

6. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.  
 7. ДБН 360-92\*\*. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. – К.: Держбуд України, 2002. – 126 с.

Рукопис подано до редакції 10.03.13

УДК 622.272:624.191.5

А.Н. РОЕНКО, д-р техн. наук, проф., В.В. КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
 ГВУЗ «Национальный горный университет»

С.А. ХАРИН, д-р техн. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ В ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ

Приведен анализ строительства железнодорожных тоннелей в Западной Европе. Выполнено сравнение сооружения Готардского базисного и тоннеля под проливом Ла-Манш. Рассмотрены особенности выбора ряда параметров транспортных тоннелей, применения проходческого оборудования. Сопоставлен буровой и буровзрывной способ проходки.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Развитие транспорта является важнейшим условием эффективного функционирования мирового хозяйства. Активное совершенствование транспортной инфраструктуры, имеющее место сегодня, должно подкрепляться, в частности, интенсивными усилиями в направлении его научно-технического обеспечения.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ ранее опубликованных результатов исследований и современного состояния практики проектирования и строительства протяженных железнодорожных тоннелей в различных условиях указывает на необходимость более детального учета особенностей сооружения новых подземных объектов уникальной протяженности в условиях горной местности.

**Постановка задачи.** Исследовать особенности применения тоннелепроходческих комплексов и проходки наиболее длинных базисных железнодорожных тоннелей с помощью буровзрывной технологии под влиянием изменения горно-геологических условий.

**Изложение материала и результаты.** Интенсивное развитие транспортного сообщения требует дальнейшего развития его инфраструктуры. Особенно это касается Западной Европы, где имеет место сочетание активного перемещения людей и грузов и сложного рельефа, представленного прежде всего Альпами. Эти горы охватывают территории восьми экономически развитых государств: Франции, Италии, Швейцарии, Германии, Австрии, Монако, Лихтенштейна, Словении. Массив имеет значительную площадь: общая длина альпийской дуги составляет примерно 1200, а ширина до 260 км.

В данном контексте представляет значительный интерес изучение состояния и особенностей развития европейского тоннелестроения.

Самыми старыми тоннелями в мире являются железнодорожные. Первый из них был сооружен в Англии в 1830 г. на линии Ливерпуль-Манчестер. Уже в XIX веке они получили большое распространение, и к 1915 г., в Швейцарии, к примеру, насчитывалось 627 тоннелей общей протяженностью 281 км [1].

Наиболее крупные железнодорожные тоннели Западной Европы и, для сравнения, тоннель Сейкан и ряд других тоннелей Японии имеют следующие характеристики (табл. 1, [2-4]). Подавляющее большинство из них являются двухпутными и обладают высокой пропускной способностью. Обращает на себя внимание география тоннелей: наибольшее число из них находится в Альпах.

Таблица 1

Крупнейшие зарубежные железнодорожные тоннели

Название	Длина, м	Количество путей	Страна	Год ввода в эксплуатацию
Готардский базисный тоннель	57 091	2	Швейцария	2017 (прогноз)
Сейкан	53850	2	Япония	1988
Ла-Манш	52500	2	Великобритания, Франция	1994
Дайсимидзу	22228	2	Япония	1979
Симллонский II	19825	1	Швейцария, Италия	1922

Симплонский I	19803	1	Швейцария, Италия	1906
Син-Каммон	18713	2	Япония	1975
Апеннинский	18519	2	Италия	1934
Рокко	16250	2	Япония	1972
Фурка	15400	1	Швейцария	1979
Сен-Готард	15003	2	Швейцария	1882
Козенцкий	15000	2	Италия	-
Накаяма	14830	2	Япония	1975
Лечбергский	14612	2	Швейцария	1913
Харуна	14350	2	Япония	1975

Уникальным в истории подземного строительства является сооружение тоннеля под проливом Ла-Манш, соединившего Францию и Англию. Из 52,5 км тоннеля более 36 км находятся под морским дном [1]. Это обусловило значительные трудности при ведении проходческих работ, необходимость применения сложного оборудования. В ходе строительства, осуществлявшегося с двух встречных направлений с использованием проходческих щитов, возникали многочисленные остановки работ, вызванные внезапными прорывами воды, что требовало дорогостоящих специальных способов строительства и значительно снижало его темпы. В итоге стоимость объекта многократно превысила первоначальные расчеты.

Самым представительным в Западной Европе сегодня является Готардский базисный тоннель - железнодорожный тоннель в Швейцарии длиной 57 км (включая служебные и пешеходные ходы - 151,8 км). Северный портал тоннеля находится возле деревни Эрстфед, а южный - деревни Бодио.

После завершения проходки восточной части (октябрь 2010 г.) и западной (март 2011 г.), он стал самым протяженным в мире. Строительство ведется компанией «AlpTransit Gotthard AG» [4].

Таблица 2

Готардский базисный тоннель [3,4]	
Параметр	Значение
Длина:	
западный тоннель, м	56978
восточный тоннель, м	57091
Полная длина, включая служебные и пешеходные ходы, км	153,4
Диаметр тоннелей, м	9
Объем извлекаемых скальных пород, млн т (млн м <sup>3</sup> )	24 (13,3)
Количество ТПК фирмы «Heimgenkecht», шт	4
Полная длина ТПК, м	440
Вес ТПК, т	2700
Мощность электродвигателей ТПК, МВт	5т
Максимальная техническая скорость проходки, м/сут	25-30 м/сут
Начало строительства тоннеля, год	1993
Срок завершения работ, год	2017 (проект)
Пропускная способность, составов в сутки, шт	200-250

Решение о строительстве туннеля было вызвано стремлением уменьшить экологический ущерб от движения автомобилей через Альпы, поскольку через Швейцарию проходит один из основных маршрутов транзита грузов, связывающих Северную и Южную Европу. Для этой цели ранее, в 2007 г., был открыт еще один тоннель, Лётшберг, протяженностью в 34 км.

При проектировании рассматривалось следующее: вариант двухпутного тоннеля с тоннелем обслуживания или вариант с двумя однопутными тоннелями (с тоннелем обслуживания или без такового). Окончательно было принято строить объект с двумя однопутными тоннелями без тоннеля обслуживания, но с соединяющими переходами примерно через каждые 330 метров. Кроме того, предусматривалось строительство двух вертикальных вентиляционных стволов в районе Седрун, примерно в 23 км от северного портала тоннеля.

Готардский базисный тоннель позволит осуществлять железнодорожное сообщение через горный массив и переведет грузовые перевозки север-запад с автомобильных на железнодорожные. Время пути из Цюриха в Милан сократится с 3 ч 40 мин до 2 ч 50 мин. Открытие движения по тоннелю планируется на 2017 г. До этого самым длинным железнодорожным туннелем в мире был Сэйкан, соединяющий японские острова Хонсю и Хоккайдо (длина – 53,9 км). Только непосредственно проходка туннеля Готард уже обошлась (по состоянию на октябрь 2010 г.) в 9,8 млрд швейцарских франков (10,3 млрд долл.). Через него сможет проходить до

300 железнодорожных составов в день, на скорости в 250 км/ч. В строительстве принимало участие 2500 чел [3,4].

Готард является базисным тоннелем, порталы которого находятся у самого подножия хребта. Благодаря такому их расположению поезд попадает в тоннель непосредственно с равнинного участка, что позволяет резко увеличить скорость и массу составов. К порталам ранее существующего Готардского железнодорожного тоннеля, протяженностью 15 км (построен в 1882 г.), поезд подходит по горным участкам с высокой крутизной и обилием петель.

С помощью тоннелепроходческих комплексов (ТПК) немецкой фирмы «Herrenknecht» пройдено порядка 36 км длины каждого из двух тоннелей (рис. 1), из них 19 км от северного портала и 17 км - от южного. Средняя часть каждого тоннеля - свыше 21 км - пройдена с применением буровзрывных работ [3,4].



**Рис. 1.** Тоннелепроходческий комплекс фирмы «Herrenknecht» [3]

Крепление тоннеля осуществляется комбинированной крепью, состоящей из железобетонных анкеров, металлической сетки и рам, покрытых торкретбетоном (рис. 2) и обеспечивает надежную его работу в существующих горно-геологических условиях.

Наиболее крупные железнодорожные тоннели превышают пятьдесят километров. Их строительство, как и строительство тоннелей большой длины под морским дном, стало возможным только с использованием технологий конца XX века.

Анализ строительства транспортных тоннелей показывает следующее:

- новые железнодорожные тоннели, как правило, строят двухпутными;

- крепление тоннелей наиболее часто производится комбинированной крепью, которая включает, в частности, анкеры, металлическую сетку, рамы, покрытие из торкретбетона, при этом процесс крепления в значительной мере механизирован;

**Рис. 2.** Крепление тоннеля [3]

в последнее время получили распространение базисные тоннели, порталы которых находятся у самого подножия горного хребта, благодаря такому их расположению поезд попадает в тоннель непосредственно с равнинного участка, что позволяет резко увеличить скорость и массу составов;

способ строительства тоннелей зависит от горно-геологических условий: в крепких и средней крепости породах тоннели проводят буровзрывным способом или комбайнами, в мягких породах - при помощи щитов;

имеют место в целом сравнительно высокие темпы сооружения столь сложных и дорогостоящих объектов;

строительство тоннелей производится одним или несколькими забоями. Одним забоем тоннель проводят с одного портала, если длина тоннеля незначительна или по топографическим условиям поверхности доступ ко второму portalу затруднен. При этом сроки строительства тоннелей возрастают, но снижаются затраты на строительство поверхностных сооружений.

Проведение тоннеля двумя забоями - с двух порталов - применяется наиболее часто и позволяет сократить сроки и стоимость строительства. Строительство тоннелей большой длины производится несколькими забоями - с двух порталов и со строительных подходов, в качестве которых могут быть вертикальные стволы, горизонтальные или наклонные тоннели. Число строительных подходов зависит от длины тоннеля. Каждый строительный подход позволяет открыть два дополнительных забоя. Сооружение тоннелей комбайнами по сравнению с буровзрывным способом имеет ряд преимуществ. Так, значительно возрастают скорости проходки, что приводит к сокращению сроков и стоимости строительства. Применение комбайнов обеспечивает высокую механизацию работ и значительное сокращение их трудоемкости, уменьшает нарушенность окружающих выработку пород, что, в свою очередь, позволяет снизить стои-

мость крепи [5].

Комбайны обеспечивают достаточно ровный контур выработки, с минимальными переборами породы, что приводит к сокращению объемов погрузки и транспортирования породы и расхода бетона сравнению с буровзрывным способом. Особенно эффективно применение комбайнов при проходке протяженных тоннелей длиной более 1-2 км.

Наибольшее распространение получили комбайны бурового действия с роторным исполнительным органом. Тоннелепроходческие комплексы имеют большую массу (свыше 2500 т), но они состоят из отдельных транспортабельных легкомонтируемых узлов, что облегчает их доставку к месту сборки. В Западной Европе и мире для строительства тоннелей, применяют комбайны различных фирм: «Херренкнехт», «Вирт», «Демаг» (ФРГ), «Роббинс», «Дрессер» (США), «Атлас Копко» (Швеция) и др.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, тоннелестроение в Европе характеризуется возможностью сооружения уникальных по сложности сооружений, развитостью технологий ведения работ, наличием разнообразного совершенного оборудования и широкой географией объектов. Темпы сооружения столь сложных и дорогостоящих объектов весьма высоки. Тенденции развития транспортной инфраструктуры позволяют предполагать, что в перспективе процесс сооружения железнодорожных тоннелей, в том числе, имеющих весьма большую протяженность, будет нарастать. Дальнейшие исследования целесообразно распространить на установление оптимальных организационных параметров сооружения протяженных тоннелей

#### Список литературы

1. Покровский Н.М. Проектирование комплексов выработок подземных сооружений. - М.: Недра, 1970. - 320с.
2. Зарубежное военное обозрение. - 2002. - № 9. - С.51 - 52.
3. <http://www.herrenknecht.com/>
4. <http://www.alptransit.ch/en/home.html>
5. Смирняков В.В., Вихарев В.И., Очкуров В.И. Технология строительства горных предприятий. - М.: Недра, 1989. - 573 с.

Рукопись поступила во редакцию 10.03.13

УДК 622. 1: 528

В.М. ШЕВЧЕНКО, В.В. БЕЛОУСЕНКО, Л.П. ЧЕРКАСОВА, Т.И. БУРЛАЧЕНКО,  
Н.Н. ЯКУШ, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДА КРИВОГО РОГА

Рассмотрен вопрос строительства инженерных сетей в условиях плотной застройки Кривого Рога методом горизонтального направленного бурения.

**Ключевые слова:** подземные сети, канализация, прокладка, установка, горизонтальное бурение

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В Кривом Роге вследствие продолжительной эксплуатации и химической коррозии, возникшей от агрессивных газов и веществ, растворенных в сточной жидкости, сети самотечной канализации приходят в негодность. Их замена усложняется из-за глубины заложения (до 6-9 м), плотной застроенности улиц города, и большим количеством существующих сетей. До настоящего времени строительство трубопроводов самотечной канализации выполнялось открытым способом. Так, например, по ул. Кузнецова был запроектирован ГП ГПИ «Кривбасспроект» и построен ООО «Теплодстрой» самотечный коллектор Ø800 мм. В связи с большой глубиной заложения трубопровода разлет котлована достигал 16м, что повлекло выносы газопровода, водопровода, кабелей связи и высоковольтных линий, а затем восстановление покрытия проезжей части и тротуаров.

**Анализ исследований и публикаций.** Национальным объединением строителей Российской Федерации был разработан и введен в действие Стандарт Национального объединения строителей «Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения» [4]. В нем подробно описывается метод горизонтального направленного