – это вклад художников, обладающих безупречным чувством пропорции, пониманием прекрасного. Практически не было никакого экспериментирования с идеями или формами, которые были бы неестественными или беспорядочными. Самые

прекрасные греческие храмы являлись, по сути, воспроизведением в камне деревянных или каменных построек их микенских предшественников, но разница в архитектурном впечатлении поражает.

Люди, создававшие эти шедевры красоты, не являлись инженерами в нашем понимании этого слова. Греческий *архитектон*, в первую очередь являвшийся техническим служащим, отвечавшим за постройку общественного здания, нередко был также его проектировщиком. Если о нем можно судить по тому, что он строил, то нельзя не отдать должное его изобретательности. Архитектон трудился по контракту, как и многие сегодняшние инженеры. Когда городу-государству V века до н. э. требовалось новое здание, нанимались частные ремесленники, каменщики и скульпторы, которые приводили с собой помощников и учеников. Эти контрактники работали под надзором архитектона, который нес ответственность перед государством. Плата разных групп отличалась. Но не очень сильно. Архитектон получал примерно на треть больше, чем обычный каменщик.

Контракт обычно наносился на камень и помещался на место строительства. Он включал подробные спецификации, чтобы руководить рабочими и информировать общественность. Подобные камни находили в разных местах, но лучше всего сохранились надписи на строительстве арсенала в Пирее, порту Афин. Этот арсенал являлся постройкой длиной 44 фута, шириной 55 футов и высотой почти 40 футов.

Он был построен в IV веке до н. э. под руководством Филона. Спецификации – технические условия – изложенные современным языком, заняли бы четыре печатные страницы. Они включали общие габариты и некоторые важные фиксированные размеры, такие как толщина стен, объемы определенных камней, ширина и высота окон. Более мелкие детали, которые мы видим на сегодняшних чертежах, не фиксировались. Архитектон и бригадиры рабочих держали такую информацию в памяти.

Греческий инженер не был выпускником специализированной технологической школы. В его время не было ничего похожего на техническое обучение в классе или лаборатории. Он обучался в процессе работы, проходя нелегкий период ученичества, получая знания от людей, которые аналогичным образом приобрели их до него. И если он уделял большее внимание художественной стороне своей работы, чем сегодняшшний инженер, то, возможно, лишь потому, что ему не приходилось постоянно сверяться с бесконечными чертежами и спецификациями. Помимо того, он был греком, а значит, по натуре художником. Почти все его коллеги в той или иной степени разделяли его чувство пропорции и по достоинству ценили красоту, которую он всячески старался выразить. Как бы то ни было, факт остается фактом: греческий архитектон являлся художником, занимал высокое положение и пользовался уважением в обществе. Иктин и Калликрат, архитекторы Парфенона, были включены в группу

философов, художников и государственных деятелей, которых Перикл, лидер афинян, собрал вокруг себя и с которыми любил вести нескончаемые беседы.

Греческая инженерия

Размеры Парфенона не рассчитывались с особой тщательностью, как размеры пирамид. Его инженеры использовали простые математические принципы, чтобы получить желаемую форму, но затем за дело брались художники. Инженеры так умело избегали жесткого применения этих принципов, что невозможно вывести точных математических пропорций. Колонны Парфенона сужаются слегка, но достаточно, чтобы фронтон не давил на них и они не казались приземистыми, как колонны минойского дворца. Широкие ступени, ведущие к Парфенону, не являются горизонтальными. Они имеют подъем от концов к центру. Выпуклость ослабляет оптическую иллюзию того, что горизонтальные линии на расстоянии кажутся несколько прогнувшимися под весом здания. Некоторые авторы утверждают, что строители специально этого не планировали; им просто повезло и так вышло случайно. Даже если так, удача вдохновляла художников. Подобные тонкости постоянно встречаются в греческой архитектуре, хотя нет никаких свидетельств того, что греческие инженеры обладали точными инструментами, необходимыми для достижения таких результатов.

Судя по многим постройкам, греческий архитектор выбирал в качестве основы всех пропорций единицу измерения, которой он мог легко манипулировать. Часто это был гре-

ческий фут, 11,6 нашего дюйма. Он делал основание колонны диаметром 2 или 3 единицы, высоту колонны до капители – 10 или 12 единиц, расстояние между колоннами – 5 или 6 и т. д. Таким образом, он обеспечивал пропорциональность всех размеров и мог продолжать работы без ежеминутной сверки со спецификациями или планами. Его каменщики, имевшие рейки, градуированные в единицах длины, легко воплощали пропорции в камне. Эти пропорции имели тенденцию быстро становиться жесткими и формальными, в соответствии со вкусами большинства известных мастеров. Применяя теорию к практике, греческие строители держались в пределах принятых размеренностей. При этом почти не было никакого экспериментирования с экстремальными архитектурными формами или умозрительных построений в части необычных инженерных принципов. Следующие четыре столетия греческие постройки развивались в направлении более тонких колонн и высоких зданий в границах всего трех архитектурных ордеров, да и те были тесно связаны между собой. Ко времени римлянина Витрувия, первого из инженеров-практиков, труды которого дошли до наших дней, в архитектуре и строительстве греко-римского, а значит, и всего цивилизованного мира господствовали дорический, ионический и коринфский ордер.

Механические операции греческих инженеров нагляднее всего представлены в работе с камнем. Они добывали известняк и мрамор, делая насечки вокруг камня и откалывая

его с использованием деревянных клиньев, которые расширялись при намокании. На концах и по сторонам делались выступы для рычагов, чтобы облегчить спуск камня по мраморному склону к телегам, следы колес которых можно видеть до сих пор. Иногда колонну или блок упаковывали в деревянный барабан и катили его. Говорят, что этот метод изобрел Херсифрон, один из немногих зодчих первого храма Артемиды в Эфесе. Блок не подвергался чистовой обработке, пока не прибывал на место строительства, где в нем делали выемки для захвата и отверстия для металлических скоб, которыми связывали вместе смежные камни. Также готовились каналы для расплавленного свинца, который запечатывал крепление. В своих лучших постройках греки не использовали строительный раствор. Шкив или другой простой механизм, установленный на подмости из древесины, поднимал каменный блок на место. Для подъема использовалась мускульная сила рабочих. Окончательная обработка и шлифовка камня не делалась, пока не была возведена вся стена или колонна.

Греки использовали не только режущие инструменты, клинья, рычаги, наклонные плоскости, тележки и приспособления, полученные ими благодаря знакомству с египетской и минойской культурой, но также другие инструменты, судя по всему применявшиеся ими давно и свободно. Когда и откуда они получили деррики, компасы, угольники и линейки, неизвестно. Вероятно, некоторые из них являлись их

собственным изобретением. Наибольший интерес представляет шкив. Надписи указывают, что нечто вроде шкива было у ассирийцев, но получили ли греки его непосредственно с Ближнего Востока, что возможно, или изобрели независимо, неясно. Также неясно, что они знали о силе при использовании полиспаста, изобретение которого впоследствии приписали Архимеду.

Один вклад греки все же внесли в строительство, хотя им могла подсказать это практика минойцев, – ставить деревянные поперечные балки в каменную кладку. Когда греки считали, что каменные балки не смогут выдержать нагрузку сверху, они использовали железо, имеющее большее сопротивление под растягивающим напряжением. Скрытыми коваными железными брусками усиливали конструкции для большей безопасности. Фундамент фиванской сокровищницы в Дельфах был укреплен горизонтальными железными брусками шириной $3\frac{1}{4}$ дюйма, толщиной 4 дюйма и длиной 41 фут. Перемычка подземной двери Эрехтейона в Афинах имела желоб вдоль нижней поверхности, в которую был вложен металлический брусок и запечатан свинцом. В храме в Бассах U-образные бруски в выемках мраморных балок поддерживали вес потолка. Железо было и в самом Парфеноне, прикрепленное к якорной консоли в стене для удержания тяжелых карнизов. Большинство этих элементов жесткости давно исчезли, съеденные ржавчиной, так что трудно осознать, что их использовали греческие строители. Витру-

вий, хотя и вел долгие и пространные рассуждения о греческой архитектуре и методах строительства, ничего не говорил об использовании ими металла для элементов жесткости. Преобладало мнение, что греки строили только из камня, земли и дерева. Однако сохранились пазы в камнях со следами ржавчины, доказывающие, что греки кое-что знали о проблемах напряжения под нагрузкой, а также о сжатии и находили железо полезным для их устранения. Греческие инженеры, очевидно, первыми совершили прорыв в укреплении каменной кладки с помощью железных элементов.

Они не достигли значимых успехов в других областях. Народ-мореплаватель, земля которого была разделена горами и морскими заливами на маленькие города-государства, яростно завидовавшие друг другу, греки не желали строить магистральные дороги и не испытывали в них необходимости. В любом случае они не делали попыток, как, например, горцы Перу, строить дороги, которые соединили бы их поселения, и не пытались улучшить дороги, построенные их предками в Кноссе и Микенах. Короткие дороги к святилищам, таким как Элевсин, или от каменоломни до причала морского порта, поддерживались ими в рабочем состоянии. Но нельзя утверждать, что напряженное движение поддерживалось на дорогах, где были выбиты желобки, чтобы колесо оставалось в колее, и где лишь изредка встречались разъезды. Но такие города, как Коринф, имели мощные улицы и тротуары.

Один уникальный проект греческой инженерии действительно потребовал масштабного мощения. Речь идет о *диолках* – дорогах-волоках для перемещения судов через Коринфский перешеек, чтобы избежать путешествия длиной 450 миль вокруг Пелопоннеса. Участки от берега до берега протяженностью 4 мили были вымощены на ширину около 15 футов. На обоих концах мощеная дорога плавно уходила под воду, как современная морская железная дорога, делая возможной загрузку галер и легких судов, имевших по большей части вес до 100 тонн, на каталки с роликами, после чего люди или быки перемещали их через волок. Лебедки и блоки могли использоваться на крутых участках в концах. Греческие матросы имели большой опыт в подобных перемещениях. Хотя неоднократно предлагалось построить канал, и римский император Нерон даже начал такое строительство, прорубить его сквозь скалы оказалось слишком трудно и дорого. Лишь в 1893 году был построен современный судоходный канал в Коринфе.

За несколько веков до Рождества Христова на Средиземноморье появилось судно нового типа. Постоянный рост торговли вызвал необходимость создания судна для перевозки грузов. Ранние весельные суда были длинными, узкими и мелкими и не предназначенными для грузоперевозок. Поэтому инженеры разработали проект судна, имевшего большую осадку и ширину. Поскольку большая команда гребцов не являлась полезным активом – люди занимали много ме-

ста, а продовольствие для них – еще больше, от всего этого было решено отказаться, и основным двигателем стал парус. Средиземноморское торговое судно стало первым настоящим парусником. Между тем на таком судне был только один прямой парус, как на его египетских предшественниках, и, как и они, оно не могло плыть против ветра. Более того, для маневрирования на нем часто использовали весла, хотя специальной команды гребцов не было.

Греческие города, как и другие поселения в древности, имели общественные запасы воды. В большинстве случаев было относительно несложно прорыть каналы от источников в горах вниз к резервуарам в городе или рядом с ним. Из этих резервуаров по глиняным трубам вода подавалась к фонтанам или бассейнам, где ее брали люди. Однако на острове Самос, к примеру, можно видеть значительно более сложную систему водоснабжения, датированную VI веком до н. э., описанную еще Геродотом. Она была обнаружена в 1882 году. Инженер Евпалий из Мегары руководил строительством тоннеля в горе высотой почти 1000 футов и сооружением акведука длиной $\frac{3}{5}$ мили и шириной почти 4 фута. Как это делается до сих пор, прокладка тоннеля началась с разных концов и велась к центру.

Контраст между новыми великолепными общественными зданиями в Афинах и старыми покосившимися хижинами из высушенного на солнце кирпича, которые веками бессистемно строились на кривых улочках, оскорблял чувство пре-

красного, всегда жившее в душах греков, и вызывал желание изменить положение. И Гипподам из Милета, друг Перикла, стал пионером современного планового градостроительства. Это правда, что в Древнем Вавилоне с его потрясающей улицей Процессий застройка велась, во всяком случае частично, по плану. И есть по крайней мере один хеттский город, Зенджирли, построенный около 1300 года до н. э. и имевший четкий круглый контур. Тем не менее следует отдать должное грекам, впервые продемонстрировавшим настоящий дух местного сообщества. Если верить традиции, первенство в этом вопросе принадлежит Гипподаму. Аристотель считал его первым архитектором, который задумал улицы и здания как единое гармоничное целое. Иными словами, он разработал план города, чертами которого стали широкие проспекты, пересекаемые улицами, образующими кварталы с жилыми домами, храмами, театрами, спортивными залами, стадионами, памятниками и открытыми площадями, расположенными так, чтобы было удобно жившим в городе людям.

Гипподам перестроил Пирей, порт Афин. Он построил план греческого колониального города Фурии в Южной Италии. Возможно, он также участвовал в строительстве Олинфа, афинской колонии на северном берегу Эгейского моря. При недавних раскопках там обнаружили частные дома в кварталах по десять. Их стены поднимаются по краю улицы. По мере расширения старых греческих городов их окрестности тоже создавались по планам, однако общее применение

принципов Гипподама началось только в эллинистический период.

Эллинистический мир

Своим началом и характером этот период обязан Александру Великому больше, чем кому-либо другому. Ученик Аристотеля, энтузиаст греческой культуры, Александр брал с собой греческие методы, институты и порядки повсюду, куда шла его армия, чтобы покорить народы, завоеванные персами. Два века после его смерти в 323 году до н. э. преемники делили империю и сражались за ее части, мелкие государства и провинции, однако культурное единство осталось. Александр сделал свою империю греческим миром с центром в Александрии, его городе в Египте. Когда римляне, в свою очередь, начали завоевание Восточного Средиземноморья и Малой Азии до границ с Индией, греческая цивилизация оказала на них отчетливое влияние.

На берегах Евфрата, в Вавилоне, на берегах Черного моря, в Египте, даже на побережье Западного Средиземноморья, где люди жили сообществами, были те, кто говорил по-гречески, обсуждал греческую философию и строил новые города в греческом стиле. Настрой этому процветающему веку культурного единства задавали городские обеспеченные слои общества. Эти активные, практичные, светские, иногда утонченные до грани декадентства люди много путешествовали и демонстрировали самые широкие интересы. Они строили все более роскошные жилища, просторные ста-

дионы, лучшие дороги, акведуки для стабильного водоснабжения городов и дренажные системы, новые полезные общественные здания.

Эллинистическому миру нужны были сотни архитекторов, строителей, инженеров. Их покровители и народ ожидали, что они будут не только продолжать великие традиции классической Греции, но и создавать много нового. Мастера, делавшие и то и другое, быстро добивались широкой известности. Одним из них был Пифей. Он использовал общепринятые пропорции для диаметра колонн, расстояния между ними и их высоты при строительстве мавзолея в Галикарнасе в 352 году до н. э., совместив с ними три традиционные формы: высокий пьедестал колонны, греческий храм и египетскую пирамиду. Результатом стало строение, поражающее воображение своей необычностью и одновременно отвечающее общепринятым вкусам. Пифей также был первым из многих архитекторов-инженеров эллинистического периода, который обучал своих учеников в школах и писал трактаты для строителей будущего. В большинстве его работ содержались математические пропорции разных архитектурных ордеров. Ни один из его трактатов не сохранился до наших дней. Нам о нем известно из трудов римлянина Витрувия.

Другими выдающимися инженерами того времени были Динократ и Сострат. Александр не пошел на поводу Динократа, предложившего сделать из горы Афон гигантскую

«статую в виде мужа», заявив, что достойнее для великого правителя сделать себе памятник иным образом, например построить на подходящем месте город. Он поручил архитектору разработать план большого города в дельте Нила – более живучий памятник и определенно более нужный. Утверждают, что Динократ дал городу две главные дороги, каждая – с колоннадами, храмами и величественными зданиями. Был также длинный мол и насыпная дорога с материка на остров, за которым находилась безопасная якорная стоянка для средиземноморских судов.

Создал или нет Динократ план гавани и была ли она построена, неизвестно. Но двумя поколениями позже Сострат построил из мрамора знаменитый Фаросский маяк, одно из семи чудес света (рис. 3.3). Согласно традиции, его построили из трех секций: нижняя квадратная, средняя восьмиугольная и верхняя круглая. Многие считают, что вокруг маяка существовала наклонная дорога, и на монете того времени виден вход в маяк, расположенный у основания. В римские времена, если верить историку Иосифу, свет маяка был виден в море за 300 стадий (35 английских миль). Если считать это утверждение правдоподобным, с учетом высоты наблюдателя над уровнем моря маяк должен был иметь высоту около 480 футов – почти такую же, как самая высокая египетская пирамида, и только на 70 футов ниже, чем памятник Вашингтону. Если так, вероятнее всего, более высоких маяков в мире не было никогда.

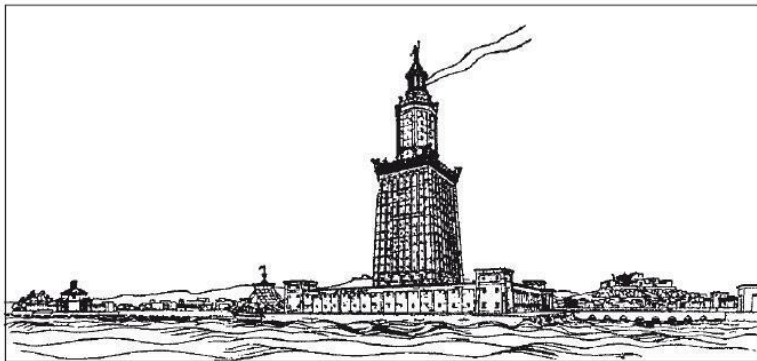


Рис. 3.3. Фаросский маяк

Чтобы не нарушить гармонию с Фаросом, Александрия, величайший из всех эллинистических городов, должна была иметь самые современные коммунальные сооружения. Правда, мы почти ничего не знаем о таких вещах, как, к примеру, ее водоснабжение. Но двадцать или тридцать других эллинистических сообществ имели системы водоснабжения с использованием тоннелей. Что такое дюкер, вероятнее всего, не понимали не только микенцы, но и жители Самоса, пробившие тоннель в горе. Самая замечательная из эллинистических напорных систем была найдена в Пергаме – в Малой Азии. Около 200 года до н. э. вода перемещалась на 35 миль по трем 7-дюймовым гончарным трубам, уложенным рядом. Она сливалась в резервуар на холме, расположенный

в 2 милях от города и на 100 футов выше. Оттуда одна 10-дюймовая труба, возможно из бронзы или дерева, усиленная на стыках большими перфорированными камнями, через которые протекала вода, шла вниз через несколько долин – самая глубокая из них располагалась на 600 футов ниже резервуара – и на встречающиеся по пути хребты, и, в конце концов, попадала в городские фонтаны. Последние 2 мили вода находилась под давлением, которое в самой низкой точке достигало 300 фунтов на квадратный дюйм, то есть в несколько раз больше, чем обычное давление в американском городе. Такое давление слишком велико для гончарных изделий или даже для свинцовой трубы. Представляется сомнительным, что в это время уже появились бронзовые трубы, и считается, что, благодаря существенной прочности на разрыв, в дюкерах Пергама использовали дерево.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.