



Власов Сергей Николаевич — заслуженный строитель России, лауреат Государственных премий, академик академии транспорта и АГН, доктор транспорта РАТ, кандидат технических наук, первый зам. председателя правления «Тоннельной ассоциации России» (выпускник НИВИТа 1950 г.) .

УДК 624.191

С.Н. ВЛАСОВ

ТОННЕЛЕСТРОЕНИЕ В НАЧАЛЕ ВЕКА — НАКОПЛЕННЫЙ ОПЫТ И ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Рассматриваются особенности современного тоннелестроения и возведения подземных сооружений.

Несмотря на высокую стоимость, сложность и трудоемкость подземного строительства, общей для всех развитых стран мира является тенденция к увеличению объемов строительства тоннелей и подземных сооружений. Особенно она проявилась с конца прошлого столетия, и вызвано это двумя обстоятельствами.

Во-первых, бурным развитием межрегиональных и межгосударственных транспортных связей и большим строительством скоростных железнодорожных и автомобильных магистралей, обеспечивающих движение со скоростями 250–350 км/ч, а также прокладка магистральных нефтепроводов и газопроводов.

В районах с горным рельефом местности преодоление горных хребтов такими магистралями вызывает необходимость увеличения доли тоннельных пересечений и строительства протяженных базисных тоннелей длиной 8–10 км и более.

Вторым обстоятельством является бурный рост городов, являющихся административно-культурными и промышленными центрами стран и регионов. Рост населения, дефицит городских территорий, скопления транспортных средств на улицах, вызывающие загрязнения окружающей среды, требуют активного использования подземного пространства для размещения предприятий городской инфраструктуры, метрополитенов, транспортных и инженерных систем, объектов торговли и бытового обслуживания, складов, гаражей и автостоянок, зрелищных предприятий и других объектов.

Все вышесказанное подтверждается состоянием дел в строительстве тоннелей и подземных сооружений в России в начале XXI в.

Продолжается строительство метрополитенов. В настоящее время метрополитены эксплуатируются и строятся в семи городах России: в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Екатеринбурге, Самаре и Казани. Проектируются и строятся в Омске, Челябинске, Уфе и Красноярске. Общая сеть построенных линий метрополитенов в России составляет более 400 км. Крупнейший метрополитен Москвы — 280 км. В 2005 г. здесь построена первая линия «миниметро» со станцией «Деловой центр» (рис. 1).

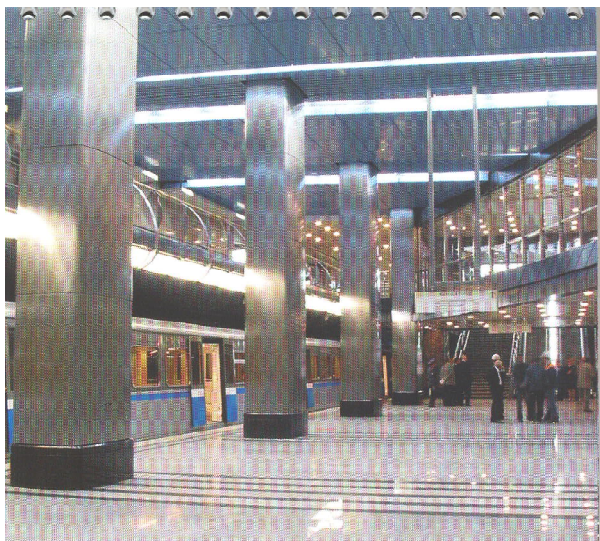


Рис. 1

Уже в последние годы введены в действие новые участки линий метро в Санкт-Петербурге, Новосибирске, Екатеринбурге. В 2005 г. введен в эксплуатацию 7-й метрополитен России — в г. Казани, протяженностью 6,8 км.

В Санкт-Петербурге в 1996 г. впервые в России построена подземная двухъярусная станция «Спортивная» и завершается строительство большого пересадочного узла под Сенной площадью. С применением новых конструкций и технологий в сложных гидрогеологических условиях реконструирован участок меж-

ду станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» (рис. 2).

На Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, строительство которой осуществлял Минтрансстрой в сложных климатических, топографических и инженерно-геологических условиях, в декабре 2001 г. завершено сооружение Северо-Муйского тоннеля длиной 15,3 км — самого длинного тоннеля на сети железных дорог России.

Широко развернулась достройка тоннелей, начатых строительством в 80-е гг. прошлого столетия. В Сибири на вторых путях железнодорожной линии Абакан—Междуреченск в 2001 г. сдан в эксплуатацию Нанчхульский железнодорожный тоннель длиной 2,4 км, а на Дальнем Востоке — Кипарисовский тоннель длиной 1,6 км. В 2004 г. завершилось строительство двухпутного Тармачуканского железнодорожного тоннеля длиной более 2,0 км.

В сложных условиях при движении поездов ведутся работы по ремонту и переустройству тоннелей, построенных в начале XX в. Цель этих работ — расширение габарита приближения строений и замена обделки, представляющей опасность в процессе эксплуатации. Такие работы выполнены на Рачинском тоннеле Дальневосточной железной дороги и на трех петлевых тоннелях Северо-



Рис. 2

Кавказской железной дороги общей длиной почти 2,0 км на участке Армавир—Туапсе (рис. 3). По объектам ОАО «РЖД» активно ведут работы организации Бамтоннельстроя.

Большое строительство тоннелей осуществляется в настоящее время в районе Сочи, где строятся обходная магистраль вокруг города и скоростная дорога на «Красную поляну», место Олимпиады 2014 г.

С применением новых конструкций обделки построены Мацестинский и Краснополянский (рис. 4) автодорожные тоннели длиной более 2,0 км каждый, реконструирован тоннель через мыс Видный у г. Хоста. Впервые здесь нашли применение новые системы гидроизоляции обделки и отвода воды с применением геотекстиля и пленочных материалов. Это позволило повысить качество конструкций обделки и ликвидировать течи.

Транспортная инфраструктура Москвы обогатилась рядом больших автодорожных тоннелей, проложенных в местах пересечения наиболее крупных магистралей и предназначенных для распределения транспортных потоков в разных уровнях. Это повысило скорости, увеличило пропускную способность перекрестков, обеспечило безопасность движения.

К числу таких объектов, построенных корпорацией «Трансстрой» в последние годы на 3-м транспортном кольце Москвы, относятся:

— Кутузовская транспортная развязка в районе Кутузовского проспекта и Киевской улицы. Она представляет собой оригинальную инженерную систему, состоящую из 6 тоннелей общей длиной 3045 м. В этот комплекс входят большая развязка под пл. Гагарина — автодорожный 8-полосный тоннель длиной 800 м с выездами на магистрали города (рис. 5), а также железнодорожный тоннель длиной 920 м с пересадочным узлом на станцию метро «Ленинский проспект» и двухъярусные подземные автостоянки на 640 автомобилей;

— тоннели в районе Лефортово, предназначенные для пропуска в каждом направлении до 4000 автомобилей в час при расчетной скорости движения транспорта в тоннеле — 60 км/ч. Общая протяженность тоннелей в этом месте составляет почти 7,0 км. Среди них Лефортовский тоннель глубокого заложения круглого очертания диаметром почти 14,0 м и длиной 3244 м и тоннели мелкого заложения по трассе тоннельного эстакадного обхода общей протяженностью 2290 м. Это крупнейшие подземные автодорожные магистрали на 3-м кольце, оптимально решающие транспортные, экологические и архитектурно-исторические проблемы.



Рис. 3

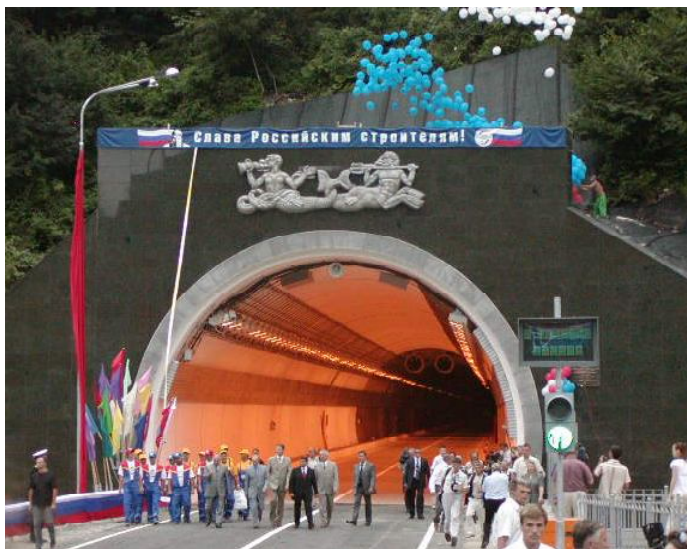


Рис. 4



Рис. 5

Одновременно со строительством тоннелей на 3-м транспортном кольце ведется строительство таких сооружений на хордовых магистралях. Так, на Волоколамском шоссе под каналом им. Москвы построен автодорожный тоннель протяженностью 409 м на пять полос движения автотранспорта, в том числе одна полоса для троллейбуса, 160 м этого тоннеля располагаются непосредственно под каналом.

Разрабатываются проекты и осуществляется строительство систем для быстрого железнодорожного сообщения центра города с аэропортами. Ранее такая дорога была построена от Курского вокзала в аэропорт Домодедово, в 2005 г. введен в эксплуатацию участок железной дороги с тоннелем и станционным комплексом «Аэропорт Внуково».

Большое строительство тоннелей осуществляется под природно-охранном комплексом «Серебряноборское лесничество». Оно соединит центр Москвы с шоссе Москва — Рига (Балтия). Будет построено 3 тоннеля: два транспортных диаметром (в свету) 12,35 м и тоннель обслуживания (сервисный) диаметром 6 м между транспортными тоннелями (рис. 6). Особенностью транспортных тоннелей является то, что в них предусмотрено двухъярусное движение транспорта — трехполосное одностороннее движение автотранспорта в каждом направлении по верхнему ярусу и поездов метрополитена в нижнем ярусе. Эти работы выполняет большой концерн организаций во главе с ОАО «Мосметрострой».

Наряду со строительством транспортных подземных систем большие объемы строительных работ осуществляются в некоторых городах России по сооружению тоннелей различного коммунального назначения — канализационные коллекторы, тоннели для прокладки инженерных коммуникаций, гидротехнические тоннели.

В 2000 г. закончено сооружение первого из двух деривационных тоннелей протяженностью 5,2 км на строительстве Ирганайской ГЭС в Дагестане. Ведутся работы по строительству подводящего тоннеля длиной 14 км на Заремагской ГЭС в Северной Осетии. В Башкирии построен Юмагузинский гидроузел с подходным тоннелем, а на Саяно-Шушенской гидроэлектростанции

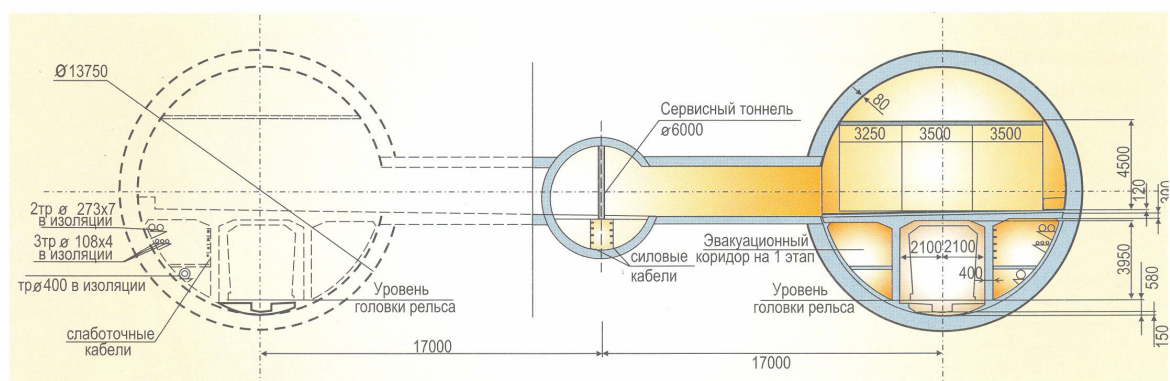


Рис. 6

завершаются работы по сооружению двух деривационных гидротехнических тоннелей.

В Санкт-Петербурге впервые в России для прокладки нефтепровода сооружен уникальный подводный тоннель под р. Невой длиной 770 м и наружным диаметром 2,6 м с применением микротоннелепроходческого комплекса с промежуточными домкратными станциями и специальными железобетонными трубами.

В Краснодарском крае Омское предприятие «Мостовик» с применением микротоннелепроходческого комплекса фирмы «Ловат» построило тоннель наружным диаметром 2,4 м, длиной 2,2 км для прокладки газопровода «Голубой поток».

В Москве организации Мосинжстроя завершили строительство ряда коммунальных коллекторов и подземных тоннельных переходов под улицами. Закончена проходка большого коммунального коллектора с монолитно-прессованной обделкой под улицей Большая Дмитровка, ведется строительство ряда больших коллекторов теплофикации, кабелей и газопроводов.

В 90-е гг. построен крупнейший в Европе (г. Москва) рекреационный комплекс «Охотный ряд», возведение которого положило начало новому направлению в подземном строительстве крупных городов. Это сооружение больших подземных комплексов для размещения городской инфраструктуры под городскими площадями и высотными зданиями (рис. 7).

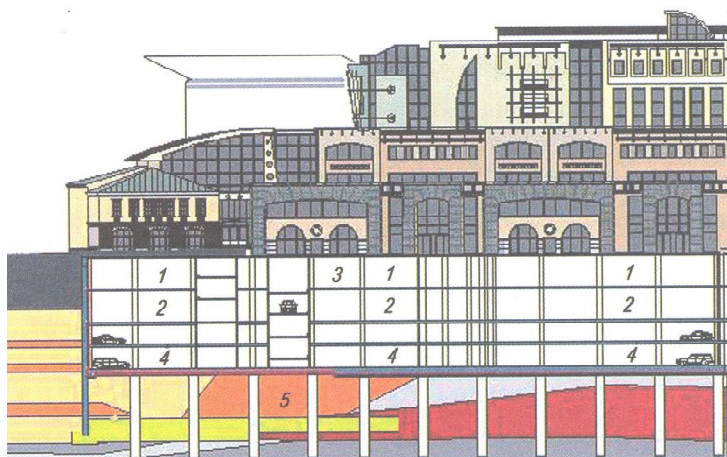


Рис. 7

В настоящее время в Москве закончено проектирование и начинается строительство транспортной развязки на площади у Тверской Заставы с многоярусным гаражом и торговым комплексом. Общая площадь застройки составляет более 35000 м². Аналогичное строительство намечается под площадью у Павелецкого вокзала. Практически под каждым высотным зданием возводятся подземные гаражи и помещения для технологи-

ческих устройств, обслуживающих здания. Они представляют собой большие подземные сооружения на глубине 10–18 м площадью 150–200 м². При их строительстве применяют специальные современные технологии.

Возведение вышеназванных сооружений осуществлялось, в основном, с использованием достигнутого ранее передового производственного опыта и научно-технического потенциала прежних лет. Они накоплены при строительстве метрополитенов, тоннелей Байкало-Амурской магистрали, гидротехническом строительстве, прокладке коммунальных тоннелей для канализации, водоснабжения и размещения инженерных коммуникаций. Достаточно сказать, что с 1954 г. и до 1991 г. было построено более 500 км линий метрополитенов в 13 городах бывшего СССР и оказывалась техническая помощь в строительстве метрополитенов в Чехословакии, Болгарии, Польше, Индии. В последнее время каждый год по стране возводилось 18–20 км новых подземных линий. Байкало-Амурская магистраль стала школой строительства горных транспортных тоннелей. В исключительно сложных гидрогеологических, климатических и сейсмических условиях построено 11 железнодорожных тоннелей разной протяженности, общей длиной проложенных выработок почти 70 км.

Большой опыт накоплен в гидротехническом строительстве. В результате отечественных разработок построены 4 подземные гидроэлектростанции и 400 км гидротехнических и деривационных тоннелей.

В то же время новые экономические условия, наряду с использованием ранее достигнутого уровня строительства, предполагают применение прогрессивных технологий и конструкций, обеспечивающих более высокое качество возводимого объекта, его надежную и безопасную эксплуатацию, соблюдение требований промышленной безопасности и сохранности окружающей среды.

Общей тенденцией в современном тоннелестроении является усложнение работ по проходке выработок и возведению обделок. С увеличением протяженности горных тоннелей приходится преодолевать участки разломов с различными геологическими и гидрогеологическими условиями, часто встречающимися минерализованными подземными водами и грунтами и большими водопритоками. В городах строительство тоннелей и подземных сооружений осложнено обводненностью территорий, большим количеством инженерных коммуникаций, близостью возведенных ранее зданий и сооружений, требующих усиления при производстве тоннельных работ.

При строительстве больших, объемных сооружений (подземных камер, залов, комплексов, гаражей), размерами по высоте до 15–20 м и ширине более 50–80 м также приходится пересекать различные по своим характеристикам и обводненности грунты, требующие корректировки конструкторских решений и технологии работ.

В этих условиях на первое место выходят следующие важные положения, соблюдение которых должно стать неременным условием при строительстве тоннелей и других подземных сооружений:

- качественная оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства до начала работ и их уточнение в процессе проходки с целью получения информации, которую не могут дать традиционные методы. Это позволяет выявить участки, по своим природным условиям крайне неблагоприятные для строительства, и вывести тоннели за их пределы;

- проведение постоянного геомониторинга при проходке тоннеля для уточнения геологических условий впереди забоя и корректировки в случае необходимости технологии проходческих работ на основе опережающего бурения и бесскважинного контроля путем применения различных геофизических методов;
- осуществление в процессе горнопроходческих и строительных работ постоянного геодезическо-маркшейдерского мониторинга для обеспечения проектного внутреннего очертания тоннельной обделки, расположения тоннеля в плане и профиле и наблюдения за состоянием поверхности находящихся вблизи выполняемых работ наземных зданий и сооружений.

Проводимые в настоящее время конкурсы для возможности получения контракта на строительство объекта требуют от их участников представления таких предложений, которые по сравнению с конкурирующими организациями позволят возводить сооружения более быстрыми темпами с качеством выполняемых работ нового уровня. При этом одновременно как приоритетные рассматриваются экономические показатели предлагаемого проекта.

В настоящее время в технике, а также в строительстве широко используется термин «высокие технологии». Это следует понимать как совокупность новых знаний о приемах, способах и производственных процессах, обеспечивающих прорыв в технологии подземных работ и более полное использование свойств массива горных пород с целью повышения его устойчивости, устойчивости тоннелей и предотвращения просадок поверхности земли.

Высокими технологиями называют, прежде всего, технологии, основанные на принципах, резко отличающихся от ранее известных и приводящие к новым результатам, исключая вредные явления и увеличивающие эффект от их применения. Новые технологии экономичны и обеспечивают производительность труда, темпы строительства и высокие показатели построенных тоннелей. Их применение требует переквалификации людей и применения оборудования нового технического уровня для новых способов и приемов работ при строительстве тоннелей.

Новые технологии направлены на то, чтобы:

- осуществлять строительство с использованием высокопроизводительных машин и оборудования без применения ручного труда в автоматическом или полуавтоматическом режиме управления производственными операциями;
- применять конструкции и материалы, обладающие принципиально новыми техническими характеристиками и отвечающие мировым стандартам;
- исключить или свести к минимуму отрицательное воздействие на окружающую среду;
- управлять строительством с применением компьютерных программ и приборов контроля за всем процессом строительства.

В последнее время в тоннельном строительстве появился целый ряд таких новых технологий, позволяющих осуществлять возведение подземных сооружений быстрыми темпами и высокого качества.

1. Это, прежде всего, проходка тоннелей механизированными тоннелепроходческими комплексами с активным пригрузом забоя в виде бентонитовой суспензии или сжатого воздуха (кессонированные щиты).

Данная технология позволяет вести проходку тоннелей с полной механизацией процессов разработки грунта, его транспортировки и возведением конструк-

ций с минимальным участием людей, оставляя за ними компьютерное управление отдельными операциями.

Неотъемлемой частью проходки тоннелей по этой технологии в водоносных неустойчивых грунтах является применение новых сборных водонепроницаемых железобетонных обделок из высокоточных блоков, изготавливаемых на заводе в металлических формах, точность отклонений которых от проектных размеров сопоставима с чугунными или стальными элементами — в пределах 0,2–0,5 мм.

Особенностями конструкций подобных обделок являются блоки с упругими эластомерными уплотнительными прокладками в кольцевых и продольных стыках, выполненными из долговечной упругой резины специального профиля. Это практически исключает трудоемкую и небезопасную работу по зачеканке стыков обделки.

2. Модернизация метода НАТМ, предусматривающего устройство податливого свода породного массива, работающего как временная крепь, позволила при проходке тоннелей горным способом в скальных породах использовать буровые установки с компьютерным управлением по заданной программе, комплексно обуривающие забой. Стала более широко применяться трехслойная обделка тоннелей из монолитного бетона с геотекстильными слоями для отвода воды. Свод породного массива, работающий как временная крепь, позволяет раскрывать сечение тоннеля на полный профиль с установкой временной крепи, не загромождающей сечение, с последующим возведением постоянной обделки на широком фронте. Возведение обделок осуществляется опалубочными комплексами с механизированной укладкой бетона и изоляцией новых типов.

3. Бестраншейная прокладка трубопроводов с применением микротоннелепроходческих комплексов — новая эффективная технология при строительстве трубопроводов, коллекторов и других коммуникационных инженерных сооружений в городах под улицами, при пересечении водных преград, автомобильных и железных дорог. Ее применение позволяет осуществлять без вскрытия поверхности проведение выработки и прокладку в ней трубопроводов различного назначения наружными диаметрами от 340 до 2040 мм участками между шахтами (колодцами) до 100–120 м.

Важнейшим элементом этой технологии является применение железобетонных труб с новым типом стыков, имеющих кольцевые манжеты, снабженные каучуковым эластомером, обжимаемым в процессе продавливания трубы микропитом. Это обеспечивает высокую герметичность стыков и соответственно повышает качество и долговечность трубопровода в целом по сравнению с укладкой труб в траншее, исключает аварии при его эксплуатации.

4. Применение защитных экранов, как средства для преодоления различных препятствий и участков со сложными гидрогеологическими условиями при строительстве тоннелей, основано на принципе опережающего крепления, когда до начала проходки по контуру будущего тоннеля создают крепь-экран, под прикрытием которой осуществляется раскрытие тоннельной выработки, ведется разработка грунта и возводится обделка тоннеля.

5. При открытом способе тоннельных работ используются технологии, исключаяющие подвижки и деформации расположенных вблизи производства работ зданий, коммуникаций и построенных ранее подземных сооружений. Это применение полужакрытого способа производства работ, когда на предварительно возведенных методом «стена в грунте» стенах устраивается перекрытие, под

которым ведутся все последующие работы по строительству тоннеля или подземного сооружения (гаража, комплекса и т.п.); применение взамен свайного или балочного крепления стен котлована передвижной крепи, перемещающейся путем отталкивания от собранной ранее обделки или стен выработки, и ряд других специальных способов.

Резко увеличившееся количество автомобилей и других средств транспорта на дорогах и, соответственно, в тоннелях, повышенные скорости и увеличивающаяся частота движения подвижного состава на железных дорогах и в метрополитенах потребовали разработки и создания устройств и систем, обеспечивающих высокий уровень безопасности в процессе эксплуатации объектов и быструю эвакуацию людей в случае чрезвычайных обстоятельств. Решение этих вопросов наряду с применением новых технологий для строительства выходит на первый план.

К числу таких инженерных устройств относятся: тоннели обслуживания, сооружаемые параллельно основному тоннелю, работающие с поддувом воздуха, стволы с подходными выработками для вентиляции и эвакуации людей из тоннеля, нижние помещения автодорожных тоннелей и подземных центров.

Важнейшими системами жизнеобеспечения эксплуатируемого тоннеля являются: дублированное электроснабжение, вентиляция для проветривания, поддува и дымоудаления, системы сигнализации, связи и телевидения для управления и контроля движения транспорта и обстановки в тоннеле.

Управление этими системами должно осуществляться с централизованных диспетчерских пультов и постоянно контролироваться.

Все эксплуатационные устройства и системы должны быть разработаны в проекте и утверждены до начала строительства объекта с таким расчетом, чтобы сразу по окончании строительства обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию сооружения, построенного на новом уровне.

Научное издание

**ВЕСТНИК СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

Выпуск 16

Редакторы *М.А. Турбина, Л.В. Лебедева, Н.П. Клубкова*
Компьютерная верстка *Ю.В. Борцова*

Изд. лиц. ЛР № 021277 от 06.04.98.

Подписано в печать 12.11.07.

31,25 печ. л.

20,0 уч.-изд. л.

Тираж 500 экз.

Заказ № 1800

Издательство Сибирского государственного университета путей сообщения
630049 Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191
Тел. (383) 328-03-81. E-mail: press@stu.ru