УДК 624.191.22 DOI: 10.33622/0869-7019.2020.12.34-37

Судоходные тоннели

Лев Вениаминович МАКОВСКИЙ, кандидат технических наук, профессор, e-mail: tunnels@list.ru

Виктор Валерьевич КРАВЧЕНКО, кандидат технических наук, доцент, e-mail: 609vvk@gmail.com

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319 Москва, Ленинградский просп., 64

Аннотация. *Проанализирован мировой опыт проектирования, строительства и эксплуатации судоходных тоннелей. Выполнен краткий исторический обзор их создания. Приведены технические характеристики наиболее крупных тоннелей, построенных во Франции, Англии, Германии и других странах. Рассмотрены основные особенности Балаклавского судоходного тоннеля в Крыму, который был предназначен для хранения и ремонта подводных лодок. Отмечены различные аспекты проектирования судоходных тоннелей в разнообразных топографических и инженерно-геологических условиях. Приведены конструктивные решения и методы строительства тоннелей с применением горнопроходческого оборудования. Уделено внимание разработанному в Норвегии крупномасштабному проекту первого в мире морского судоходного тоннеля для одностороннего пропуска крупнотоннажных морских судов. Отмечена целесообразность строительства судоходных тоннелей в России.*
Ключевые слова: *судоходный тоннель, обделка, конструкции, водные пути.*

SHIPPING TUNNELS

Lev V. MAKOVSKY, e-mail: tunnels@list.ru

Victor V. KRAVCHENKO, e-mail: 609vvk@gmail.com

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 64, Leningradsky prospekt, Moscow 125319, Russian Federation

Abstract. *The data of the world experience in design, construction and operation of navigable tunnels are analyzed. A brief historical overview of the creation of shipping tunnels from the 12th century to the present day is given. The technical characteristics of the largest tunnels built in France, England, Germany and other countries are given. The main features of the Balaklava navigable tunnel in the Crimea, intended for storage and repair of submarines, are considered. Various aspects of the design of navigable tunnels in various topographic and engineering-geological conditions are considered. Constructive solutions and methods for the construction of tunnels using mining equipment are presented. Attention was paid to the large-scale project of the world's first sea shipping tunnel developed in Norway for the one-way passage of large-capacity sea vessels. The expediency of the construction of navigable tunnels in the Russian Federation is indicated.*
Key words: *shipping tunnel, lining, structures, waterways.*

В последние годы наблюдается интенсивное развитие транспортного тоннелестроения, вызванное увеличением объемов пассажирских и грузовых перевозок, развитием и совершенствованием транспортной инфраструктуры крупных городов и мегаполисов. При решении сложных проблем значительное внимание уделяется строительству подводных тоннелей через крупные реки, морские проливы, заливы и другие водные преграды [1]. Таким образом, актуальность темы обусловлена дальнейшим развитие транспортной инфраструктуры, включающей в себя протяженные водные пути, для соединения которых весьма эффективны судоходные тоннели.

Судоходные тоннели относятся к категории транспортных наряду с автодорожными и железнодорожными и предназначены для пропуска судов из одной акватории (реки, каналы, проливы, заливы) в другую [2—4]. В зависимости от места расположения и вида преодолеваемого препятствия судоходные тоннели подразделяют на две группы:

- пересекающие высотные препятствия (горные массивы, холмы, возвышенности), такие тоннели устраивают, как правило, глубокого заложения;
- расположенные в равнинной местности и на городских территориях и перекрывающие водные пути, в большинстве случаев данные объекты проектируют мелкого заложения.

В судоходных тоннелях могут размещаться трубопроводы для пропуска воды, инженерные коммуникации и пр.

Движение судов в тоннеле осуществляется при помощи специальной механической тяги, что исключает необходимость искусственной вентиляции, требуемой при самоходном движении судов [5]. Тоннели сооружают как для попеременного пропуска судов в одном направлении, так и одновременного в обоих направлениях *(рис. 1)*. В ряде случаев строят два параллельных тоннеля для одностороннего движения судов в каждом.

В плане судоходные тоннели располагают, как правило, на прямолинейной трассе, чтобы избежать уширения габарита и упро-

© МАКОВСКИЙ Л. В., КРАВЧЕНКО В. В., 2020

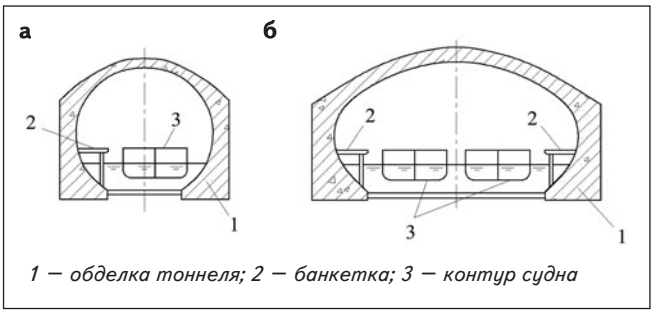

Рис. 1. *Поперечные сечения судоходных тоннелей для одностороннего (а) и встречного (б) движения*

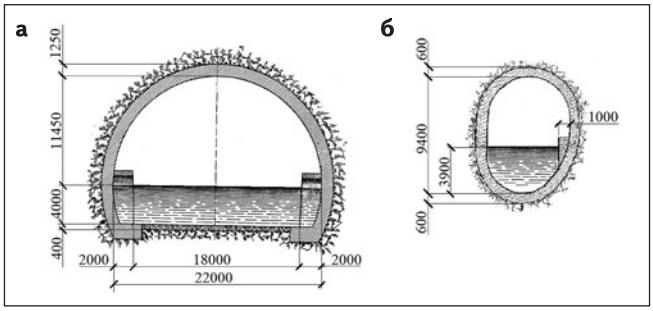

Рис. 2. *Конструкции судоходных тоннелей сводчатого (а) и овального (б) очертания*

стить условия движения судов. Они имеют преимущественно односкатный профиль с минимальным уклоном (не более 1 ‰) с целью предотвращения сильного движения воды, затрудняющего движение судов.

Ширину судоходных тоннелей в свету назначают в соответствии с габаритами судов, оставляя зазоры между бортами судна и стенами тоннеля порядка 0,5—1 м. При двухстороннем движении минимальный просвет между встречными судами принимают не менее 0,5 м.

Высоту тоннеля определяют с учетом габарита судов и глубины воды, принимаемой равной двойной осадке судов в пределах от 1,6 до 4 м.

Для осмотра и ремонта тоннелей устраивают консольные тротуары (банкетки) шириной 1—2 м, закрепляя их на стенах с одной или обеих сторон *(см. рис. 1)*.

Конструктивные формы обделок судоходных тоннелей, заложенных в скальных породах, имеют преимущественно сводчатое очертание. При возведении тоннелей в мягких и слабых породах обделке придают круговое или овальное очертание *(рис. 2)*.

Подавляющее большинство построенных судоходных тоннелей имеют обделки сводчатого очертания в виде пологого свода, опирающегося на прямолинейные или криволинейные стены, плоского лотка или обратного свода. Конструкции выполняют из каменной кладки, монолитного бетона или железобетона [3].

Сооружение судоходных тоннелей в скальных породах осуществляется традиционными горными способами с буровзрывной разработкой породы. Раскрытие сечения тоннеля производят по частям с поэтапным возведением обделки из каменной кладки или монолитного бетона (железобетона).

Строительство судоходных тоннелей началось в XII в. Так, в Турции у г. Селенци был сооружен тоннель пролетом 6,1 м и высотой 7 м, который служил одновременно подземным водным путем и водопроводом [4].

Судоходный тоннель длиной 164 м и сечением 8,2×6,7 м был построен во Франции в 1679—1681 гг. на участке Лангедокского канала, соединяющего реки Рону и Гаронну *(рис. 3)*.

В XVIII и XIX вв. возвели более 100 судоходных тоннелей, из которых 48 эксплуатировались в Англии (общая протяженность 64 км) и 35 — во Франции (общая протяженность около 40 км). Кроме того, такие тоннели построены в Германии, Бельгии, США, Японии и других странах.

Рекордным как по длине (7118 м), так и сечению (24,5×17,1 м) является Ровский судоходный тоннель, сооруженный в 1927 г. на водной магистрали Марсель — Рона *(рис. 4)* [2—4]. Его пролет в свету составляет 22 м, высота 15,4 м, площадь поперечного сечения 300—320 м^2, что позволяет пропускать суда в обоих направлениях при глубине воды 4 м. Толщина свода в замковом сечении изменяется от 0,7 до 1,95 м. В тоннеле имеются ниши шириной 2 м, высотой 2, 5 м и глубиной 1,5 м для укрытия людей и хранения необходимого оборудования.

Рис. 3. *Северный (а) и южный (б) порталы судоходного тоннеля на участке Лангедокского канала (в)*

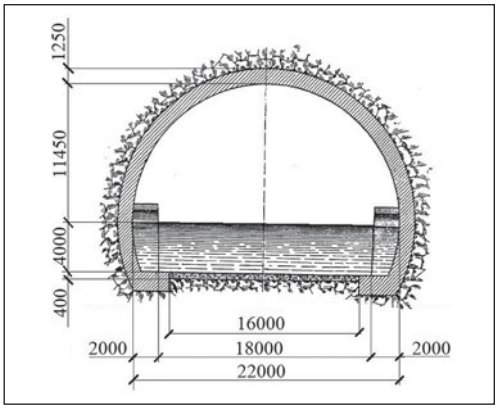

Рис. 4. *Сечение Ровского тоннеля*

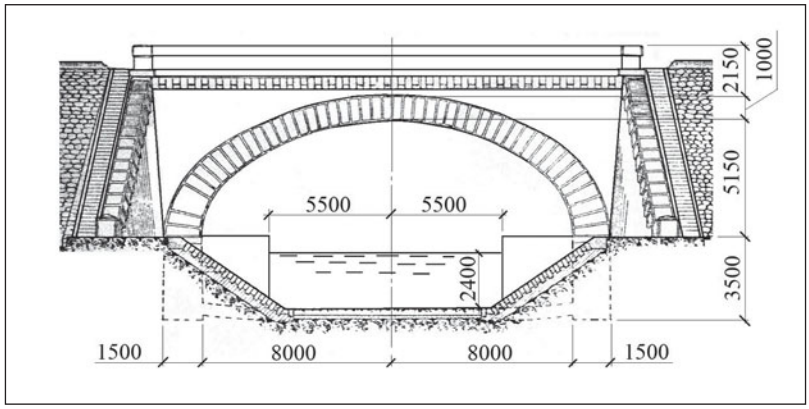

Рис. 5. *Портал Кондского тоннеля*

При строительстве было разработано около 2,3 млн м^3 скальной породы и уложено около 500 тыс. м^3 каменной кладки в сводовой части и 47 тыс. м^3 бетона в толковой части. На разработку породы было израсходовано более 1300 т динамита.

К числу крупнейших судоходных тоннелей Франции для двухстороннего движения следует отнести Кондский *(рис. 5)*, Рошар-Ленуар и Тампль пролетом в свету 16, 19,6 и 27, 6 м соответственно [4].

В Англии наиболее крупные судоходные тоннели построены на канале Темза—Медуэй длиной 1138 м, а также два тоннеля, соединяющие каменноугольные копи с Манчестером, длиной 2632 и 2675 м.

Иногда в тоннелях устраивали убежища для военных судов. Так, например, во Франции сооружен тоннель шириной 45 м и высотой 66 м [3]. Глубина воды в нем составляет 13 м, что позволяет размещать суда с большой осадкой.

Представляет интерес технология сооружения этого тоннеля. Профиль раскрывали способом ступенчатого забоя последовательно на шести горизонталях из заранее пройденных по контуру тоннеля штолен. Разработанную породу удаляли по наклонным фурнелям через транспортные штольни нижележащего горизонта, заложенные в ядре сечения тоннеля. По мере проходки штолен снизу-вверх бетонировали обделку, подавая бетонную смесь насосами.

В дореволюционной России и СССР судоходные тоннели не строили. Многочисленные предложения и проекты, касающиеся тоннельных вариантов Волго-Донского канала, Андреевского канала в Москве и др., так и не были реализованы.

Единственным тоннелем, который условно можно отнести к судоходным, следует считать Балаклавский в Крыму в составе подземной базы для укрытия и ремонта подводных лодок *(рис. 6)* [6].

Тоннель проходит в скрыто расположенной бухте, пересекает 130-метровую гору Таврос и соединяется с узким проливом шириной 200—400 м и глубиной до 17 м, что позволяло подводным лодкам проходить через пролив в укрытие. Пролет тоннеля изменяется от 12 до 22 м, глубина воды в тоннеле не превышает 8 м. Общая площадь подземных сооружений, включая вспомогательные выработки, составляет 9600 м^2.

Строительство комплекса продолжалось с 1953 по 1961 гг. Проходческие работы в крепких скальных грунтах осуществляли горным способом с применением буровзрывных работ. Обделку тоннеля возводили из монолитного бетона. Толщина свода и стен составила от 1,5 до 3 м. Сегодня на территории бывшего секретного объекта работает музей и проводятся экскурсии на катерах.

Дальнейшее развитие водных путей в нашей стране и за рубежом обусловливает необходимость строительства новых судоходных тоннелей как в горных местностях, так и на равнинных территориях, и, в частности, в городах.

В настоящее время в Норвегии разработан масштабный проект Stad Ship Tunnel уникального, первого в мире морского судоходного тоннеля между двумя фиордами *(рис. 7)* [7].

Мощные течения и сильные ветры в регионе существенно затрудняют движение судов, вынужденных простаивать в ожидании благоприятной погоды. Тоннель длиной около 1,7 км, высотой 49 м и пролетом 36 м рассчитан на односторонний пропуск крупнотоннажных морских судов водоизмещением более 16 тыс. т и осадкой до 12 м. Интенсивность движения составит от 70 до 120 судов в сутки.

Трасса тоннеля пересекает горный массив высотой более 300 м в толще крепких скальных пород. Всего потребуется разработать и вывезти около 3 млрд м^3 породы. Стоимость реализации проекта составит около 300 млн дол., предположительный срок строительства — 3—4 года.

Непрерывное развитие транс-

Рис. 6. ***Балаклавский тоннель в Крыму***

Рис. 7. ***Проект морского судоходного тоннеля между двумя фиордами (Норвегия)***

портной инфраструктуры, обусловливающее расширение масштабов тоннельного строительства, требует наряду с крупными железнодорожными, автодорожными, гидротехническими и коммуникационными прокладывать и судоходные тоннели.

В нашей стране такие тоннели могут обеспечить эффективную связь крупнейших водных путей между собой по трассе соединяющих их каналов.

Вывод

Для успешного проектирования и строительства судоходных тоннелей в нашей стране необходимо проведение научных исследований, направленных на обоснование объемно-планировочных и конструктивных решений тоннелей, а также на разработку нормативных документов, регламентирующих основные параметры, в частности габариты судоходных тоннелей в соответствии с характеристиками речных и морских судов, перемещающихся по данному водному пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маковский Л. В., Кравченко В. В.* Подводные транспортные тоннели из опускных секций. М. : Кнорус, 2017. 160 с.
2. *Круглов В. М., Курбацкий Е. Н., Голле В. Р., Томилов А. А.* Переход через пролив Невельского: возможные решения // Мир Транспорта. 2015. Т. 13. № 4. С. 44–53.
3. *Маковский В. Л.* Тоннели. М. : Академия архитектуры СССР, 1947. 763 с.
4. *Волков В. П., Наумов С. Н., Пирожкова А. Н., Храпов В. Г.* Тоннели и метрополитены. М. : Транспорт, 1975. 551 с.
5. *Пикуль В. С.* Судоходные тоннели. М. : Министерство речного флота СССР, 1947. 159 с.
6. URL: https://topwar.ru/1374-podzemnaya-baza-podvodnyx-lodok-v-balaklave-obekt-825.html (дата обращения: 25.10.2020).
7. URL: https://seanews.ru/2020/08/12/ru-pervyj-v-mire-morskoj-tonnel-dlja-sudov (дата обращения: 25.10.2020).

REFERENCES

1. Makovskiy L. V., Kravchenko V. V. *Podvodnye transportnye tonneli iz opu-sknykh sektsiy* [Underwater transport tunnels of the movable sections]. Moscow, Knorus Publ., 2017. 160 p. (In Russian).
2. Kruglov V.M., Kurbatskiy E. N., Golle V. R., Tomilov A. A. The Nevelskoy Strait crossing: a possible solution. *Mir transporta*, 2015, vol. 13, no. 4, pp. 44–53. (In Russian).
3. Makovskiy V. L. *Tonneli* [Tunnels]. Moscow, Akademiya arkhitektury SSSR Publ., 1947. 763 p. (In Russian).
4. Volkov V. P., Naumov S. N., Pirozhkova A. N., Khrapov V. G. *Tonneli i metropoliteny* [Tunnels and subways]. Moscow, Transport Publ., 1975. 551 p. (In Russian).
5. Pikul V. S. *Sudokhodnye tonneli* [Navigable tunnels]. Moscow, Ministerstvo rechnogo flota SSSR Publ., 1947. 159 p. (In Russian).
6. Available at: https://topwar.ru/1374-podzemnaya-baza-podvodnyx-lodok-v-balaklave-obekt-825.html (accessed 25.10.2020). (In Russian).
7. Available at: https://seanews.ru/2020/08/12/ru-pervyj-v-mire-morskoj-tonnel-dlja-sudov/ (accessed 25.10.2020). (In Russian).

Для цитирования: *Маковский Л. В., Кравченко В. В.* Судоходные тоннели // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 12. С. 34–37. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.12.34-37.

For citation: Makovsky L. V., Kravchenko V. V. Shipping Tunnels. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 12, pp. 34–37. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.12.34-37.