

## Тоннель под Ла-Маншем. Часть 3. Проходка



**Несмотря на то что с момента открытия тоннеля под Ла-Маншем (Евротоннеля) прошло уже почти 25 лет, его до сих пор многие считают одним из современных чудес света. Сложнейшее строительство этого сооружения значительно продвинуло вперед знания, связанные с тоннелестроением. По протяженности своей подводной части оно до сих пор занимает первое место среди тоннелей мира, хотя по общей длине находится на третьем месте. В первых двух частях статьи было рассказано об условиях региона, принятии решения о строительстве Евротоннеля, организационной структуре управления проектом, основных результатах инженерных изысканий и выборе трассы. Третья часть посвящена проходке системы тоннелей по данному проекту.**

### **Аналитическая служба**

В 1986 году правительства Великобритании и Франции подписали договор о создании тоннеля под дном самой узкой части Ла-Манша – пролива Па-де-Кале. На основе анализа результатов инженерных изысканий, выполненных в 1986–1988 годах, был разработан проект сооружения, определены методы и технологии его реализации. Условия региона, принятие решения о строительстве Евротоннеля, организационная структура управления проектом, основные результаты инженерных изысканий и выбор трассы были рассмотрены в первых двух частях статьи [14, 15]. Здесь мы расскажем о проходке системы тоннелей по данному проекту.

Трасса Евротоннеля должна была пройти 3,3 км под сушей на французской стороне, 37,9 км под дном пролива и 9,3 км под сушей на английской стороне, то есть всего 50,5 км между порталами. Причем 85% трассы должны были проложить в нижней части 25–30-метровой толщи почти водонепроницаемого известкового мергеля, повторив ее синклинальный изгиб (на средней глубине 45 м от уровня дна, на максимальной – 75 м). Тоннель пересекал другие слои пород только под сушей на стороне Франции. Французский терминал было запланировано расположить у города Кокель недалеко от портала «Бёссинг», а британский терминал – в районе Черитон города Фолкстон недалеко от портала «Касл-Хилл» (рис. 1–3).



Рис. 1. Трасса Евротоннеля на карте-схеме (по [26])

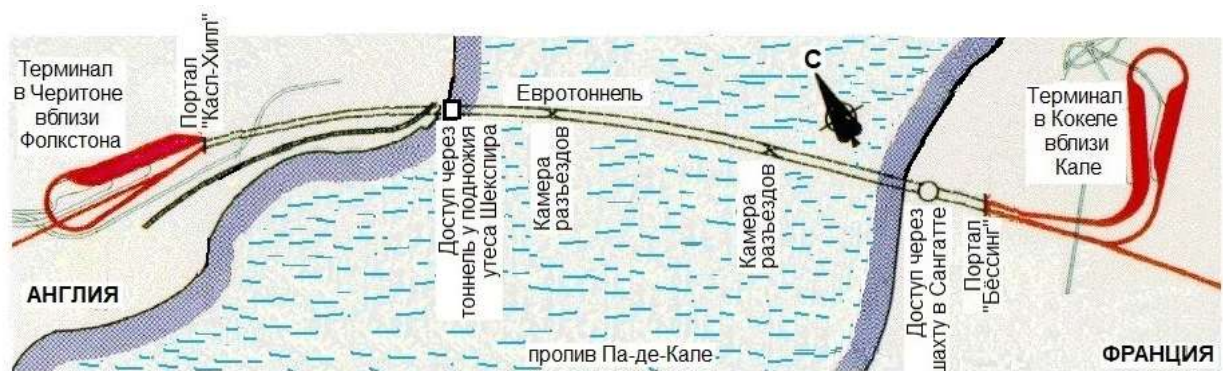
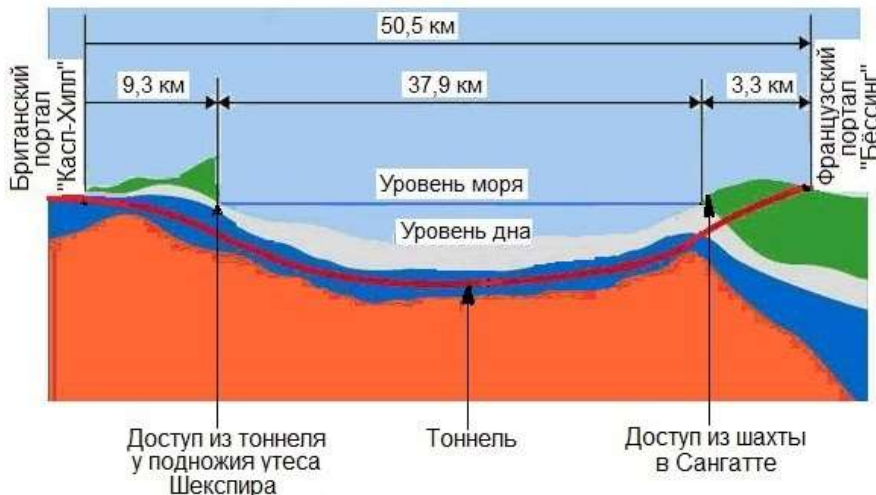


Рис. 2. Приблизительный план трассы Евротоннеля (по [28])



**Рис. 3.** Упрощенный продольный профиль трассы Евротоннеля (по [18]). Более подробный разрез – см. во второй части статьи [15]

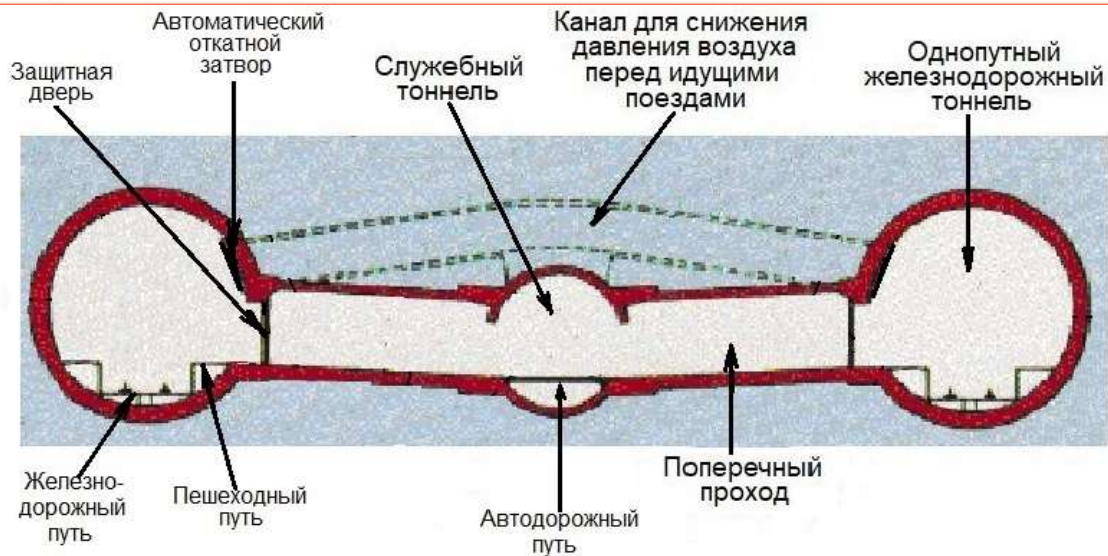
По проекту должно было быть пройдено три основных тоннеля – два однопутных железнодорожных диаметром бурения 8,8 м (с внутренним диаметром обделки 7,6 м) на расстоянии 30 м друг от друга, а между ними – один служебно-технический диаметром бурения 5,8 м (с внутренним диаметром обделки 4,8 м) (рис. 4, 5). По «северному» тоннелю поезда теперь идут из Великобритании во Францию, по «южному» – в обратном направлении (см. рис. 1). Это сочли необходимым, чтобы свести к минимуму риски строительства и эксплуатации, в том числе за счет обеспечения оптимального количества эвакуационных путей на случай аварийных ситуаций.

Через каждые 375 м было запланировано прокладывать с помощью малогабаритной техники поперечные проходы диаметром 3,3 м между служебным и железнодорожными тоннелями для работы обслуживающего персонала и аварийной эвакуации людей в случае опасности (см. рис. 4, 5).

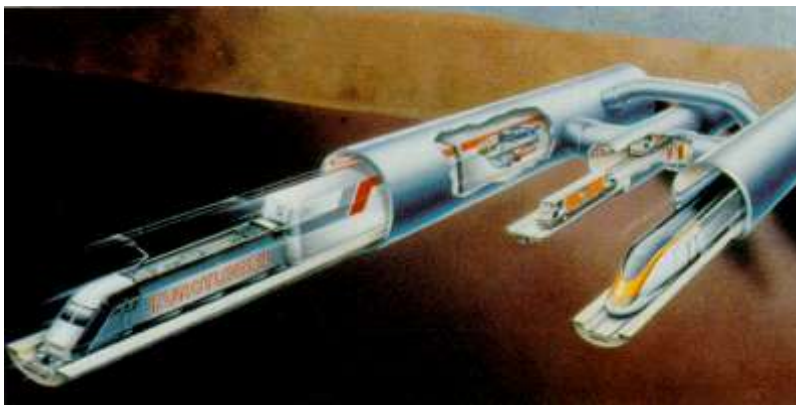
Через каждые 244 м было запроектировано соединять железнодорожные тоннели выше свода служебного тоннеля воздуховодами диаметром 2 м, необходимыми для снижения повышенного давления перед движущимися поездами путем передачи избытка воздуха в соседний тоннель (см. рис. 4, 5). Позже в этих каналах пришлось установить специальные клапаны-ограничители и снизить допустимую скорость движения железнодорожных составов, чтобы на них не было сильного бокового воздействия воздушных потоков.

Между поперечными проходами (а также воздуховодами) и железнодорожными тоннелями была запланирована установка герметичных автоматических затворов, чтобы предотвратить проникновение дыма в соседние тоннели в случае пожара или воды в случае затопления (см. рис. 4, 5).





**Рис. 4.** Схема системы тоннелей под проливом Па-де-Кале в поперечном разрезе в месте одного из переходов, соединяющих тоннели между собой (по [28])



**Рис. 5.** Трехмерная модель участка системы из трех тоннелей под проливом Па-де-Кале [28]

Напомним, что Евротоннель проектировали и строили по 5 основным французских и британских строительных компаний бинационального консорциума TML, а также десятки компаний-субподрядчиков, особенно на финальных стадиях (при прокладке инженерных коммуникаций и пр.). В проекте участвовало около 5 тыс. инженеров и техников и более 8 тыс. рабочих, причем вновь набранный персонал предварительно проходил необходимую подготовку по специально разработанным методикам.

Французская группа компаний должна была строить систему тоннелей под своей сухопутной частью и под проливом от своего берега, а британская – под своей сушей и под морским дном от своего побережья. При проектировании и строительстве эти две группы использовали стандарты своих стран. Однако, например, о диаметрах тоннелей, о параметрах железнодорожных путей и систем электронабжения локомотивов, а также о многих других вещах, пришлось договариваться. Поэтому для руководства инженерной командой с целью обеспечения ее слаженной работы был приглашен шотландец Гордон Крайтон как нейтральная сторона.

Пробивать тоннели на британской стороне начали в декабре 1987 года, а на французской – в феврале 1988 года. Напомним, что служебный тоннель проходил с опережением железнодорожных примерно на 1 км, причем с частым бурением тонких разведочных скважин во все стороны, чтобы заранее уточнять все инженерно-геологические особенности вдоль трассы и минимизировать столкновения с непредвиденными условиями при проходке более крупных и ответственных главных тоннелей.

Одновременно работало 5 тоннелепроходческих комплексов (ТПК) с французской стороны и 6 – с английской. По три из них бурили тоннели с береговых строительных площадок навстречу друг другу под дном пролива, а остальные – в сторону суши на каждом берегу.

Британцы начали проходку с использованием искусственной площадки у подножия утеса Шекспира на самом берегу пролива, насыпанной еще в 1843 году при строительстве железной дороги между Лондоном и Дувром. На этой площадке в 1974 году была пробурена исследовательская штольня. Вторую штольню пробурили в 1987 году. Эти два пути использовали для доступа материалов, техники и рабочих при строительстве системы тоннелей с британской стороны (рис. 6).



**Рис. 6.** Трехмерная модель площадки у подножия утеса Шекспира с двумя штольнями и строящиеся от нее тоннели со стороны Великобритании [28]

Поскольку вышеупомянутая площадка не была достаточно большой, в море вокруг нее была выстроена водонепроницаемая дамба из шпунтовых свай и железобетона общей длиной 1 795 м и толщиной до 11,36 м, пространство внутри которой постепенно заполнили 1,8 млн куб. м вынутого при проходке тоннелей грунта (рис. 7). Полученный искусственный мыс впоследствии озеленили и устроили там парк «Самфир». Там же до сих пор располагаются и постоянные технические службы тоннеля (вентиляции, охлаждения, пожаротушения, электроснабжения). Остальные 3,6 млн куб. м вынутого британцами грунта были использованы ими для обратной засыпки при строительстве тех сухопутных частей тоннеля и терминала, которые создавались открытым способом.



**Рис. 7.** Утес Шекспира и огороженная дамбой нижняя рабочая площадка под ним, постепенно все более заполняемая вынутым при строительстве тоннелей грунтом. Наверху утеса видна верхняя рабочая площадка с заводом по изготовлению бетонных сегментов обделки тоннелей (фото 1988 г.) [28]

Поскольку со стороны французского берега известковый мергель залегает достаточно глубоко, то чтобы достичь этой толщи хотя бы под морским дном, французам пришлось около поселка Сангатт выкопать, укрепить и оборудовать шахту диаметром 55 м и глубиной около 70 м, защитив ее сверху огромным ангароподобным навесом. Эта шахта использовалась для материально-технического обеспечения строительных работ. И именно оттуда началась работа французских тоннелепроходческих машин (рис. 8).



**Рис. 8.** Трехмерная модель шахты в Сангатте и строящихся от нее тоннелей со стороны Франции [28]

Вынутый при строительстве тоннелей грунт французы сначала складировали недалеко от строительной площадки в Сангатте, а потом на специально выстроенной установке смешивали его с водой и эту 50%-ную суспензию перекачивали по трубопроводу в резервуар, удерживаемый плотиной Фонд Пино, которая была построена еще в 1942–1944 годах нацистской Германией в составе



системы береговых укреплений «Атлантический вал» (рис. 9). Когда образовавшееся грязевое озеро высохло, его поверхность засеяли травой, получив обычный зеленый ландшафт. Строительная площадка вокруг самой шахты в Сангатте после окончания строительства также была озеленена и благоустроена. Эта шахта и теперь соединяет с тоннелями постоянные инженерные службы (вентиляции, охлаждения, пожаротушения, электроснабжения).

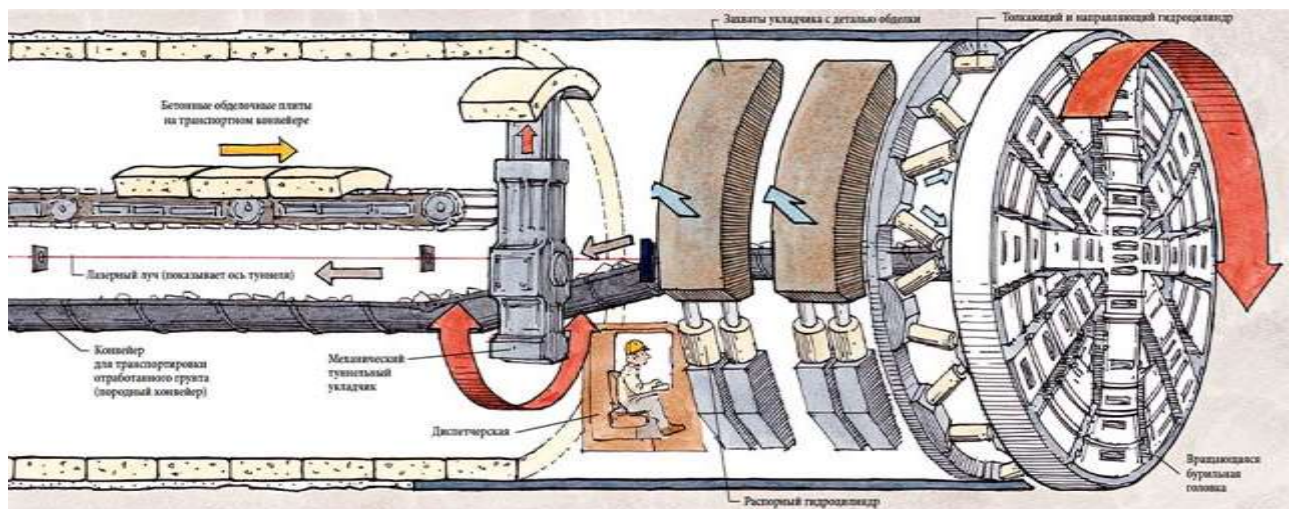


**Рис. 9.** Французское побережье пролива Па-де-Кале в районе Сангатта во время проходки Евротоннеля. Ближе видна рабочая площадка с заводом по изготовлению сегментов бетонной обделки и шахтой для доступа к строящимся тоннелям, дальше – плотина Фонд Пино, удерживавшая пульпу из воды и вынутого при бурении тоннелей грунта [28]

Наподобие гигантского земляного червя каждый тоннелепроходческий комплекс продвигался вперед, разрушая породу за счет вращавшегося на оси головного щита стального ротора, оснащенного комплексным породоразрушающим инструментом, и отправляя вынутый грунт назад по внутреннему конвейеру для погрузки в вагонетки и вывоза из тоннеля по временным железнодорожным путям или колесными транспортными средствами (рис. 10, 11).



**Рис. 10.** Тоннелепроходческий комплекс, использованный при строительстве железнодорожного тоннеля под Ла-Маншем [18]



**Рис. 11.** Схематичное изображение работающего тоннелепроходческого комплекса [8]

Работа каждого ТПК управлялась оператором с пульта управления, расположенного в головной части машины, при помощи бортового компьютера и высокотехнологичной системы лазерного позиционирования (см. рис. 11).

Эти комплексы оставляли за собой практически завершённые конструкции – обшитые бетонной обделкой цилиндрические тоннели. То есть сразу после пробуривания часть тоннеля, остававшаяся под защитой оболочки передней части ТПК, укреплялась железобетонной или чугунной обделкой с помощью механического укладчика. Поэтому за каждым работающим тоннелепроходческим щитом более чем на 200 м тянулся технический состав, транспортировавший назад вынутый грунт, доставлявший на место сегменты обделки, подававший свежий воздух, воду, электричество и т.д.

Большая часть тоннелей была облицована сборными высокопрочными железобетонными кольцами шириной 1,5 м и толщиной от 0,38 до 0,8 м в



зависимости от грунтовых условий. На французской стороне каждое кольцо состояло из 6 сегментов, а на британской – из 9.

Из-за более водопроницаемых грунтовых условий с французской стороны чугунные или железобетонные секции обделки там плотно скреплялись между собой болтами, причем места стыков тщательно герметизировались эластомером (неопреном). После закрепления секций за них нагнетался тампонажный цементный раствор, заполнявший строительные зазоры между обделкой и грунтовой стенкой.

На английской же стороне скрепление болтами использовалось только в некоторых местах с более плохими грунтовыми условиями, а в остальных случаях применялась только цементация зазоров.

Срок службы железобетонной обделки с сохранением целостности был рассчитан на 120 лет даже при возможных сейсмических воздействиях. Для производства невероятно большого количества высокопрочных железобетонных сегментов было специально выстроено два завода – по одному вблизи каждого берега пролива (см. рис. 7, 9). В качестве наполнителя для бетона использовалась гранитная крошка.

В самых плохих и влажных грунтовых условиях, где бетонная облицовка была неуместной, а также в переходных тоннелях и воздуховодах использовались сегменты тубинговой чугунной крепи.

По ходу системы тоннелей поэтапно пробурили и закрепили две огромных камеры разъездов с приблизительно эллиптическими сечениями. Одну из них (высотой 15 м, шириной 22 м и длиной 165 м) расположили в 7 км от английского берега, а другую (высотой 19 м, шириной 25 м и длиной 180 м) – на расстоянии 12 км от французского. Каждая из этих камер объединила тоннели так, чтобы поезда могли перемещаться между ними в случае перекрытия каких-то участков для ремонта, технического обслуживания или при аварийных ситуациях. В камерах разъездов установили массивные затворы с дистанционным управлением для возможности независимого снабжения воздухом каждого из тоннелей и препятствия распространению дыма и огня в случае пожара или воды в случае затопления. Эти затворы предназначены для открывания только тогда, когда необходимо воспользоваться разъездом.

Важно отметить, что тоннельная среда, необходимая для нормальной работы людей и оборудования, поддерживалась системами временного вентилирования, дренажа, водоснабжения, энергоснабжения, связи и мониторинга, которые работали не хуже постоянных и с сопоставимой с ними мощностью, но по совершенно другой концепции.

В октябре 1990 года, когда две части строившегося служебного тоннеля разделяло чуть больше 90 м, ТПК остановили. Чтобы удостовериться в том, что обе половины тоннеля находятся на одной линии, с английской стороны пробурили скважину-зонд диаметром 5 см. Когда она достигла французской части проходки, между шедшими друг к другу тоннелями был вручную пробит узкий коридор. Встреча французских и британских строителей произошла 1 декабря 1990 года (рис. 12) на глубине 40 м от дна пролива в 22,3 км от Великобритании и в 15,6 км от Франции. Затем соединительный коридор расширили до нужного диаметра небольшими горнопроходческими комбайнами.



**Рис. 12.** Встреча строителей, буривших британскую и французскую части служебного тоннеля навстречу друг другу [11]

Спустя полгода соединились и железнодорожные тоннели. Всего при проходке системы тоннелей, которая длилась 3 года, было вынуто 8 млн куб. м грунта.

Благодаря уже упомянутой выше системе лазерной навигации, которая помогала командам держаться намеченных курсов, общее отклонение встречных трасс друг от друга составило всего 358 мм по горизонтали и 58 мм по вертикали, что было в пределах допустимого.

Интересно, что возвращение английских тоннелепроходческих комплексов назад сочли слишком дорогим мероприятием, поэтому их резко повернули и направили в работающем состоянии в сторону (по некоторым опубликованным данным – вниз), а после эвакуации операторов отверстия залили бетоном и закрыли обделкой. Французские же ТПК завершили тоннельные работы, после чего их перегнали, не разворачивая, на английскую сторону, а там демонтировали. Головные части двух из них снова собрали, покрыли свежей краской и выставили на всеобщее обозрение у подъездных дорог к терминалам на английской и на французской сторонах как дань уважения строителям тоннеля. Однако первый из них компания Eurotunnel потом продала на металлолом [2–8, 10–13, 16–25, 27–33].

Об окончании строительства Евротоннеля и его эксплуатации, а также о сложностях, возникавших на разных этапах развития данного проекта, мы расскажем в следующей части статьи.

### **Список литературы и других источников**

1. *Веселова М.* Ла-Манш: 10 фактов о главном скоростном подводном коридоре Европы // Вокруг света. 06.05.2018. URL: <http://www.vokrugsveta.ru/article/292358>.
2. Евротоннель (тоннель под Ла-Маншем, Eurotunnel, Channel Tunnel) // Traveleu.ru. Дата последнего обращения: 28.10.2018. URL: <http://traveleu.ru/roads/roadFotoMap/Eurotunnel.htm>.
3. Евротоннель под Ла-Маншем // Tv-english.club/ru. 25.07.2018. URL: <https://tv-english.club/ru/statyi-ru/velicobritaniya-ru/evrotonnely-pod-la-manshem/>.
4. Евротоннель // Ru.wikipedia. 25.09.2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Евротоннель>.

5. Евротоннель // Terra Nova. Дата последнего обращения: 01.12.2018. URL: <http://www.himchistka-daugavpils.eu/gran-1.html>.
6. Из Великобритании в Бельгию на поезде «Евростар» через тоннель под Ла-Маншем // Puerrtto.livejournal. 21.07.2014. URL: <https://puerrtto.livejournal.com/599765.html>.
7. Корзинов Н. Столетняя стройка // Наука и жизнь. 2010. № 1. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/17050/>.
8. Маколи Д. Как это построено: от мостов до небоскребов. Туннель под Ла-Маншем (Евротоннель) // АНО ЦКОФР. 22.05.2015. URL: [https://www.ckofr.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1107](https://www.ckofr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1107).
9. Пролив Ла-Манш // 2mir-istorii.ru. 23.01.2017. URL: <http://2mir-istorii.ru/morya/8928-proliv-la-mansh.html>.
10. Ремизов А.А. Щитовая проходка тоннелей // СтройПрофиль. 11.12.2006. URL: <http://stroyprofile.com/archive/2440>.
11. Самая грандиозная стройка XX века: как рыли тоннель через море (фото, видео) // <http://News.bigmir.net>. 19.09.2017. URL: <http://news.bigmir.net/world/752490-Samaja-grandioznaja-strojka-XX-veka--kak-ryli-tonnel--cherez-more--FOTO--VIDEO->.
12. Тоннель «Ла-Манш» // <http://www.eurotunnel.com>. Дата последнего обращения: 29.10.2018. URL: <https://www.tourister.ru/world/europe/united-kingdom/city/london/tunnels/1055>.
13. Тоннель под Ла-Маншем // РИА «Новости». 01.12.2015. URL: <https://ria.ru/spravka/20151201/1332679143.html>.
14. Тоннель под Ла-Маншем. Часть 1. Условия региона, осознание необходимости строительства и первые шаги // Geoinfo.ru. 03.12.2018. URL: <http://www.geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/tonnel-pod-la-manshem-chast-1-usloviya-regiona-osoznanie-neobhodimosti-stroitelstva-i-pervye-shagi-39310.shtml>.
15. Тоннель под Ла-Маншем. Часть 2. Результаты инженерных изысканий и выбор трассы сооружения // Geoinfo.ru. 10.12.2018. URL: <http://www.geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/tonnel-pod-la-manshem-chast-2-rezultaty-inzheneryh-izyskanij-i-vybor-trassy-sooruzheniya-39368.shtml>.
16. Туннель под Ла-Маншем // Review planet. 17.11.2018. URL: <http://review-planet.ru/2011/11/tunnel-pod-la-manshem/>.
17. Туннель под Ла-Маншем // География. Дата последнего обращения: 28.10.2018. URL: <https://geographyofrussia.com/tunnel-pod-la-manshem/>.
18. Фролова О. Ла-Манш: самый длинный подводный тоннель в мире, который оказался убыточным // travelask. 26.04.2019. URL: <http://travelask.ru/blog/posts/11538-la-mansh-samyu-dlinnyy-podvodnyy-tonnel-v-mire-kotoryu-okaza>.
19. Channel Tunnel fire, France/UK // One stop shop in structural fire engineering by the University of Manchester. The last accessed date: 28.10.2018. URL: <http://www.mace.manchester.ac.uk/project/research/structures/strucfire/CaseStudy/HistoricFires/InfrastructuralFires/channelTunnel.htm>.
20. Channel Tunnel // En.wikipedia. 08.11.2018. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Channel\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Channel_Tunnel).



21. Channel Tunnel // Theotherside. 30.03.2002. URL:  
<https://www.theotherside.co.uk/tm-heritage/background/tunnel.htm>.
22. Civil Engineering. Euro Tunnel (the Chunnel) // Explore the world of piping. The last accessed date: 28.10.2018. URL:  
[http://www.wermac.org/civil\\_eng/eurotunnel.html](http://www.wermac.org/civil_eng/eurotunnel.html),  
<https://www.eurotunnel.com/build/>.
23. *Goel T.* Engineering the Euro Tunnel // Bright Hub. 16.11.2012. URL:  
<https://www.brighthub.com/education/homework-tips/articles/49126.aspx>.
24. *Harris C.S.* Channel Tunnel facts // Geologyshop. The last accessed date: 28.10.2018. URL: <http://www.geologyshop.co.uk/chtunfacts.htm>.
25. *Harris W.* How tunnels work // Howstuffworks 04.11.2006. URL:  
<https://science.howstuffworks.com/engineering/structural/tunnel4.htm>.
26. [http://www.anglonautes.eu/english%20words/vocabulary\\_transports\\_main/voc\\_trans\\_train\\_1/z\\_map\\_chunnel.jpg](http://www.anglonautes.eu/english%20words/vocabulary_transports_main/voc_trans_train_1/z_map_chunnel.jpg).
27. *Noulton J.* Trends in rail freight. The Channel Tunnel // Japan Railway & Transport Review. 2001. № 26. P. 38–45. URL:  
[http://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr26/pdf/f38\\_nou.pdf](http://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr26/pdf/f38_nou.pdf);  
[http://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr26/f38\\_nou.html](http://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr26/f38_nou.html).
28. *Pompée P.-J.* Channel tunnel project overview // Amicale Des Bâtitseurs. Du Tunnel Sous La Manche. The last accessed date: 14.11.2018. URL: [http://batisseurs-tunnel.com/wp-content/uploads/2015/03/1-Le-Projet-Tunnel-sous-La-Manche\\_C1.pdf](http://batisseurs-tunnel.com/wp-content/uploads/2015/03/1-Le-Projet-Tunnel-sous-La-Manche_C1.pdf).
29. *Rankin B., Williams R.* Channel Tunnel // The Geological Society website. The last accessed date: 28.10.2018. URL:  
<https://www.geolsoc.org.uk/GeositesChannelTunnel>.
30. Seven wonders of the modern world: the Channel Tunnel // Family Holiday. The last accessed date: 21.11.2018. URL: <https://www.familyholiday.net/seven-wonder-of-the-modern-world-channel-tunnel/>.
31. *Sinclair B., Moczygemba C., Moore D., Wendell T.* Channel Tunnel // Sites.google.com. The last accessed date: 28.10.2018. URL:  
<https://sites.google.com/site/channeltunnelcven207/home>;  
<https://sites.google.com/site/channeltunnelcven207/geotechnical-engineering>.
32. The Channel Tunnel engineering project // UKessays. November 2013. URL:  
<https://www.ukessays.com/essays/construction/examining-the-channel-tunnel-engineering-projects-construction-essay.php?vref=1>.
33. The Channel Tunnel // Engineering.com. 17.10.2006. URL:  
<https://www.engineering.com/Library/ArticlesPage/tabid/85/articleType/ArticleView/articleId/79/The-Channel-Tunnel.aspx>.

**Фото на заставке:** <https://ruspekhn.ru/events/item/sostoyalos-torzhestvennoe-otkryietonnelya>.