

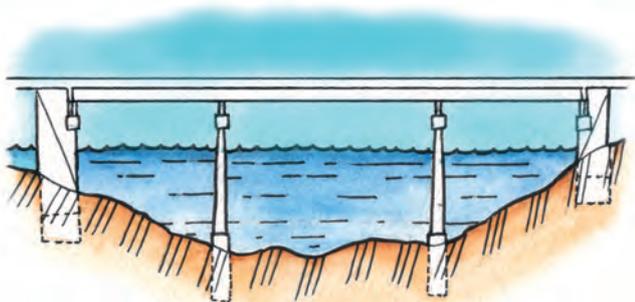
РАЗБЕРЕМ МОСТЫ ПО КОСТОЧКАМ

Инженеры любят всему давать имена. А иначе никак! Ведь без таких имен — *терминов* — специалисты всего мира не смогут понимать друг друга. Вот и мы начнем с того, что разберемся, как называются разные части моста. Для этого изучи самый большой мост на странице.

А еще инженеры любят все делить на виды, типы, классы. Оно и понятно — ведь каждому виду моста свой подход нужен. Одно дело, если по нему легкие пешеходы ходят, а другое

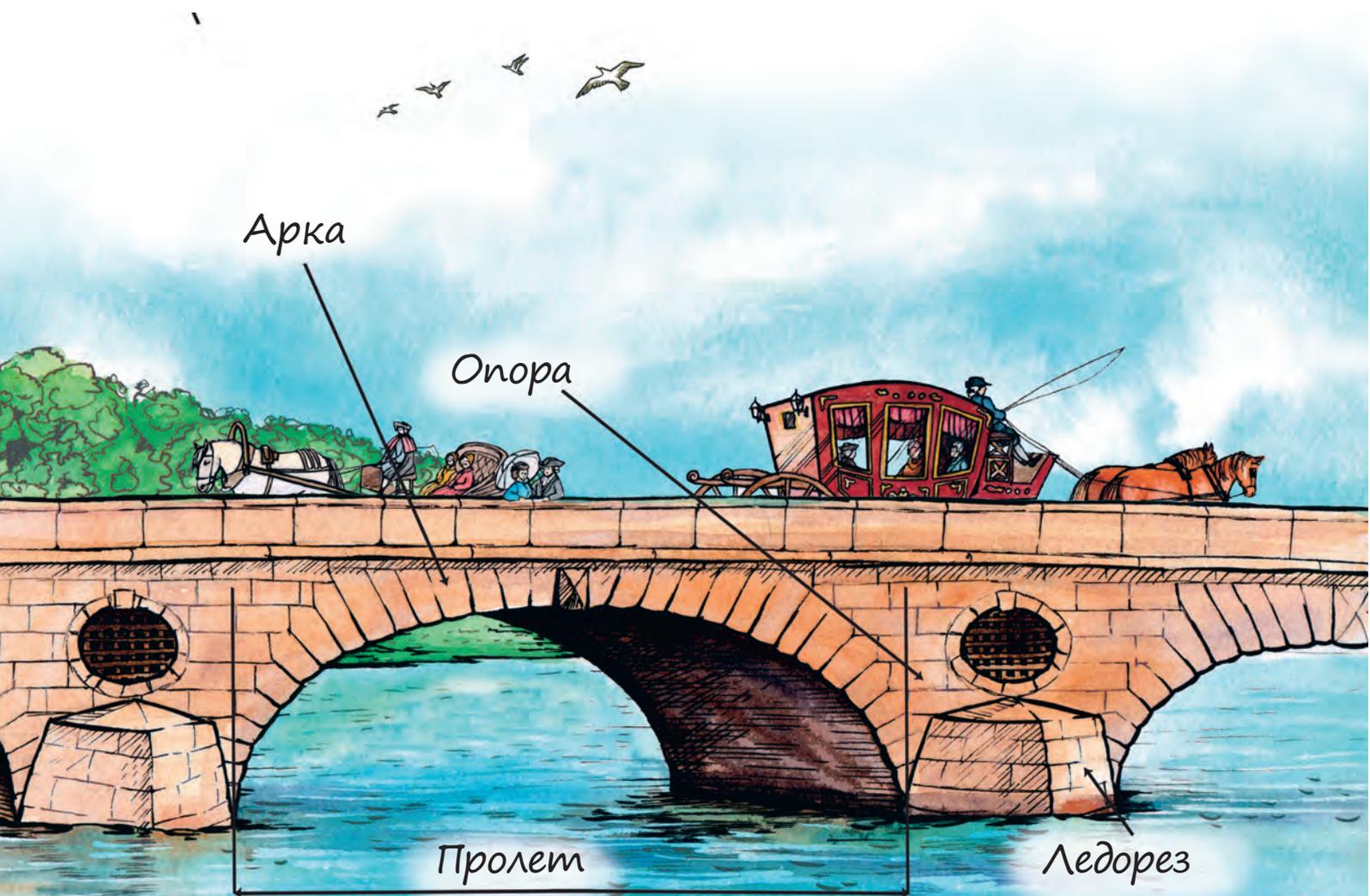
дело — если тяжелые поезда. Итак, мосты делятся на разновидности по транспорту: автомобильные, железнодорожные, есть смешанные, пешеходные и даже... мосты для животных!

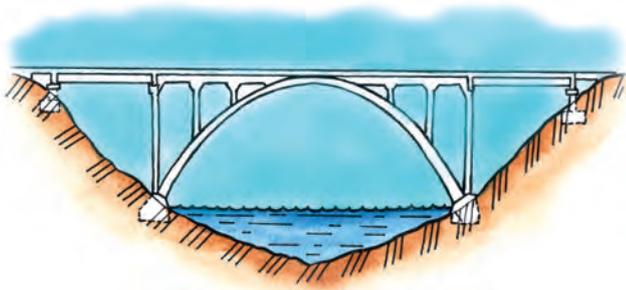
Но самое главное, что надо запомнить, — это как мосты делятся по статическим схемам. *Статика* — это наука о том, как ведут себя конструкции под нагрузкой. Под теми самыми машинами, поездами и людьми, которые по ним идут.



БАЛОЧНЫЙ МОСТ

Самый простой. Балка лежит на двух или большем количестве опор. Но балка легко гнется, а потому может перекрыть только небольшой *пролет* — расстояние между опорами.





АРОЧНЫЙ

Арка может перекрывать большие пролеты.



КОНСОЛЬНЫЙ

Редкий вид моста. Консоль — это балка, которая закреплена с одной стороны, а с другой — свободна.



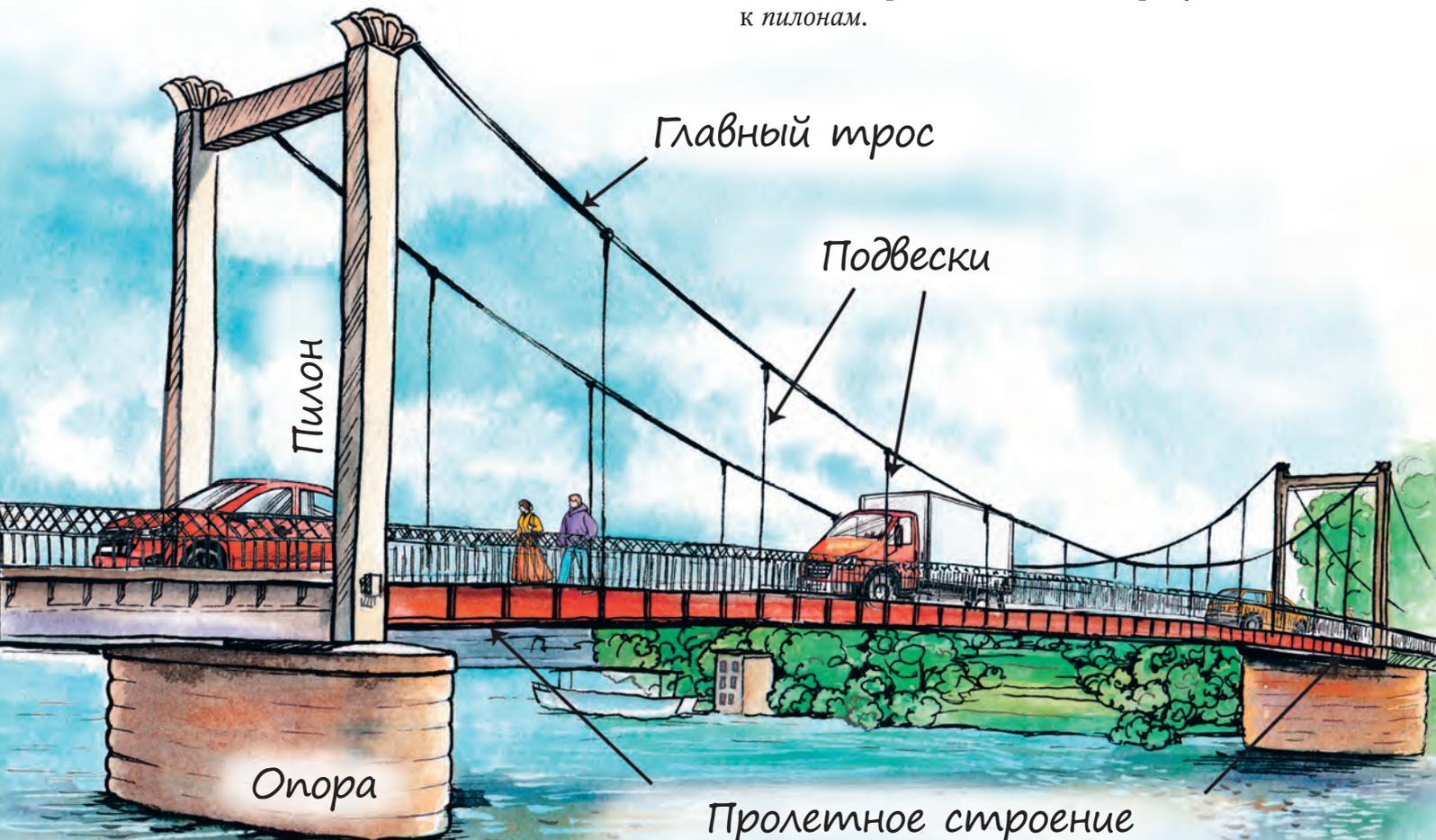
ВИСЯЧИЙ

Пролетное строение такого моста подвешено к главной цепи или тросу.



ВАНТОВЫЙ

Это разновидность висячего моста. У вантового пролетное строение подвешено длинными тросами-вантами напрямую к пилонам.



БАЛОЧНЫЕ МОСТЫ



Сложно поверить, но ведь когда-то в мире не было ни одного моста! Как же люди придумали эти сооружения?

Возможно, они увидели дерево, которое от старости рухнуло, — и прямо поперек русла какой-нибудь речки.

И вот, подражая природе, человек стал рубить толстые стволы и строить из них опоры и пролеты. Когда появились первые мосты из дерева, точно сказать нельзя, — ведь дерево материал

недолговечный и до наших дней ни сами мосты, ни упоминания о них не дошли. Но, скорее всего, было это много тысяч лет назад.

А продолжают их строить до сих пор! Простые мосты небольшого пролета — чаще всего в сельской местности — все еще делают из дерева. И не удивительно: материал это доступный, легкий в обработке и прочный. Посмотри на рисунке внизу страницы, как устроен деревянный балочный мост.



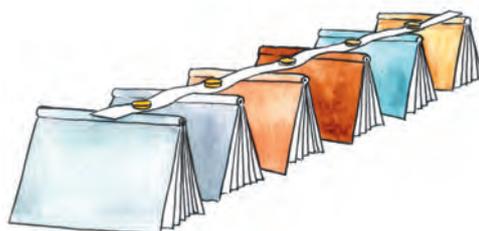
Сегодня балочные мосты строят в основном из стали и железобетона. Они до сих пор самые распространенные в мире. Однако они больше не похожи на своих далеких предков.

У балки есть одна проблема. Вспомни, что происходит с доской, брошенной через лужу, когда ты по ней идешь. Она гнется — вот-вот треснет даже под твоим весом!

ЭКСПЕРИМЕНТ

Тебе понадобятся: две полоски плотной бумаги длиной 10 и 50 сантиметров, несколько монеток равного достоинства, шесть книг одинаковой ширины.

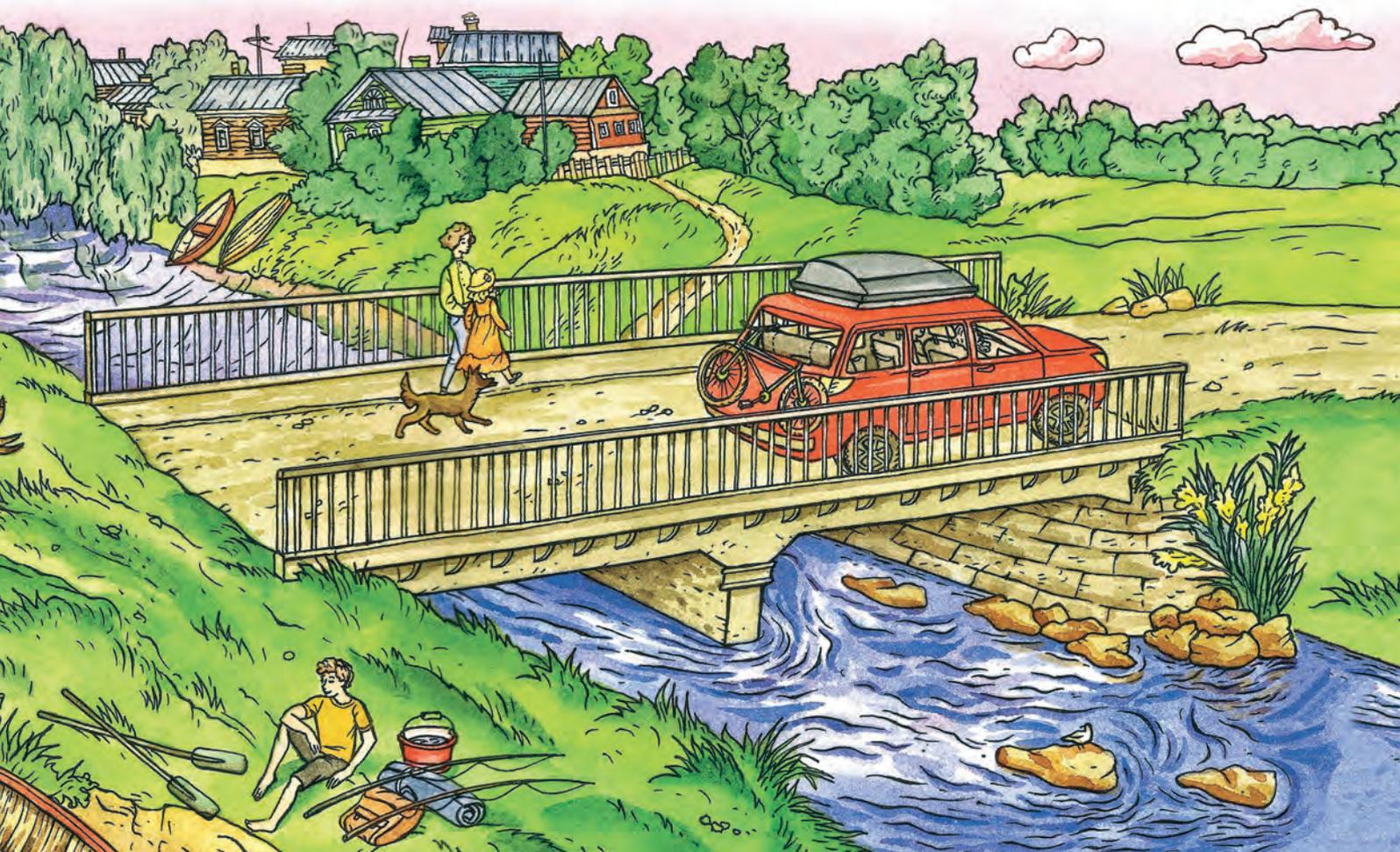
Поставь две книги на стол корешками вверх. Положи полоску длиной 10 сантиметров так, чтобы она легла концами на корешки книг. У тебя получилась модель однопролетного моста. Положи в середине пролета монетку. Под ее весом полоска согнется и упадет.



Теперь добавь к двум книгам еще четыре на равном расстоянии друг от друга. Положи на них полоску длиной 50 сантиметров. Положи по монетке в середину каждого из пролетов. Как видишь, ни один из пролетов не падает, да и изгибаются они много меньше, чем прежний.

Мосты, устроенные, как последняя полоса бумаги, называются *неразрезными*. Их пролетное строение не разрезано на части, а представляет собой одну длинную балку, лежащую на множестве опор.

Посмотри, как выглядит на рисунке внизу неразрезной балочный мост.



МОСТ АНЬПИН

В древности балочные мосты в основном строили из дерева: оно легче и лучше сопротивляется изгибу. Каменные балочные мосты чаще были небольшого пролета, например, через ручей. Но дошли до наших дней и очень протяженные каменные балочные конструкции.

Мост Аньпин был построен в середине XII века в провинции Фуцзянь на юго-востоке Китая. Его длина — более двух километров, а состоит он из 331 каменного пролета (1). Каждый из них — длиной 6 метров и состоит из шести каменных балок (2). Самая тяжелая из них весит 25 тонн. Как видно, конструкция получилась крайне тяжелой при небольшой величине пролета.

Каменные опоры моста (3), находящиеся в русле реки, заострены с одного торца и напоминают лодку. Это сделано для того, чтобы они лучше сопротивлялись течению.

Несмотря на нерациональную конструкцию, мост оказался очень долговечным. Спустя

850 лет после постройки он все еще используется — правда, только пешеходами и велосипедистами.

САМЫЕ ДЛИННЫЕ МОСТЫ В МИРЕ

Балки не слишком хороши для создания больших пролетов, но отлично подходят для очень длинных многопролетных мостов.

Даньян-Куньшаньский железнодорожный *виадук* в Китае, заверченный в 2010 году, — самый длинный мост в мире. Его длина — 165 километров. Однако только девять километров моста пересекают воду, большая часть его длины проходит над землей.

Самый длинная в мире переправа через водную преграду — мост через озеро Пончартрейн в США, сооруженный в 1956 году. Его длина — 38,5 километра.



АРОЧНЫЕ МОСТЫ. ПОН-ДЮ-ГАР

Балочные мосты хороши тем, что дешевы и просты в строительстве. Но у любой медали есть две стороны. Давай разберемся, в чем недостаток балки.

Балочный мост хорош, если нам надо перекрыть маленький пролет. На больших пролетах балка слишком сильно изгибается, а потому не годится.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Тебе понадобится полоска плотной бумаги длиной 50 сантиметров, две книжки одинаковой ширины и монетка (все из предыдущего эксперимента).

Поставь две книги на стол корешками вверх на расстоянии примерно 20 сантиметров друг от друга — это будут две опоры моста. Положи на корешки книг

полоску бумаги — пролетное строение. Опустить на середину пролета монетку. При таком небольшом пролете полоска ее наверняка выдержит и прогнется совсем немного.

А теперь увеличь пролет, то есть расстояние между книгами, примерно до 50 сантиметров. Положи на полоску монетку — она изогнется очень сильно и упадет с опор.



Уже в Междуречье и Древней Греции научились решать эту проблему. Строители стали возводить из камня конструкцию, которая называется *аркой*. Древние римляне довели ее до совершенства. Они использовали арки для строительства сводов и куполов, мостов и акведуков. На этом развороте ты видишь римский акведук, который находится в современной Франции и называется Пон-дю-Гар.

Слово «акведук» происходит от латинских слов *aqua* — «вода» и *duco* — «веду», то есть в буквальном переводе — «водопровод». Но в наше время акведуками принято называть не весь водопровод, а только мосты, по которым закрытая водопроводная галерея переходила через реку или ущелье. Акведук Пон-дю-Гар был построен в середине I века нашей эры для того, чтобы снабжать водой римский город Немаус (сегодня он зовется Ним). Вскоре после распада Римской империи акведук пришел в запустение, и вода по нему перестала поступать в город, а вот функцию моста он выполнял до 1990-х годов. Сегодня Пон-дю-Гар — одна из самых посещаемых достопримечательностей Франции.

В древности вода текла из горных ручьев в Немаус по кирпичной галерее в верхней части акведука (1).

По первому ярусу арок (2) ездили повозки, то есть акведук работал и как мост.

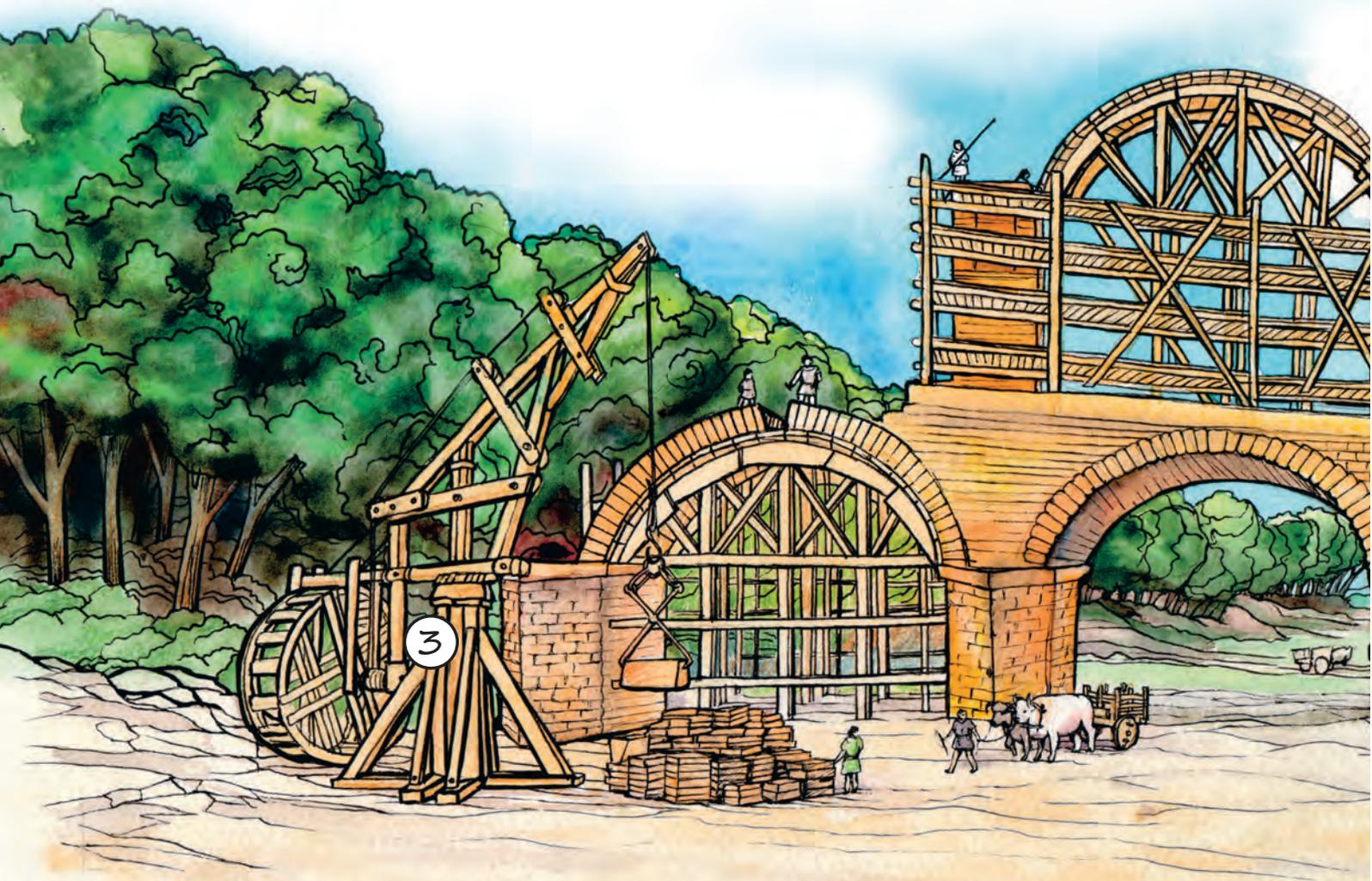
Арки акведука возводили с помощью специальных лесов круглой формы — *кружал*. Камни укладывали на кружала с помощью простых кранов (3), которые приводились в движение силой мускул. После установки замкового камня кружала разбирали. Арка держалась без всякого раствора за счет того, что камни расклинивали друг друга.

Схема
напряжений
в арке:

Щеки

Пятки

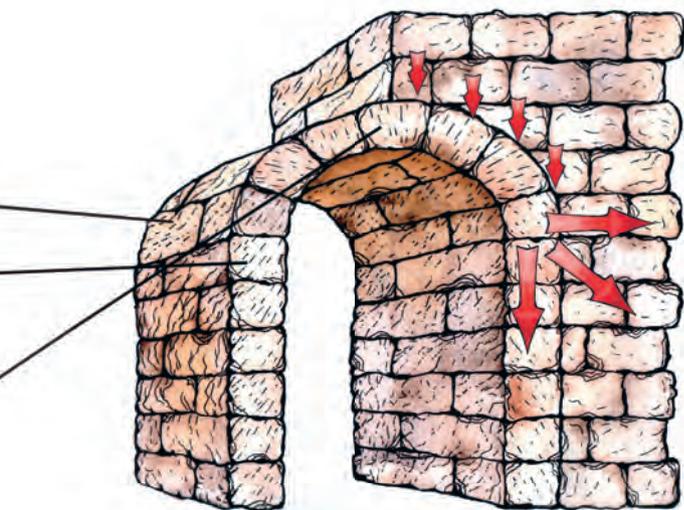
Замковый
камень



КАК РАБОТАЕТ АРКА

Арка — это как бы балка, изогнутая вверх. Из-за этого в ней не возникает изгиба, а только сжатие. А сжатие камень выдерживает хорошо.

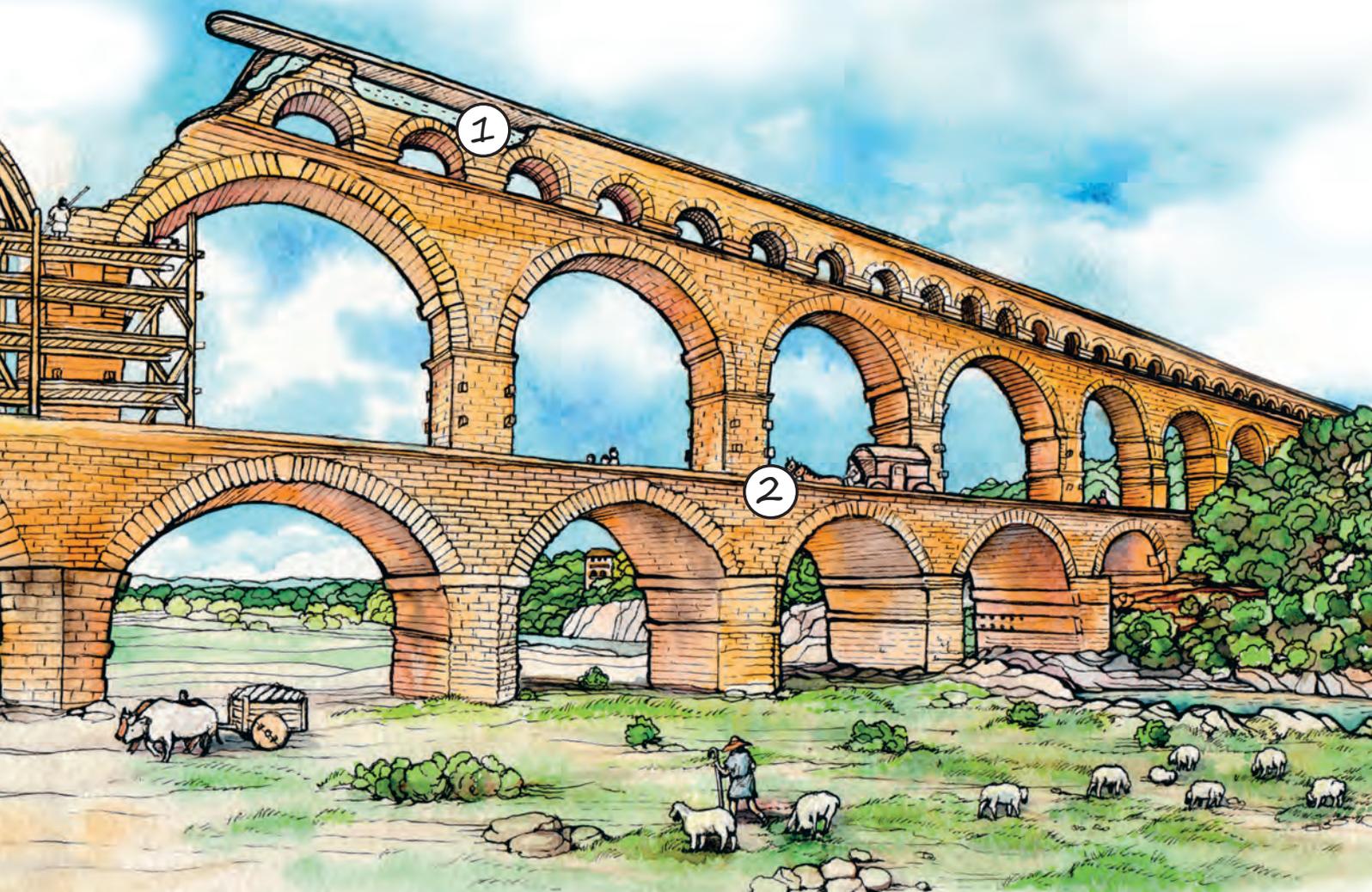
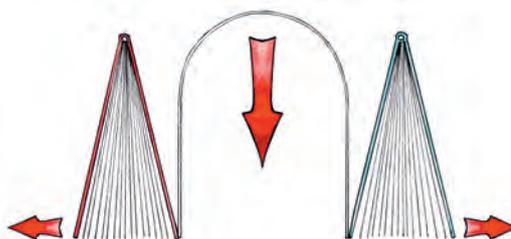
Однако и у арки есть минус: в ее пятках возникает сила, направленная в стороны. Она стремится раздвинуть опоры и обрушить арку.



Инженеры называют ее *горизонтальным распором*. Арочные мосты должны иметь очень мощные опоры, которые будут не только держать на себе вес моста, но и противостоять горизонтальному распору.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Тебе понадобится полоска плотной бумаги длиной 50 сантиметров и две книги из предыдущего эксперимента. На этот раз согни полоску в виде арки и установи меж двух книг. Надави на арку рукой сверху — горизонтальный распор раздвинет книги в стороны.



ОБИТАЕМЫЕ МОСТЫ

В Средние века по всей Европе мосты были центрами городской жизни. На них строили лавки, а если получалось — то даже дома. Вот несколько знаменитых обитаемых мостов в мире.

ПОНТЕ ВЕККО, ФЛОРЕНЦИЯ

Этот мост пересекает реку Арно в итальянском городе Флоренции. В Средние века на нем располагались лавки мясников, а сегодня торгуют сувенирами и украшениями.



ПОНТЕ ДИ РИАЛЬТО, ВЕНЕЦИЯ

Венеция славится множеством мостов, но Понте ди Риальто, пожалуй, самый известный. На нем располагались 24 лавки, которые торговали мелочным товаром.



КРЕМЕРБРЮКЕ, ЭРФУРТ

С каждой стороны этого моста в немецком городе Эрфурте расположено по 16 трехэтажных жилых домов.



ВСЕСВЯТСКИЙ МОСТ

В России долгое время мосты строили деревянными — этого материала в нашей стране достаточно! Первые каменные мосты построили в Москве итальянские мастера в конце XV века, когда возводили Кремль. Но то были мосты небольшого размера — через речку Неглинку да через ров на Красной площади.

А первый по-европейски большой каменный мост через Москву-реку стали строить только в конце XVII столетия, при малолетнем царевиче Петре. Назвали его Всесвятским — по церкви Всех Святых, что стояла у моста. Но в народе мост прозвали просто — Каменный. До сего дня

он носит такое название, хоть и был уже неоднократно перестроен и теперь сделан из металла.

Мост имел семь или восемь пролетов. Если верить летописям, они достигали 28 метров. Это невероятная величина для XVII века!

Всясвятский мост был обитаемым. На нем располагались жилые палаты, таможня, кабаки и тюрьма. К опорам были пристроены мельницы, а мельники жили тут же — в башне.

Поскольку с юга Москве вечно грозили татары, со стороны Замоскворечья мост защищала настоящая боевая башня.



АЙРОНБРИДЖ

Веками и даже тысячелетиями арочные мосты строили из камня. Но промышленная революция, случившаяся более двухсот лет назад, привнесла в строительство новый материал — металл. Впрочем, случилось это не сразу.

Проблема

Английский город Колбрукдейл в конце XVIII века стал крупным центром промышленности. Однако места добычи находились на одном берегу реки Северн, а жители — на другом. Надо было строить мост.

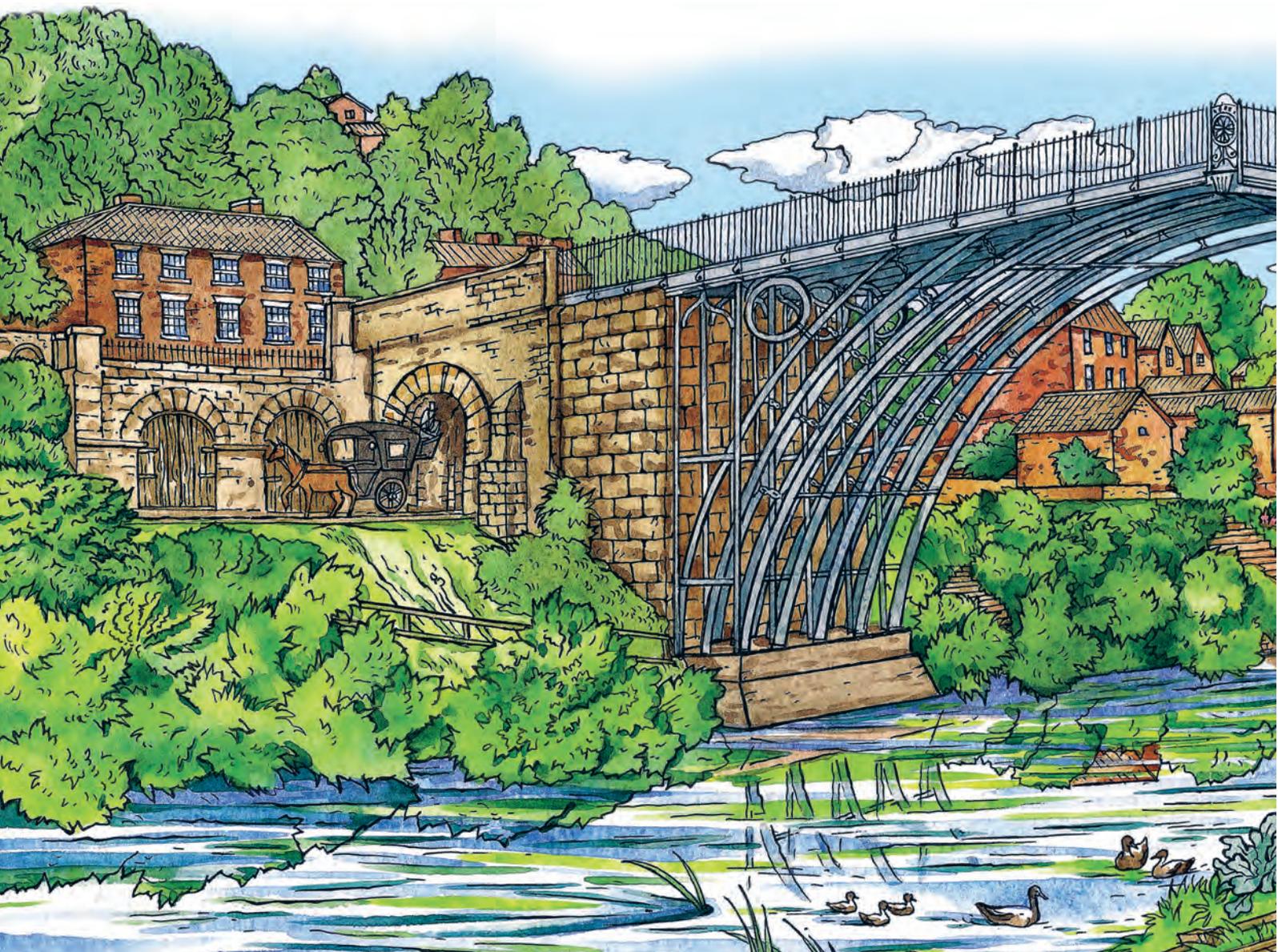
Около города ширина реки достигала 30 метров. Если сделать несколько каменных арочных пролетов, их опоры будут мешать судоходству. Значит, надо было перекрыть ее одним арочным пролетом. Но арка такой ширины должна была иметь и большую высоту.

В конечном счете она весила бы так много, что могла не выдержать и рухнуть от собственного веса.

Решение

И тут строителям пришла в голову блестящая мысль. «Если мы тут льем чугун на продажу, — должно быть, сказали они себе, — то почему бы нам не построить из него и мост!» Мост Айронбридж (в переводе с английского это и означает Чугунный мост) был создан литейщиком из Колбрукдейла Абрахамом Дерби III в 1781 году. Сегодня он используется только для пешеходов, а еще привлекает много туристов. Это самый старый железный мост в мире!

Айронбридж — это огромный пазл почти из 500 деталей! Поскольку металл делал только первые шаги в строительстве, здесь нет ни болтов, ни клепок, ни сварки. Вместо этого детали



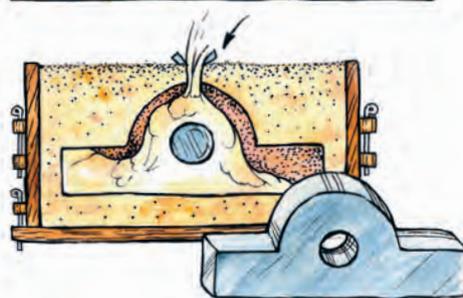
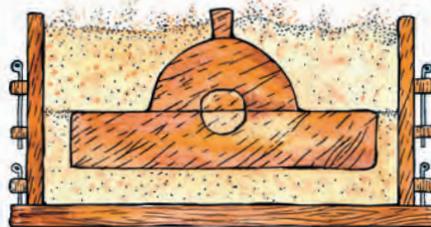
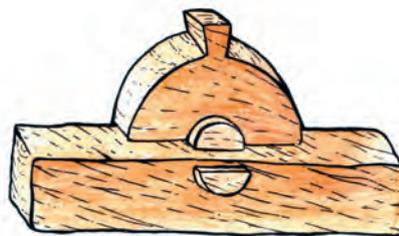
соединяли так, как привыкли плотники, — с помощью пазов, шипов и «ласточкиных хвостов».

Арка оказалась оптимальной формой для чугуна. Дело в том, что чугун хорошо работает на сжатие, как и камень. А в арке, как вы помните, возникают именно силы сжатия.

КАК ДЕЛАЛИ ДЕТАЛИ

Каждую из 482 деталей моста отливали на заводе в полукилометре от стройплощадки и доставляли на место на барже. Отливка происходила так: сначала делали полноразмерную модель из дерева, вдавливали ее в смесь глины и песка, а затем в эту форму заливали расплавленный чугун.

Новые детали изготавливали так, чтобы подогнать их к уже смонтированным. Поэтому на первый взгляд похожие детали моста на самом деле могут различаться в длине на несколько сантиметров. До типового строительства было еще далеко!



ЧТО ТАКОЕ ФЕРМА. ВЕРЕБЬИНСКИЙ МОСТ

XIX век становится веком железных дорог, и они выдвигают свои требования к мостам. Раньше дорога спускалась до самого берега, где и начинался мост. Человек, повозка, автомобиль могут так спуститься, а вот поезду резко нырять в речную долину неудобно — с его-то весом попробуй потом вскарабкаться по противоположному берегу! С приходом железных дорог люди снова вспомнили про балки.

Первые *ферменные* железнодорожные мосты в нашей стране были построены на Петербурго-

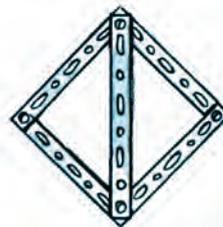
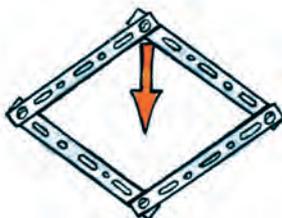
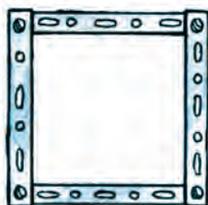
Московской железной дороге. На этом развороте ты видишь Верёбынский мост, который спроектировал русский инженер Дмитрий Журавский.

На строительстве Петербурго-Московской дороги работало несколько приглашенных американских инженеров. Они привезли из своей страны мосты системы Гау. Их фермы были деревянными, а вот затяжки делались из железа. Диаметр всех затяжек был одинаковым.

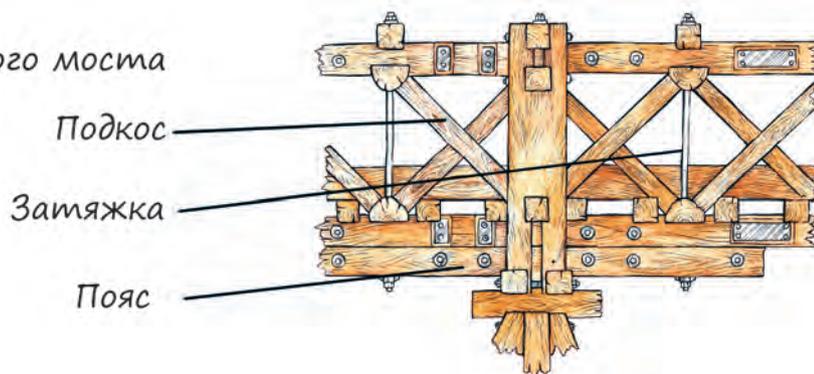
ЭКСПЕРИМЕНТ

Тебе понадобится железный конструктор. Соедини четыре короткие планки болтами в квадрат. Нажми на угол — квадрат легко складывается и превращается в ромб. Инженеры так и говорят: квадрат — это изменяемая фигура.

Что нужно сделать, чтобы квадрат не складывался? Верно! Поставить раскос. У тебя получилась система из двух треугольников. А вот треугольник — фигура неизменяемая, жесткая. От латинского слова *firmus* — «жесткий» — такие конструкции стали называть фермами.



Ферма Веребьинского моста



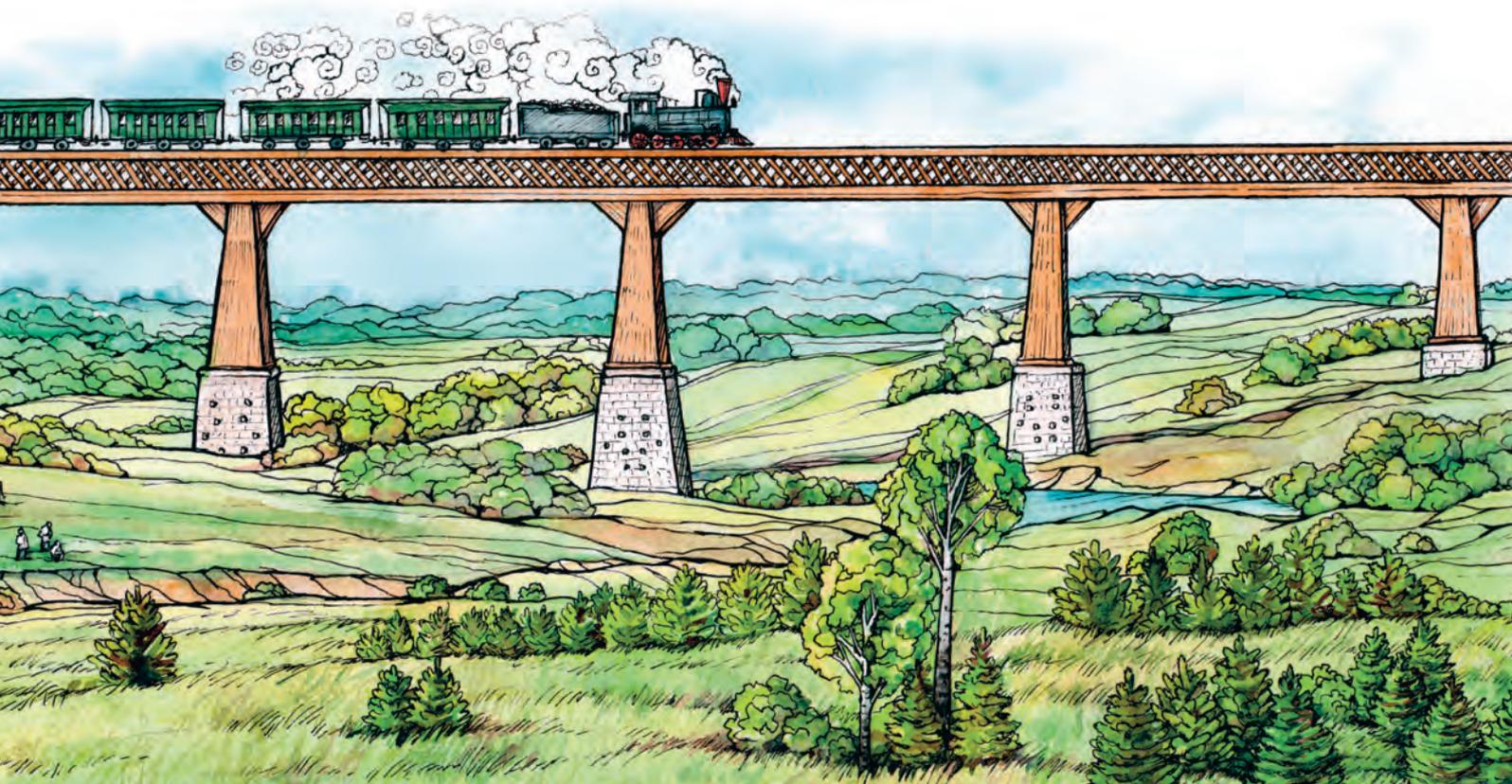
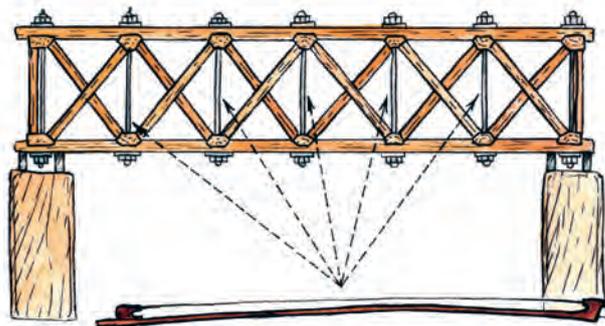
Молодой русский инженер Дмитрий Журавский сделал разумное предположение: разные затяжки растягиваются по-разному, в зависимости от их расположения — посередине пролета или ближе к опоре. Значит, где-то их нужно делать толще, а где-то — тоньше, что позволит сэкономить на металле. Но ему не поверили!

Журавский сделал модель моста из дерева, а металлические затяжки изобразил с помощью... струн! Затем он загрузил свою модель нагрузкой и провел по струнам смычком. Разные струны давали разную высоту звука, а значит — были натянуты по-разному. Так он доказал свою правоту и выполнил, пожалуй, один из самых красивых экспериментов в истории строительной науки.

Мост состоит из девяти пролетов, каждый длиной около 50 метров. Опоры сделаны деревянными, на каменном основании. Расстояние от воды до низа моста — 53 метра. Это как

высота шестнадцатиэтажного дома. Представь, сколько камня ушло бы на арочный каменный мост такой высоты!

Увы, но деревянные конструкции моста были слишком пожароопасны. Поэтому уже в 1880-е годы фермы заменили стальными. Однако системы деревянных мостов со стальными затяжками разного диаметра долгое время были распространены в Европе и назывались фермами Гау — Журавского.



МОСТ БРИТАНИЯ

В то время как в России ферменные мосты по традиции строили из легкодоступного дерева, в Англии, как всегда, делали ставку на железо. В 1850 году знаменитый изобретатель паровозов и строитель железных дорог Роберт Стефенсон создал мост Британия через Менайский пролив.

Проблема

Балки, даже в виде фермы, при небольшой высоте были недостаточно прочными на изгиб и жесткими. Из-за этого на железнодорожных мостах периодически случались аварии и даже катастрофы с человеческими жертвами. Как обеспечить бóльшую прочность?

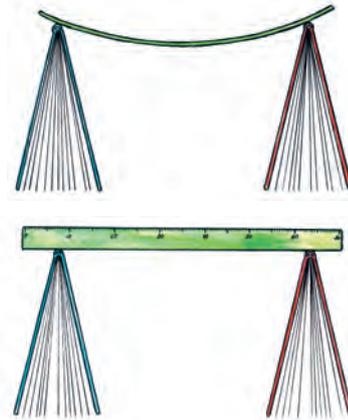
Решение

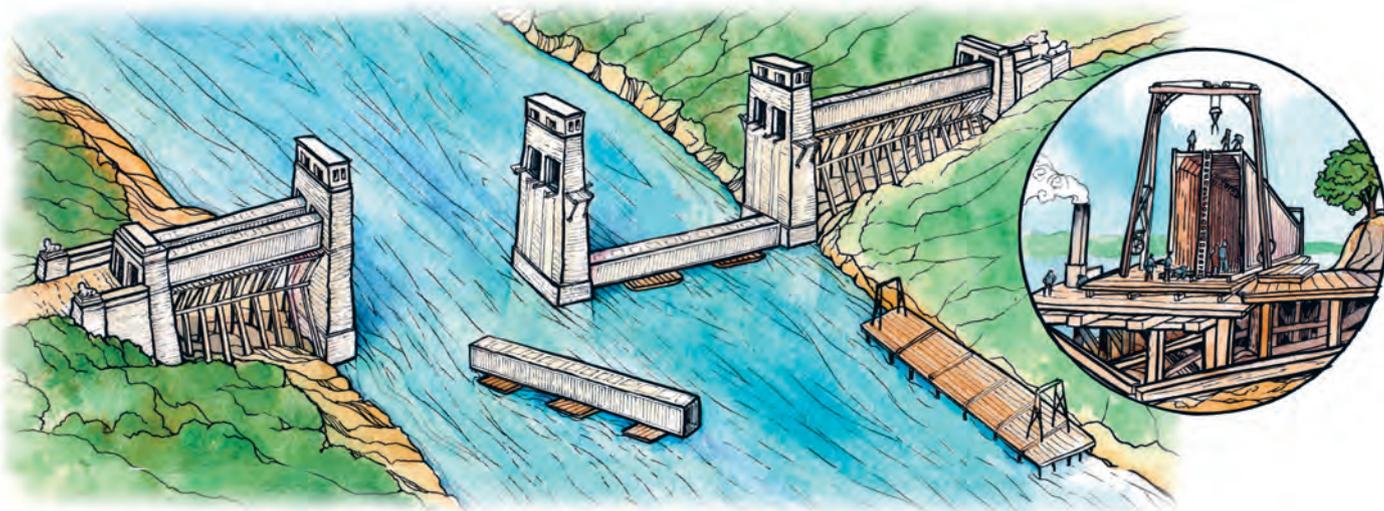
Проще всего изготовить балку высокого сечения в виде трубы, или коробки. Такая конструкция называется *коробчатой фермой*.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Тебе понадобится деревянная или пластиковая линейка. Положи линейку между двух опор, например книг. Надави на нее — она легко гнется и скоро сломается.

Поставь линейку на ребро. Теперь согнуть ее у тебя практически не получится. Инженеры говорят: чем выше сечение балки, тем она прочнее на изгиб.





Стефенсон предложил сделать пролеты в виде труб высотой девять метров, а поезда пустить не сверху, а... внутри труб!

Два основных пролета моста имеют рекордную для своего времени длину — 140 метров. Боковые стенки труб сделаны из листового железа, а дно и крыша — из труб поменьше.

КАК СТРОИЛИ МОСТ

Стефенсон придумал не только остроумную конструкцию, но и способ монтажа, то есть установки ферм. Пролеты моста строили на берегу, на баржах доставляли на место и устанавливали в пазы. Затем с помощью домкратов поднимали до нужной высоты и закрепляли.



ВИАДУК ГАРАБИ

С помощью ферм строят не только балки, но и арочные мосты. В 1885 году французский инженер Густав Эйфель создал виадук Гарابي через реку Трюйер на юге Франции.

Проблема

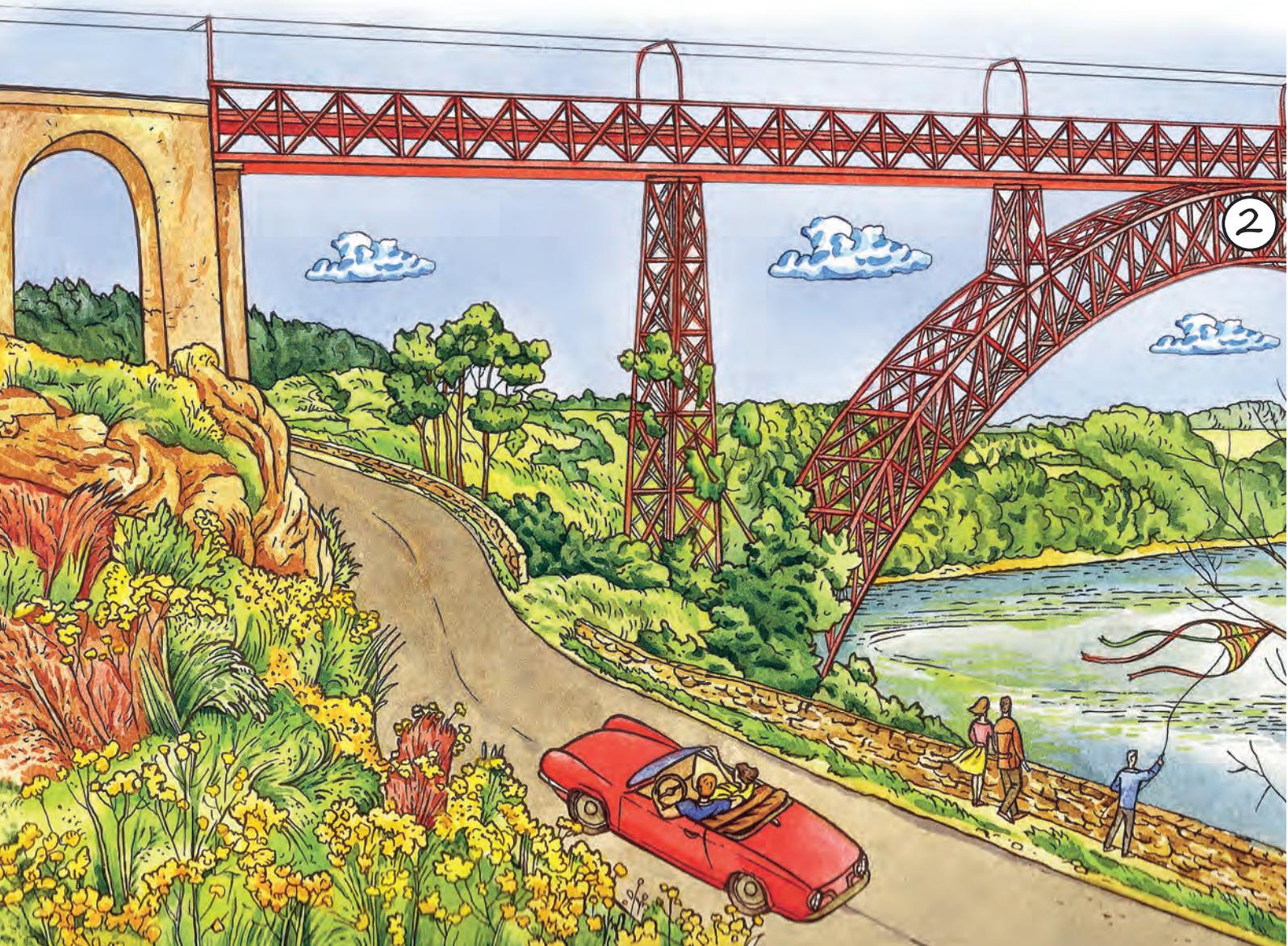
Речка эта не широка, но протекает в глубоком ущелье, а поезд, как ты помнишь, должен идти по возможности прямо. Поэтому пришлось соорудить мост длиной более полукилометра и высотой 124 метра над водой (примерно как сорокаэтажный дом. В то время это был самый высокий мост в мире). Кроме того, в речном ущелье дуют сильные ветры, и мост надо было сделать устойчивым к ветровой нагрузке.

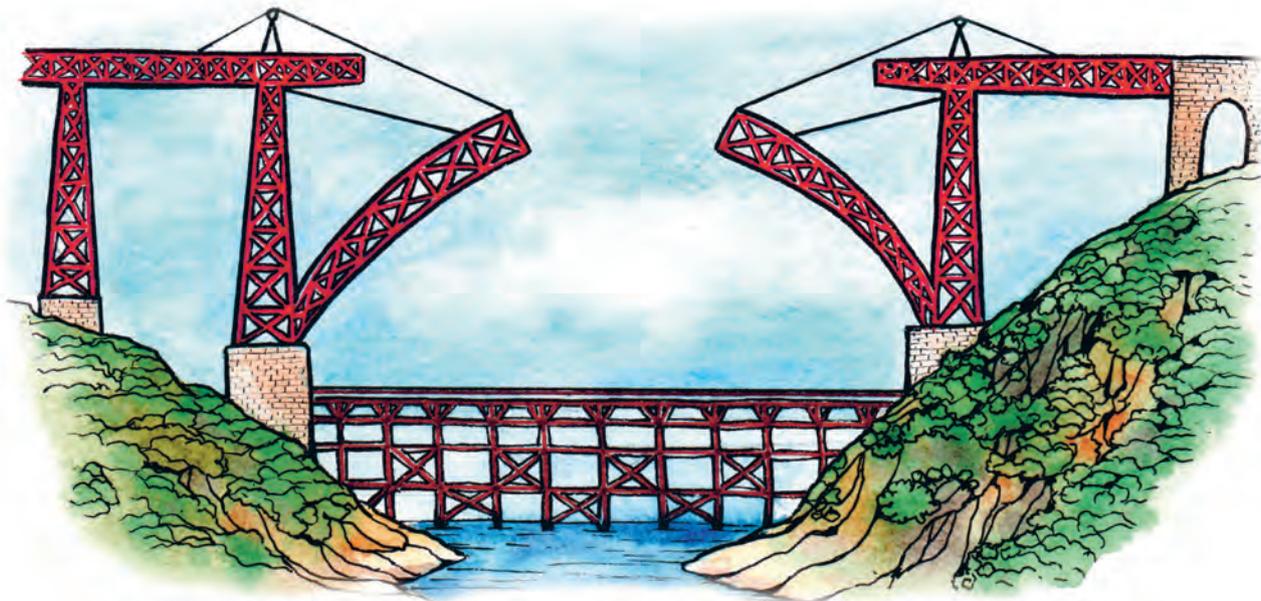
Решение

Эйфель задумал мост в виде ажурной стальной фермы — ветер свободно проходит сквозь нее. По краям полотно моста опирается на ажурные опоры (1), а в центре — на арку (2), переброшенную через реку. Ее пролет в 165 метров был рекордным для того времени. Для устойчивости арочная ферма расширяется у основания (3).

КАК СТРОИЛИ МОСТ

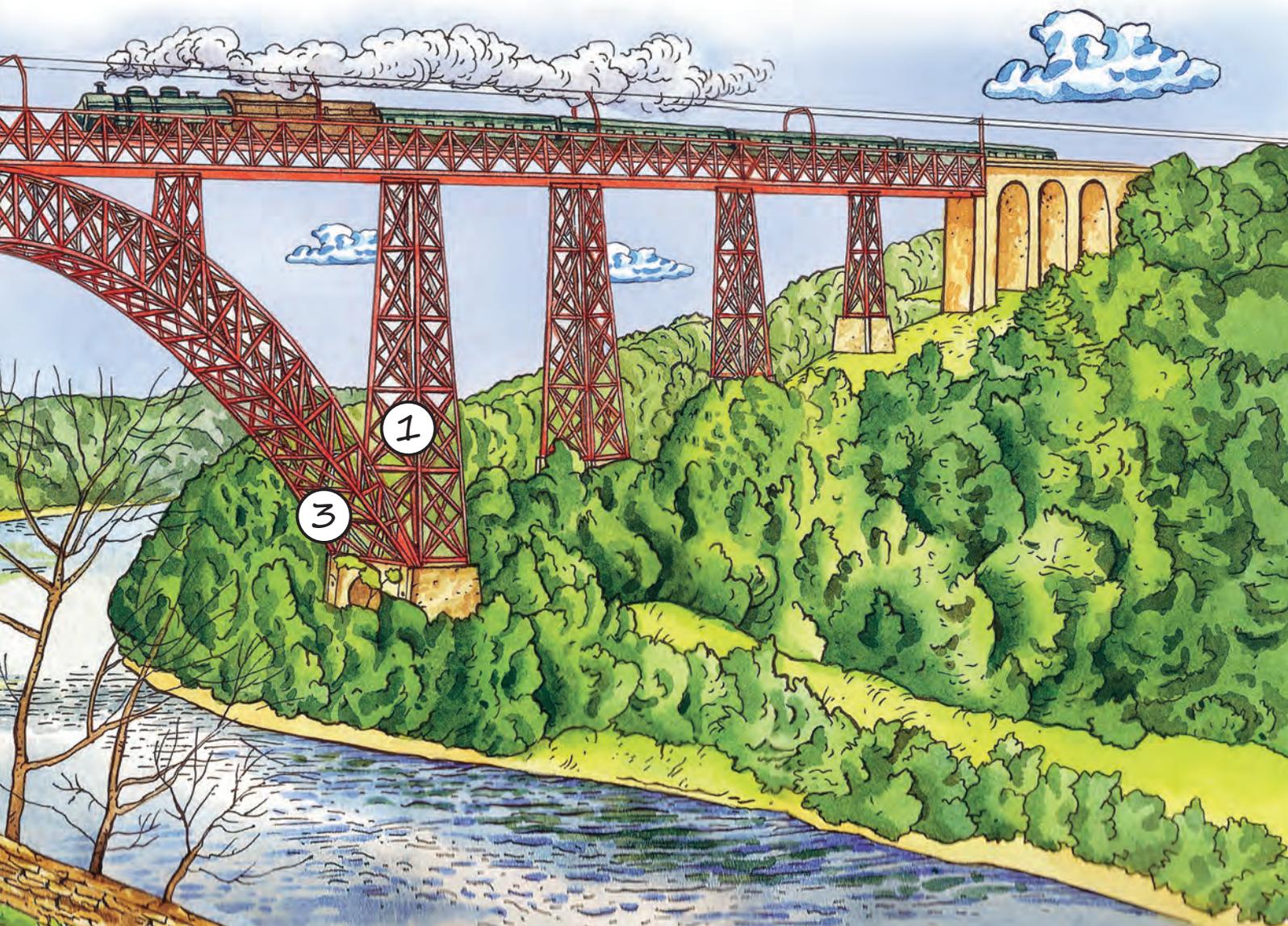
Еще одна проблема: как построить самую длинную в мире арку на самой большой в мире высоте? Раньше арки строили с помощью лесов-кружал (смотри главу «Арочные мосты. Пондю-Гар»). Но строить леса высотой в сорокаэтажный дом — это уж слишком!





Эйфель придумал остроумный способ — навесной. Арку строили одновременно с обеих сторон. Ее уже смонтированные части держались на тросах, закрепленных на двух

ближайших вертикальных опорах. Потребовалось возвести только небольшой деревянный мост у самой реки для удобства строителей.



ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ МОСТ ЧЕРЕЗ ЕНИСЕЙ

Самой длинной железной дорогой в мире до сих пор остается Транссибирская магистраль в России. Ее длина — от Москвы до Владивостока — составляет 9288 километров. Нелегко было вести дорогу через тайгу, но еще большую сложность представляли великие сибирские реки. В 1896 году инженер Евгений Карлович Кнорре приступил к строительству моста через Енисей близ Красноярска (проект моста выполнил другой инженер — Лавр Проскуряков).

Проблема

Река имела очень быстрое течение, на ней регулярно случались паводки, а дно состояло из гальки, в которой не могли держаться якоря. Все это делало невозможным строительство моста летом. Работать можно было только

с декабря до середины марта, пока река скована льдом. Кнорре должен был закончить мост в 1899 году, построив его всего за десять с половиной месяцев!

Решение

Кнорре предложил сооружать огромные фермы в летние месяцы на берегу, а зимой на двигать их на опоры.

КАК СТРОИЛИ МОСТ

С помощью специальных деревянных кранов, которые называются *кóзловыми* (похожи на козлы для распилки бревен), на каждом берегу построили по три фермы длиной 145 метров (это полтора футбольных поля). Высота



такой фермы — 21 метр, примерно как семиэтажный дом.

Когда наступила зима и Енисей сковала прочная корка льда, на ней построили деревянные подмости, уложили стальные катки — и покатали фермы на нужное место. Надвижка всех шести пролетов заняла чуть больше месяца.

Но прежде, чем двигать пролеты, надо было построить для них опоры в реке.

Проблема

Делать это летом опять-таки было невозможно из-за быстрого течения Енисея. Снова оставалась только зима.

Решение

Кнорре сумел превратить проблему в преимущество. Чтобы добраться до дна реки, строители делали в толстом слое льда прорубь,



все же оставляя над водой тонкую ледяную корку. Через несколько дней сибирская зима утолщала эту корку — и операцию надо было проделать снова. Так внутри реки постепенно возникала сухая ледяная шахта глубиной 20 метров.

В такой ледяной шахте можно было легко построить кессон. В переводе с французского

