

Сквозь горы, воды, города — тоннели: едем напролом!

Рокский тоннель, фото: «СК МОСТ»

DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.10

Кузнецова А.П., начальник отдела маркетинга ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Тоннели — один из самых сложных и дорогих видов транспортных сооружений. Эти скрытые от глаз гиганты являют собой героическую историю инженерной мысли и технического развития цивилизаций. Их возведение обусловлено острой необходимостью, ощущаемой властью и обществом, и требует смелых проектов и прогрессивной техники. Поэтому строительство крупнейших тоннелей — события эпохальные. В данной статье приводятся примеры рекордсменов своего времени среди горных, подводных и городских тоннелей, а также истории, связанные с их появлением.

В глубине веков

Более 3 тыс. лет назад построен тоннель, пройти по которому может каждый из нас и сегодня. Для этого достаточно оказаться в Египте, на западном берегу Нила в Долине Царей. Тоннель ведёт к гробнице фараона Сети I. Египтяне проложили подземный ход на стометровой глубине. Они использовали пилы, долота и буры. Длины тоннеля хватило бы с лихвой, чтобы разместить в нём крейсер «Аврора»: под землёй был раскопан и укреплен ход в 174 метра [1].

Тоннели в древности строили не только для царственных целей: с их помощью решали и задачи водоснабжения. На территории Древнего Ирана сохранились подземные каналы для воды, датированные 1-м тысячелетием до н. э. Свои подземные каналы персы строили методом qanat (букв. пер. с перс. — «канал»), выводя через равные расстояния на поверхность шахты. Через них извлекали выработанную породу и обеспечивали воздухом тружеников подземелья (рис. 1).

Под Иерусалимом сохранился тоннель для воды, построенный в VIII в. до н. э. (рис. 2). Длинною в полкилометра, он соединял источник Гихон с Силоамским водоёмом. **Силоамский тоннель** интересен сохранившейся в нём надписью, которая прославляет радостный момент

завершения стройки — долгожданную встречу рабочих, сбойку шахт двух тоннелепроходческих бригад. Кроме того, надпись передаёт любопытные технические подробности: «Вот и свершено строительство это. Когда ещё поднимали каменщики топоры один против другого и осталось прорубить ещё три локтя, услышали голоса друг друга, ибо была трещина в скале и справа, и слева. И вскоре топор ударился о топор. От источника воды пошли к бассейну длиной тысяча двести локтей, а толщина скалы над головами каменщиков сто локтей» [2] (рис. 3).

Есть версия, что каменотёсам, двигавшимся под землёй встречной проходкой, направление задавали звуками снаружи. В надписи указана толщина скалы над головами рабочих — 100 локтей (примерно 42 м). Установлено, что громкие звуки проникают под землю на глубину до 15 м. Следовательно, силоамские тоннелепроходцы оказались без звукового ориентира. При подходе к середине тоннеля с каждой стороны есть углубления в стенах — следы нескольких безуспешных попыток соединения. Услышав наконец голоса друг друга, люди встречных бригад возликовали. Эту радость и передаёт через века силоамская надпись.

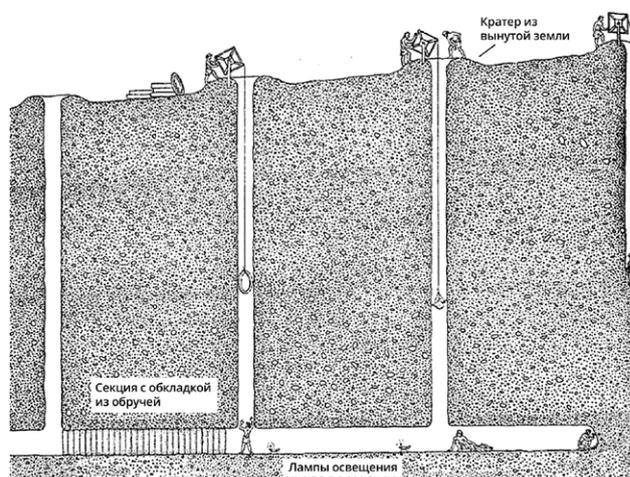


Рис. 1. Qanat — гидротехническая система подземных тоннелей, изобретённая древними персами 3 тыс. лет назад



Рис. 2. Силоамский тоннель, VIII в. до н. э. Длина 533 м, глубина залегания 5 м. Израиль, Иерусалим, фото 2010 г.

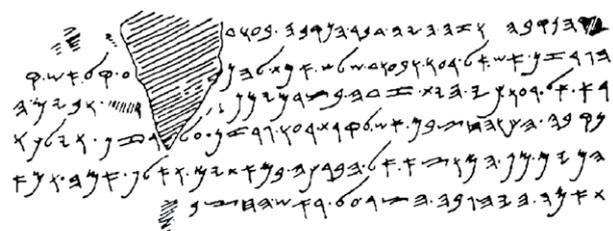
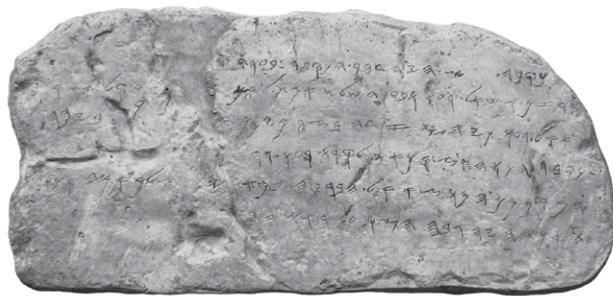


Рис. 3. Силоамская надпись описывает встречу двух тоннелепроходческих бригад в VIII в. до н. э.

При строительстве тоннелей в Древней Греции известные методы *qanat* и звуковой дополнялись новыми. **Эвпалинов тоннель (длина 1036 м) на острове Самос** возводили в VI в. до н. э. Греки, так же как и персы [3], выкапывали по линии тоннеля шахты (рис. 4, а). Через них поднимали выработанную породу, обеспечивали подачу воздуха и света рабочим подземелья и задавали направление встречного движения.

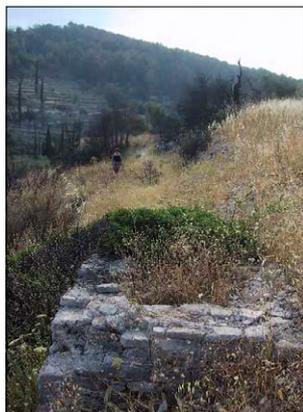
Автор книги по истории строительства тоннелей Дэвид Маколи обратил внимание на то, что в середине Эвпалинов тоннель имеет резкий V-образный изгиб [4]. Этот изгиб — ещё один

способ «состыковать» бригады: незадолго до предполагаемой встречи одну бригаду направили резко вправо, другую — влево, что гарантировало пересечение их ходов.

Подземной стройкой на острове Самос руководил Эвпалин. Тоннель получил его имя, тем самым прославив первого известного в истории инженера-строителя.

В тоннеле прокопана канава, в которой проложены трубы под наклоном для течения воды (рис. 4, б). Строительство этого сооружения велось 10 лет. А затем на протяжении тысячи лет этот водопровод снабжал пресной водой древний город.

а)



б)

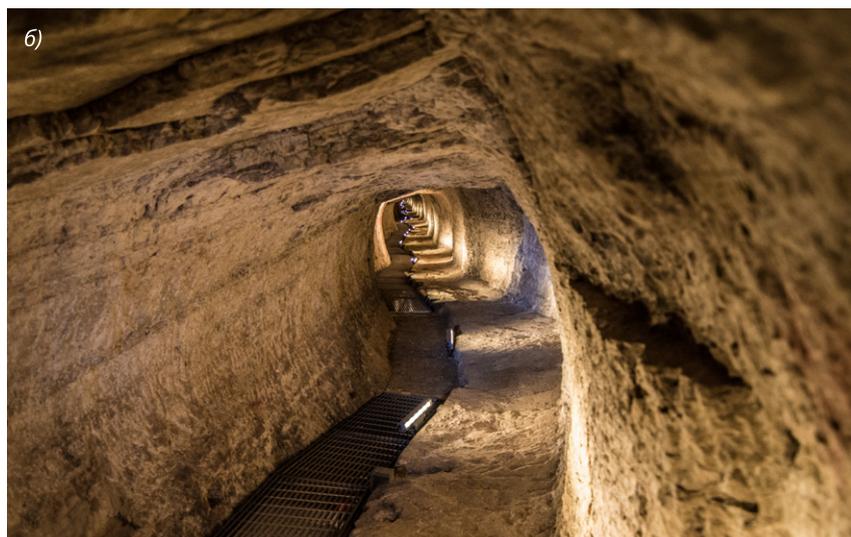


Рис. 4. Эвпалинов тоннель на острове Самос, Греция. Длина 1036 м. Построен в VI в. до н. э.: а) шахты Эвпалинова тоннеля: при строительстве ими задавали направление движения встречных бригад, обеспечивали воздухом и светом подземные работы, через них извлекали выработанную породу; б) Эвпалинов тоннель в наши дни

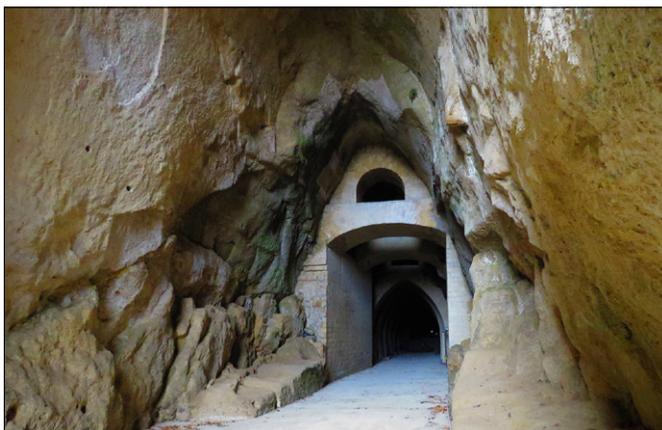


Рис. 5. Грот Кокцея (также Неаполитанская крипта, грот Позилиппо, грот Вергилия) близ Неаполя, Италия. Длина 711 м. Построен в 37 г. до н. э.



Рис. 6. Грот Сейяно близ Неаполя, Италия. Длина 780 м. Построен в I в. до н. э.



Рис. 7. Тоннель в ущелье Фурло, Италия. Длина 38 м. Построен в I в. н. э.

Эвпалинов тоннель получил высочайшую оценку историка Геродота и был включен в его тройку «самых больших сооружений во всей Элладе» [5]. В наши дни тоннель внесён в список всемирного наследия ЮНЕСКО и открыт для посещения как достопримечательность острова Самос. Опыт греческих тоннелестроителей получил своё дальнейшее развитие в Римской империи.

Горные

Родиной первых именно транспортных тоннелей стал Древний Рим. Их строили для переброски военных сил империи. Ряд «мостов» сквозь скалы, возведённых 2 тысячи лет назад римскими легионерами, можно лицезреть и в наши дни (рис. 5, 6).

История сохранила имя греческого инженера Люциуса Кокцея. Он попал к римлянам рабом. Благодаря виртуозному владению инженерным искусством Кокцей получил свободу и руководил строительством нескольких тоннелей, сохранившихся до сих пор (рис. 5, 6).

Римские тоннелестроители шли встречной проходкой и выкапывали наружные шахты. Кроме того, они применяли технологию «тушение пожара»: нагревали забой выработки огнём

до максимальной температуры, затем охлаждали водой и разбирали растрескавшуюся породу. Также римляне первыми стали применять специальный инструмент для нивелировки — хоробат.

Путешествуя по Италии на автомобиле, вы можете промчаться сквозь один из древнейших тоннелей, так и не опознав «реликт». Прорубленный в горе Фурло тоннель для римских завоевателей и в наши дни служит автомобилистам (рис. 7).

Грандиозные сооружения строили в кратчайшие сроки силами сотен тысяч человек. С падением Римской империи строительство тоннелей приостановилось до времён, когда многочисленную армию рабов научились замещать техническими средствами.

Истории известно немало примеров, когда и в XX в. протяжённые тоннели прорубали без использования техники. Так, жители китайской деревни Голиань, орудуя кирками и лопатами, за пять лет проложили тоннель длиной в 1 км 200 м (рис. 8). Его строительство завершилось в 1977 г.

С XVI в. стали применять чёрный порох и ручное бурение, что позволило ускорить возведение небольших тоннелей. Главным же



Рис. 8. Рукотворный тоннель жителей деревни Голиань, Китай, 1977 г. Длина 1200 м

толчком развития тоннелестроения стало появление железных дорог. По ним неслись локомотивы промышленной революции.

Горные массивы Англии, континентальной Европы, Америки не давали свободно раскинуть сети железных дорог. Не терпящим резких поворотов, спусков и подъёмов поездам требовались тоннели.

К концу XVIII в. появились бурильные машины. Динамит, бездымный порох, пироксилин позволили прокладывать тоннели длиной до четырёх метров в разных городах Европы и США.

Первый железнодорожный тоннель проложили в Англии на линии Ливерпуль — Манчестер. Километровый тоннель строили 4 года. Открытие состоялось в **1830 г.**

Спустя 30 лет появились первые железнодорожные тоннели и в России. При Александре II на ветке Петербург — Варшава, ныне территория Литвы, построили два тон-

неля: Виленский (427 м) (рис. 9, а) и Ковенский (1285 м). Тоннели отличались большим для того времени поперечным сечением и предназначались для двухпутного сообщения.

Возведением этих тоннелей руководил русский инженер-подполковник Корпуса путей сообщения Г.Ф. Перрот. Для горнопроходческих работ приглашались иностранные специалисты — минёры из Франции и Германии. Им платили хорошие деньги, хотя основную работу за маленькую зарплату выполняли русские разнорабочие. Они откатывали грунт, подавали и грузили материалы, устраивали пути. Грунт перевозили в отвал на вагончиках по узкоколейным путям, а из шахт-колодцев поднимали паровыми машинами. При работе в три восьмичасовых смены круглосуточно километровую проходку удалось завершить за 8 месяцев.

Г.Ф. Перрот впервые разработал теоретические основы расчёта тоннельной конструкции. Он составил

типологию отделки разных скальных пород, которой пользовались для рационального использования отделочных материалов.

Ковенский тоннель функционирует по сей день (рис. 9, б). Этот успешный опыт дал старт строительству тоннелей в горных районах Крыма, Урала, Сибири.

В 1890 г. на Закавказской железной дороге открыли Сурамский тоннель (Грузия) (рис. 10). Строительство этого двухпутного тоннеля велось под управлением инженера Ф.Д. Рыздзевского. Четырёхкилометровый тоннель построили за 4 года силами почти 2 тыс. рабочих.

Тоннелепроходческие работы велись в тяжелейших условиях. Бывали случаи, когда температура в забое повышалась до 50 °С. А за несколько метров до сбойки уровень подземных вод поднялся так, что работать приходилось по грудь в воде.

При строительстве использовали 165 тонн динамита, 80 тыс. бочек це-



Рис. 9. Старейшие железнодорожные тоннели Российской империи открыты в 1861 г.: а) Виленский тоннель на территории современной Литвы. Фото конца XIX в.; б) Ковенский тоннель. Став однопутным, действует и ныне. Скоро ему исполнится 160 лет



Рис. 10. Сурамский тоннель, территория современной Грузии. Открыт в 1890 г. Длина 4 км:
а) фото конца XIX в.; б) тоннель в наши дни

мента, было вынута и вывезено около 350 тыс. м³ грунта.

Встречные бригады двигались в среднем по 10 м в сутки, что в то время считалось мировым рекордом скорости проходки в аналогичных геологических условиях [6].

Проходку вели с огромной точностью: расхождение при сбойке забоев ограничилось незначительными сантиметрами. Высокая точность стала результатом трассирования тоннеля при помощи триангуляционной сети. Ф.Д. Рыздзевский впервые применил такой метод на этой стройке.

Соединение встречных проходок — сбойка — это кульминация строительства тоннеля. Момент стыковки подтверждает правильность проведённых расчётов и знаменует окончание долгой работы. Вот как описывает это выдающееся событие один из современников стройки Сурамского тоннеля: «...у входа в тоннель собрались Министр путей сообщения Посыет и множество гостей. Всё собравшееся общество вслед за Министром въехало на вагонетках в тоннель, ярко иллюминированный огнями. В конце галереи был заложен патрон с динамитом. Министр зажёл фитиль, взрыв образовал сквозное отверстие, через которое хлынула вода, накопившаяся с противоположной части хода... Когда отверстие было расширено, все прошли через него и на вагонетках вышли из тоннеля» [6].

Сурамский тоннель — выдающееся достижение отечественных инженеров и всех участников этой стройки, которое уже 130 лет обеспечивает движение сквозь Кавказские горы.

Тем временем в Европе шло наступление на Альпы. С применением бездымного пороха и пневматических дрелей стали строить тоннели всё более и более протяжённые (рис. 11, 12). К началу XX в. в Европе насчитывалось 26 тоннелей длиной более 5 км каждый. Рекордсмены среди них:

1. Тоннель Мон-Сени между Францией и Италией, 12 км (1857–1871 гг.).
2. Тоннель Сен-Готард между Италией и Швейцарией, 15 км (1872–1882 гг.).

3. Симплонский тоннель между Италией и Швейцарией, 20 км (1906, 1921 гг.).

Двигаться вперёд на стройках этих гигантов рабочим помогали пневматические дрели, динамит, сжиженный воздух, системы подачи воды для охлаждения породы и устранения пыли (рис. 11, 12).

При строительстве тоннелей могли случаться обвалы, ошибки при взрывных работах и обращении с техникой. Кроме того, люди гибли от болезней, вызванных тяжёлыми условиями труда. Так, десятилетняя стройка Сен-Готардского тоннеля унесла жизни почти 200 человек. Погиб в тоннеле и сам руководитель проекта — Луи Фавр. Его жизнь остановил сердечный приступ.

Луи Фавр не имел специального инженерного образования. Сметливый парень учился всему сам. Богатый опыт помог ему стать авторитетным специалистом и выиграть подряд на возведение 15-километрового тоннеля.

Этот проект для Фавра стал роковым. Ему приходилось отвечать буквально за всё: за верность расчётов, техническое обеспечение, условия труда рабочих, потраченные деньги кредиторов и общественности. Сильнейшее нервное перенапряжение в конце концов привело к инфаркту, который случился у него в тоннеле за два года до окончания проходки.

Тем не менее Луи Фавру удалось первым пройти из Италии в Швейцарию сквозь Альпы: при сбойке рабочие встречных бригад передали друг другу портрет руководителя, символично сделав его первопроходцем Сент-Готардского тоннеля.



Рис. 11. Цистерна с сжатым воздухом для пневмомагистральной, приводящей в движение дрели



Рис. 12. Пневмодрель, применявшаяся при строительстве Сен-Готардского тоннеля. 1872–1882 гг.



Рис. 13. Сбойка Готардского базисного тоннеля. Соединяет Швейцарию с Италией. Открыт в 2016 г. Самый длинный железнодорожный тоннель в мире (57 км)



Рис. 14. Тоннелепроходческий щит производства компании Herrenknecht

Уже в начале XX в. основные железнодорожные тоннели в Европе были построены. Затем их история замерла почти на полвека. И только к концу столетия были разработаны мощнейшие проходческие комплексы, способные сворачивать любые горы (рис. 13, 14).

В основном равнинный характер рельефа России позволяет обойтись без грандиозных тоннелей. Самым длинным железнодорожным тоннелем является Северо-Муйский в Бурятии — 15 км (рис. 15). Его стройка началась в 1977 г. Официальное открытие состоялось в 2003 г.

Автодорожные тоннели получили развитие позднее по двум причинам: во-первых, автомобили моложе железнодорожного транспорта. Во-вторых, автомобильные дороги легче приспособляются к сложностям рельефа — резкие спуски, подъёмы и повороты они могут преодолеть.

Первые автодорожные тоннели появились в 20-е годы прошлого столетия,

а со второй половины XX в. их строительство набрало оборот (таблица 1).

Максимальная разрешённая скорость движения в Лердальском и Чжуннаньшаньском тоннелях — 80 км/ч. Чтобы полчаса движения по подземелью были приятны, в этих тоннелях особое внимание уделено их оформлению: психологические просветы, разнообразная подсветка и искусственные ландшафты помогают водителям не потерять бдительность.

Самый длинный автодорожный тоннель в России — Гимринский, в Дагестане (рис. 18). Движение по нему открыли в 1991 г. Его протяжённость — 4 км.

Подводные

Как и железнодорожный, **первый подводный тоннель** также появился в Англии. Движение по нему открыли в **1843 г.** Тоннель под Темзой должен был стать переправой для конного транспорта между двумя районами Лондона.

Новаторский проект предложил **Марк Брюнель** — английский инженер французского происхождения. Изначально он разрабатывал проект тоннеля под Невой в Санкт-Петербурге и представил его Александру I. В России дело не пошло, и решение адаптировали для Темзы.

Осуществлять смелую идею Брюнель задумал с помощью своего изобретения — проходческого щита (рис. 19). Эта конструкция представляла собой ряды независимых секций, отделяемых от забоя стенкой из коротких деревянных досок, так называемый лобовой щит. Каждая доска удерживалась на месте винтовыми домкратами. Землекоп ослаблял домкраты, убирал доску лобового щита, выбирал порядка 10 см породы и возвращал доску на место. Когда операция во всех ячейках завершалась, мощные домкраты продавливали щит вперёд.

Англичане 17 лет проходили свои первые 400 м под речным дном. Грандиозное для своего времени ин-



Таблица 1. Пять самых длинных автомобильных тоннелей мира на 2019 г.

Название	Страна	Протяжённость, км	Год открытия
Лердальский (рис. 16)	Норвегия	24	2000
Чжуннаньшаньский (рис. 17)	Китай	18	2007
Сен-Готардский	Швейцария	17	1980
Овит	Турция	14	2018
Сюэшань	Тайвань	13	2006

Рис. 15. Северо-Муйский тоннель — самый длинный из железнодорожных в России (15 км). Открыт в 2003 г.



Рис. 16. Лердальский — самый длинный автомобильный тоннель (24,5 км). Норвегия. Открыт в 2000 г.



Рис. 17. Чжуннаньшаньский тоннель. Для каждого направления движения имеет свой ствол. Китай. Открыт в 2007 г.



Рис. 18. Гимринский тоннель — самый длинный из автодорожных в России (4 км). Движение открыто с 1991 г.

женерное сооружение не оправдало возложенных на него ожиданий: конные экипажи по нему так и не пошли. Зато применённые в нём технологии получили дальнейшее развитие и дали старт всем будущим победам тоннелепроходцев. Кроме того, тоннель по-прежнему открыт для движения, хотя и пешеходного.

Идею проходческого щита усовершенствовал Д. Грейтхед, придав ему круглую форму, оснастив гидравлическими толкателями и сжатым воздухом (рис. 20). С появлением этого механизма началось активное освоение подземного пространства.

Научившись прокладывать и укреплять протяжённые тоннели, инженеры задумались о вентиляции, которая очень важна при автомобильном движении. В начале XX в. американский инженер Клифорд Холланд разработал механизм закачки воздуха. Впервые его система заработала в тоннеле под рекой Гудзон (Нью-Йорк, Нью-Джерси, США) [4]. Этот тоннель строили под его руководством с 1920 по 1927 г. Длину подводной автодороги — 2,7 км. Тоннелю дали имя в честь главного инженера проекта — Холланда (рис. 21).

«Когда он говорил о туннеле, у слушателя создавалось впечатление, что строится единственное убежище для человечества, — писал репортёр газеты Brooklyn Daily Eagle в 1920 году. — При этом он напоминал крота, всюю расхваливающего свою прекрасно вырытую нору» [4].

Холланд исследовал воздействие выхлопных газов на человека и искал способы предотвращения кессонной болезни. Кроме того, ему постоянно приходилось убеждать власти и общество в том, что тоннель действительно нужен и надо продолжать финансировать его строительство. Такое нервное напряжение резко сказалось на его здоровье. Как и Луи Фавр, он умер от сердечного приступа, вызванного нервным перенапряжением, в 41 год, за три года до открытия тоннеля. Позднее тоннель включили в перечень национальных исторических памятников, и по сей день он полностью работоспособен.

Как и горные, подводные сверхдлинные тоннели в первую очередь строят для железных дорог. Самые крупные из них **Сэйкан** в Японии (1988 г.)

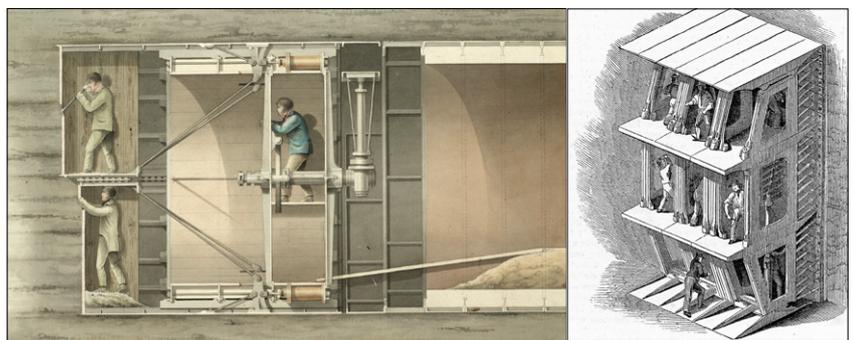


Рис. 19. Проходческий щит М. Брюнеля на гравюрах середины XIX в.

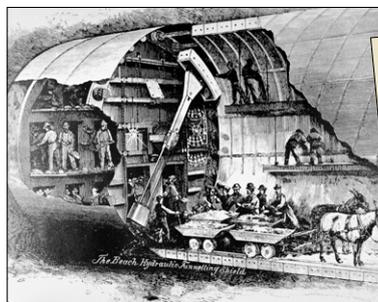


Рис. 20. Проходческий щит конца XIX — начала XX в. на гравюрах и в рекламе

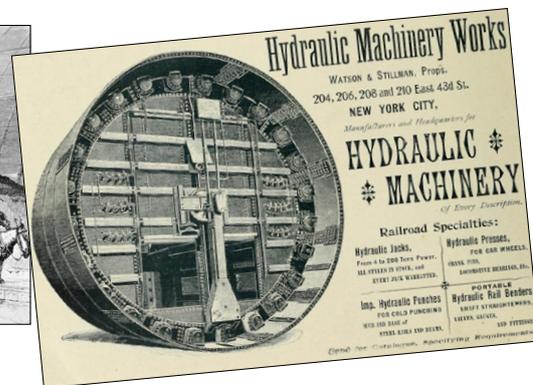


Рис. 21. Тоннель Холланда под рекой Гудзон, США. Открыт в 1927 г. Действует и в наше время: а) въезд со стороны Джерси-Сити; б) одна из вентиляционных башен тоннеля. Фото сер. XX в.



Рис. 22. Евротоннель в год празднования его 20-летия, 2014 г.



Рис. 23. Рабочие отмечают соединение тоннеля Сэйкан, 10 марта 1985 г.



Рис. 24. Тоннель Сэйкан включили в сеть высокоскоростных железных дорог «Синкансэн». 2016 г.

и **Евротоннель** между Великобританией и Францией (1994 г.) (рис. 22, 23).

У Евротоннеля из общей длины (50 км) под водой находится 39 км, поэтому из подводных его можно считать самым длинным.

Решения о строительстве сверхдлинных тоннелей всегда принимаются сложно. Так,

тоннель под Ла-Маншем обсуждался с начала XIX в. Инженеры знали, как технически соединить берега Англии и Франции. Общественно-политические же споры вокруг проекта длились почти 200 лет.

В советском журнале «Техника — молодёжи» за 1967 г. статья «Шагая через пролив» [7] описывает план, который передали на этап строительства. «В 1975 году туннель под проливом Ла-Манш пропустит первый поезд». Но и в середине XX в. дальше проекта дело не продвинулось. Политические споры, несогласованность деловых кругов, общественные протесты в очередной раз заморозили стройку [8, 9, 10, 11]. Только в 1987 г. пошёл процесс, в результате которого появился Евротоннель.

Британские и французские бригады шли встречной проходкой друг к другу 3 года. Сбойка служебно-технического тоннеля состоялась 1 декабря 1990 г. Эпохальная встреча произошла в 22 км от порта Дувр (Великобритания) и в 16 км от порта Кале (Франция), от дна пролива на десятиметровой глубине, от поверхности морских волн в 40 м.

Стройка завершилась менее чем за 7 лет силами 13 тыс. инженеров и рабочих (рис. 24). Это настоящий памятник инженерному и технологическому развитию человечества. В 2017 г. с его помощью пролив пересекли 12 миллионов пассажиров, 3 миллиона грузовиков и 2 миллиона автомобилей [12].

Значительно короче история появления тоннеля Сэйкан в Японии. Он проложен под проливом, соединяющим Японское море с Тихим океаном, между островами Хонсю и Хоккайдо. Его длина — 54 км. Из них 23 км проложено под дном пролива на глубине 100 м. До поверхности моря расстояние может составлять 240 м.

Разработку проекта начали ещё до Второй мировой войны, но всегда находились причины отложить его реализацию. В 1954 г. страшный тайфун унёс жизни 3 тыс. человек, находящихся на кораблях. Чтобы успокоить граждан и предотвратить подобные катастрофы, власти ускорили старт возведения подводного тоннеля. Строительство началось в 1964 г. и велось 24 года силами почти 14 тыс. человек [13].

Долгое время Сэйкан не могли включить в сеть высокоскоростных железных дорог «Синкансэн». Он работал вполсилы и использовался в основном для грузоперевозок. Это послужило появлению слухов о том, что нерентабельный тоннель переоборудуют в гигантскую грибную ферму. Только в 2016 г. по нему понеслись молниеносные пассажирские поезда и тоннель заработал в полную силу (рис. 24).

В России также есть подводный тоннель. По нему идут 7 км железной дороги под Амуром. Его строили с 1937 по 1941 г. в оборонительных целях (рис. 25), поэтому долгое время тоннель был засекречен.

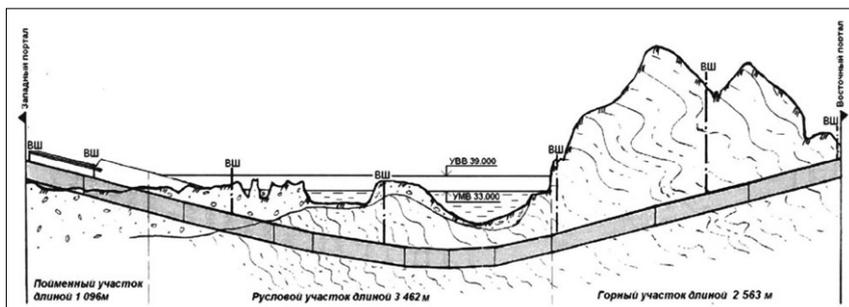


Рис. 25. План тоннеля под Амуром



Рис. 26. Портал тоннеля под Амуром. Открыт в 1941 г. Длина 7 км

Организацию строительства возглавлял нарком путей сообщения СССР Л.М. Каганович. Начальником и главным инженером проекта после нескольких замен назначили опытного строителя Н.А. Ермолаева.

Технический проект (рис. 25) был разработан специальной экспедицией Метротранспроекта при участии Метропроекта Народного комиссариата путей сообщения СССР и утверждён в 1938 г. специальным Постановлением СНК СССР и ЦК ВКП(б) № 374/80.

Стройку вели прикомандированные с Метростроя специалисты основных профессий, воины железнодорожной бригады, вольнонаёмные и заключённые работники. Общее число занятых варьировалось, в среднем составляя 5,5 тыс. человек в год [16].

Тоннель находился в эксплуатации с октября 1942 г., наиболее интенсивно его использовали в конце Второй мировой войны. В наши дни он по-прежнему работает, входя в состав Транссибирской магистрали (рис. 26).

Из автомобильных тоннелей самым длинным является Аквалайн (9,5 км) (рис. 27) — уникальное сооружение в Токийском заливе. Чтобы не блокировать работу порта, мост скомбинировали с тоннелем. Для этого отсыпали два искусственных острова — Кадзэ-но то (с яп. «башня ветра») и Умихотару (с яп. «морской светлячок»). На одном установлена вентиляционная система тоннеля, на втором, где мост «ныряет» под воду, действует развлекательный центр. Смелое инженерное решение позволило радикально решить транспортную проблему Токио.

Городские

Возводить тоннели в городе ещё сложнее, чем сквозь горы и под водой. Существующая плотная застройка, путаница коммуникаций, жители, не желающие терпеть шум и грязь строительства рядом, — это далеко не все преграды, которые возникают перед строителями. Тем не менее первые тоннели появились ещё в XIX в., а в XXI в. они становятся главными

спасателями городской инфраструктуры от транспортного коллапса.

Первые тоннели под городскими улицами появились в Англии в 1829 г. Они также строились для железных дорог (рис. 28). Некоторые из них вошли в систему метрополитена.

Самым известным из городских тоннелей является Большой Бостонский тоннель, Big Dig (с англ. «большая яма»), — колоссальный проект по преобразованию устаревшей транспортной системы в центре мегаполиса в современный инфраструктурный объект (рис. 29). Для его возведения снесли автомагистраль, нависавшую над улицами с 1950-х гг., заменили мост и построили несколько тоннелей. На реализацию проекта ушло 22 года.

По числу упоминаний в СМИ Big Dig явно превзошёл Евротоннель под Ла-Маншем. Перерасход средств, обвинения в использовании низкокачественного бетона, обвал, недовольство жителей шумом, поток крыс, вынужденных искать новое пристанище, — проблемы и перспективы, связанные



Рис. 27. Самый длинный в мире подводный автомобильный тоннель — Аквалайн, Япония (9,5 км). Построен в 1997 г.

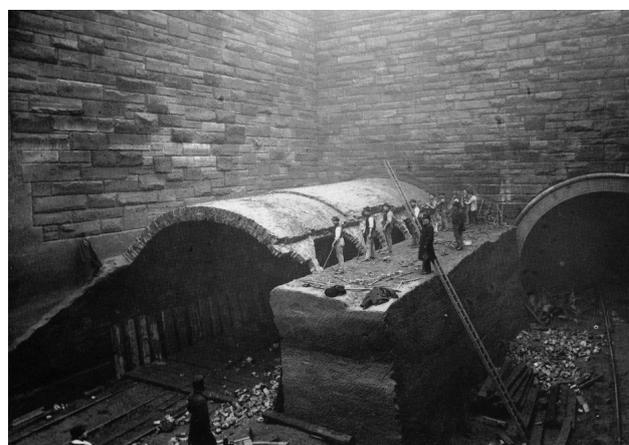


Рис. 28. Строительство первого городского тоннеля в Ливерпуле, 1829 г.



Рис. 29. Большой Бостонский тоннель Big Dig, США. Длина 5,6 км. Построен в 2007 г.:
 а) до строительства Big Dig двухуровневые магистрали лишали центр Бостона света и воздуха. Фото до 1985 г.;
 б) Big Dig освободил городское пространство, скрыв потоки машин под землёй

с этим проектом, приковывали к нему внимание общественности.

В Москве за последнее время построены такие современные городские тоннели, как Лефортовский (3 км, 7 полос движения, глубина залегания 30 м, открыт в 2005 г.), двухъярусный Северо-Западный (Серебряноборские тоннели): нижний для метро, верхний для автомобилей; каждый ярус состоит из трёх веток — по одной для каждого направления движения и дополнительной служебной (3 км, глубина залегания 44 м, открыт в 2007 г.).

В 2015 г. открыт Алабяно-Балтийский тоннель. В течение 14 лет в разное время на этой стройке работали от 4 до 7 тыс. человек. Над этим тоннелем находится железная дорога, подземная речка Таракановка, метро. Глубина залегания — с 8-этажный дом (30 м) (рис. 30).

Плотная городская застройка, интенсивное движение в зоне строительства, близость фундаментов зданий, запутанные подземные инженерные коммуникации, слабые водонасыщенные

грунты — работа требовала хирургической точности и была бы невозможной без современных технологий: микроанализа колебаний в грунтах, их укрепления струйной цементацией через инъекционные трубы и др.

Тоннели, вперёд!

Современные технологии позволяют человечеству построить тоннели везде, где есть в этом необходимость. Инженеры знают, как соединить Аляску с Сибирью под Беринговым проливом, Европу с Африкой под Гибралтарским проливом и Америку с Европой под Атлантическим океаном. Но с экономических и политических позиций подобные проекты выглядят утопично.

XXI в. становится веком городских тоннелей. Осваивать подземное пространство мегаполисов — вот настоящий вызов времени. В декабре 2018 г. Илон Маск в Лос-Анджелесе продемонстрировал первый высокоскоростной тоннель. Протяжённостью в 2 км, он был построен под городскими улицами всего за один год. Идея

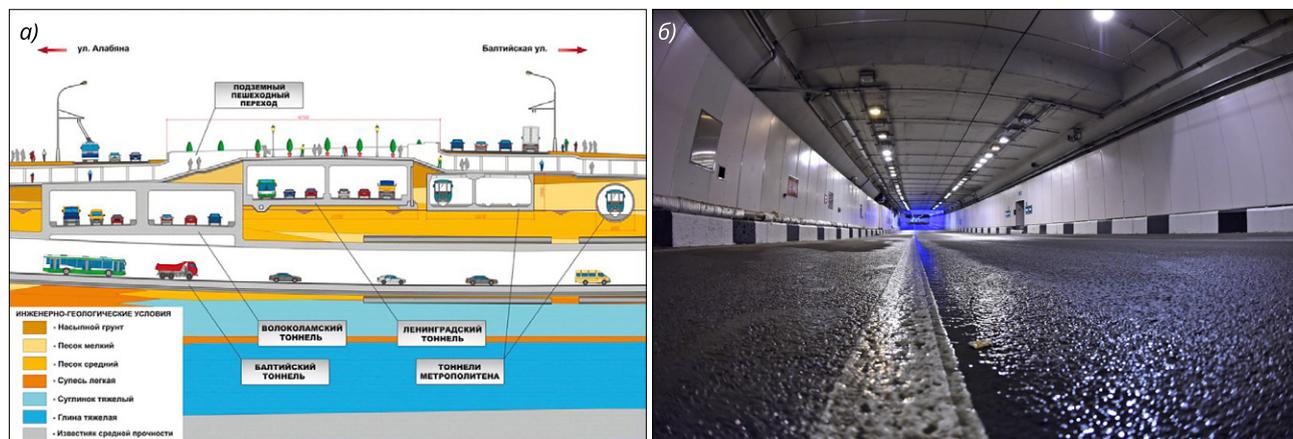


Рис. 30. Алабяно-Балтийский тоннель в Москве:
 а) поперечное сечение Ленинградского проспекта после открытия тоннеля;
 б) внутри Алабяно-Балтийского тоннеля

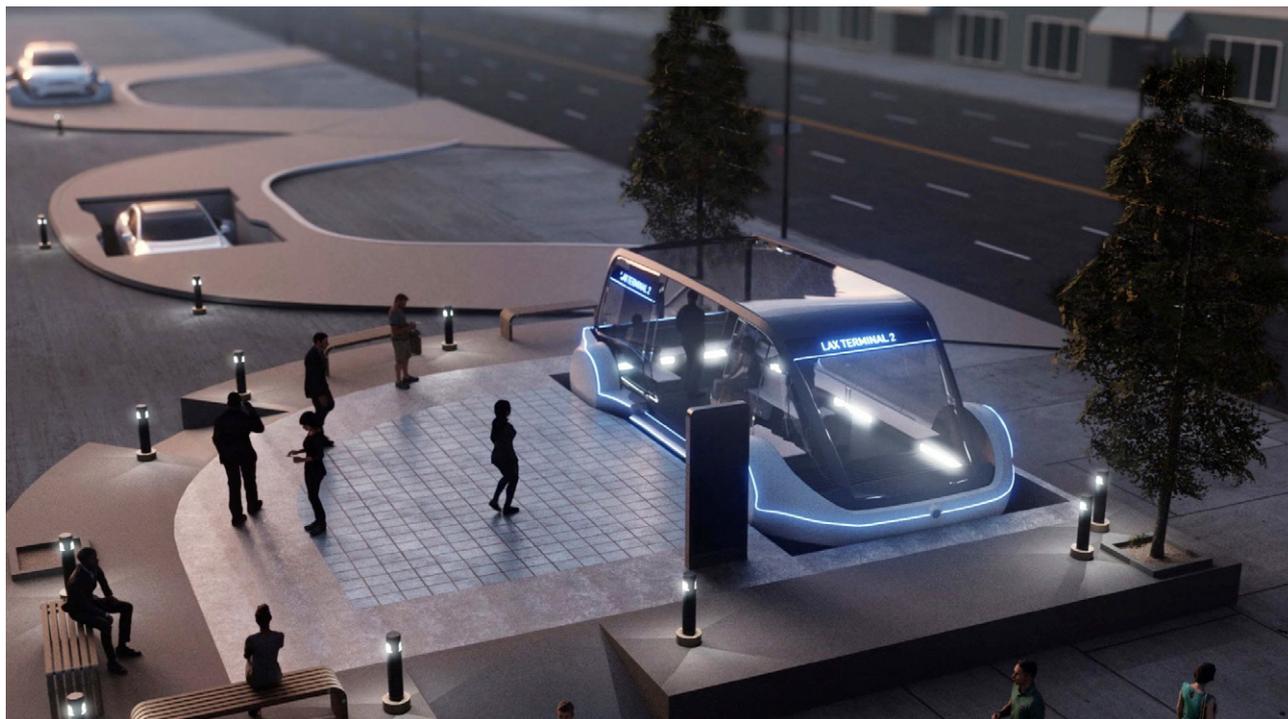


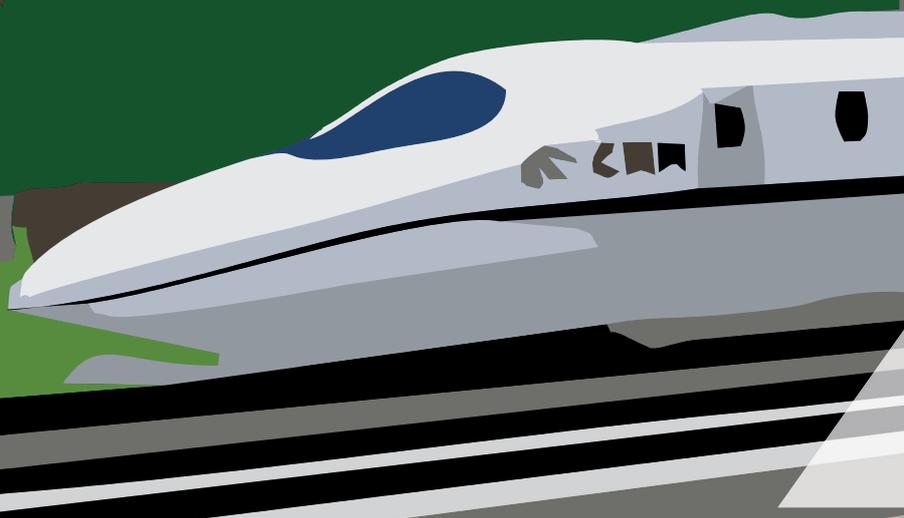
Рис. 31. Прототип тоннеля для скоростного городского транспорта

создать сеть таких тоннелей, бесспорно, замечательна, но сможет ли современное общество позволить себе реализовывать подобные проекты? Скоро узнаем и будем ждать появления новых невидимок, грациозно решающих проблемы наземной перегруженности дорог (рис. 31). 

Литература:

1. Алданов С. Туннель в гробнице Сети I. URL: <https://aldanov.livejournal.com/347685.html> (дата обращения: 21.03.2019)
2. Хачхарджи К. Самоподобие. URL: <https://www.proza.ru/2014/01/16/1012> (дата обращения: 21.03.2019)
3. Hughes D. The Tunnel of Eupalinos. URL: <https://homepages.cwi.nl/~aeb/math/samos> (дата обращения: 21.03.2019)
4. Маколи Д. Как это построено: от мостов до небоскребов. М.: Манн, Иванов и Фебер, 2015. 192 с.
5. Геродот. История в девяти книгах. URL: <http://ancientrome.ru/antlitrr/t.htm?a=1269003000#60> (дата обращения: 21.03.2019)
6. Выпов И. Сурамский тоннель // «Метро». 1994. № 2. С. 41–45.
7. Фельдзер К. Шагая через пролив // «Техника — молодёжи». 1967. № 9. С. 18–19.
8. Симон И. Тоннель под Ла-Маншем // «Техника — молодёжи». 1940. № 4. С. 52.
9. Федоров Ю. ...И все-таки, будет ли он построен? или Три главы из истории Ла-Маншского туннеля // «Техника — молодёжи». 1974. № 6. С. 28–35.
10. Гребенщиков С. Прорыли и... забыли? // «Техника — молодёжи». 1985. № 8. С. 65–66.
11. Тоннель под Ла-Маншем. Часть 3. Условия региона, осознание необходимости строительства и первые шаги. URL: <https://www.geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/tonnel-pod-la-manshem-chast-3-prohodka-39443.shtml> (дата обращения: 21.02.2019)
12. Eurotunnel Group - Company Profile, Information, Business Description, History, Background Information on Eurotunnel Group. URL: <https://www.referenceforbusiness.com/history2/79/Eurotunnel-Group.html> (дата обращения: 21.03.2019)
13. Asheesh. Construction of the Seikan Tunnel in Japan. URL: <https://www.brighthubengineering.com/structural-engineering/81802-construction-of-the-seikan-tunnel/> (дата обращения: 21.03.2019)
14. Великие инфраструктурные проекты России / Соколова Е.Н. [и др.]. М.: ООО «Гражданский Альянс», 2010. 688 с.
15. Крейнис, З.Л. Очерки истории железных дорог. Два столетия. М., 2007. 335 с.

САМЫЕ-САМЫЕ ТОННЕЛИ



ГОТАРДСКИЙ БАЗИСНЫЙ ТОНNELЬ
Лепонтийские Альпы, Швейцария

Длина — 57 км



Самый длинный
железнодорожный
тоннель мира
(кроме метро)

ТОНNELЬ СЭЙКАН
Сангарский пролив, Япония

Длина — 54 км



Второй по длине
железнодорожный
тоннель мира
и длиннейший
проложенный
под водой

ЕВРОТОНNELЬ
Пролив Ла-Манш, Великобритания/Франция

Длина — 50 км



Самый длинный
международный
тоннель
и самый длинный
подводный сегмент



**Самый длинный
автодорожный
тоннель в мире**

ЛЕРДАЛЬСКИЙ ТОННель

Лердал — Эурланн, Норвегия

Длина — 24,5 км



**Самый длинный
автомобильный
тоннель в Китае**

ЧЖУННАНЬШАНСКИЙ ТОННель

Горы Циньлин, Китай

Длина — 18 км



**Самый длинный
подводный
автомобильный
тоннель**

ТОННель АКВАЛАЙН

Токийский залив, Япония

Длина — 9,6 км



**Самый глубинный
в мире**

ЭЙКСУННСКИЙ ТОННель

Стурь-фьорд, Норвегия

**Длина — 7 км
глубина — 287 м**

