



# Оценка целесообразности тоннелей: теоретические аспекты



Дмитрий МАЧЕРЕТ  
Dmitry A. MACHERET

Евгений ТИТОВ  
Evgeny Yu. TITOV



*Мачерет Дмитрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики строительного бизнеса и управления собственностью Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Титов Евгений Юрьевич – кандидат технических наук, учёный секретарь Объединённого учёного совета ОАО «РЖД», доцент кафедры мостов и тоннелей Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

## Estimating the Feasibility of Tunnels: Theoretical Aspects

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 23)

**В статье теоретически обосновываются мотивы и значение строительства новых тоннелей в рамках стратегического развития сети российских железных дорог. Предложена классификация железнодорожных тоннелей исходя из целей их создания и видов генерируемых эффектов. Рассмотрены подходы к оценке целесообразности тоннелей, дающих возможность «спрямления» существующего железнодорожного сообщения, улучшения его качественных характеристик и повышения экономичности. На основе логико-аналитического метода определён спектр потенциальных эффектов, возникающих при строительстве таких тоннелей как на отраслевом, так и на макроуровне. Особо акцентировано внимание на выборе горизонта расчёта и норм дисконтирования. Сделан вывод, что сооружение железнодорожного тоннеля может быть признано целесообразным даже при длительном сроке окупаемости капитальных вложений (15–20 лет) в случае значимого чистого дисконтированного эффекта.**

Ключевые слова: железнодорожные тоннели, теория, строительство, реконструкция, классификация, оценка целесообразности, дисконтирование, отдалённые эффекты.

**П**ервый железнодорожный тоннель был построен в Англии на линии Ливерпуль–Манчестер в 1826–1830 годах, его протяжённость составляла 1190 метров. В 1861 году для движения на ветке Петербурго-Варшавской железной дороги был открыт Ковенский тоннель (1285 м) – один из двух первых железнодорожных, построенных в Российской империи. В конце XIX века появилось большое количество тоннелей на Кавказе, в Крыму и Сибири. На начало XX века пришёлся «пик» их строительства на Дальнем Востоке.

Появление этого вида искусственных сооружений открыло принципиально новые возможности для развития железнодорожной сети, роста скорости и удешевления путей сообщения, стало основой создания новой подотрасли транспортного строительства – железнодорожного тоннелестроения. Поэтому в соответствии с классификацией инноваций в сфере железнодорожного транспорта, предложенной в работе [1], тоннели следует считать базисной инновацией, относящейся к группе «подрывных»<sup>1</sup> (макро-) инноваций.

<sup>1</sup> От англ. disruptive innovation – инновации, которые изменяют соотношение ценностей на рынке. – прим. ред.

## Классификация планируемых к строительству железнодорожных линий

Категория линий	Источник (механизм) финансирования
1) Линии, обеспечивающие повышение отдачи от частных инвестиций (т.е. формирующие эффекты для нетранспортного бизнеса)	Государственно-частное партнёрство
2) Линии, ускоряющие социальное развитие и способствующие повышению стоимости человеческого капитала страны (т.е. формирующие социальные и макроэкономические эффекты)	Бюджетные средства
3) Линии, окупаемые за счёт доходов от перевозок (т.е. обеспечивающие эффективное ведение транспортного бизнеса)	Частные инвестиции в железнодорожную отрасль

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ**

Железнодорожные тоннели характеризуются чрезвычайно высокой капиталоемкостью и значительным временем строительства. Оба эти фактора ведут к увеличению потерь от «замораживания» капитала в строящемся объекте.

Кроме того, значительная продолжительность строительства тоннелей отдаляет эффекты от их эксплуатации, а значит — относительно снижает значение этих эффектов с учётом дисконтирования [5, 6] и ухудшает экономические параметры соответствующих проектов.

К тому же значительный временной горизонт экономической оценки строительства тоннелей ведёт к росту неопределённости и рисков по поводу необеспеченности расчётной эффективности. Показательным примером является сооружение железнодорожно-автомобильного тоннеля под проливом Ла-Манш, который после ввода в эксплуатацию в середине 1990-х годов оказался убыточным из-за трёхкратного отклонения фактического объёма железнодорожных перевозок от прогнозного [7].

В то же время сооружение железнодорожных тоннелей является примером реализации в отрасли окольных методов транспортного производства [8], которые за счёт удлинения периода производства и повышения капиталоемкости ведут к росту его эффективности. Учитывая нормативный срок службы тоннелей, составляющий 100 лет, их сооружение может быть оправдано в случае генерации сверхдолгосрочных («вековых») социально-экономических эффектов, наличие которых на железнодорожном транспорте показано в работе [5].

С учётом сказанного строительство железнодорожных тоннелей нуждается в системной оценке, которая должна основываться

на их научной классификации в зависимости от целей строительства и видов генерируемых эффектов.

**КЛАССИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ**

Используя логико-аналитический метод [9], можно предложить следующую классификацию железнодорожных тоннелей по целям строительства и видам генерируемых эффектов:

1. Тоннели, делающие возможным открытие нового железнодорожного сообщения:

- а) тоннели через горные преграды;
- б) тоннели через водные преграды.

2. Тоннели, делающие возможным спрямление существующего железнодорожного сообщения, улучшение его качественных характеристик и повышение экономичности.

Эффекты от строительства тоннелей, относящихся к первой группе, т.е. являющихся составной частью более крупных проектов организации нового железнодорожного сообщения, нужно рассматривать в контексте общей экономической классификации планируемых к строительству железнодорожных линий, предложенной в работе [10]. Эта классификация показана в таблице 1.

Какая-то линия может обладать признаками двух или всех трёх категорий. Например, и повышать отдачу от частных инвестиций, и стимулировать социальное развитие.

Принципиальное отличие представленной классификации от традиционных состоит в том, что категорирование линий выполнено исключительно по экономическим признакам, без использования технико-технологических характеристик. Соответственно эта классификация охватывает только линии, формирующие те или



иные экономические и социальные (в конечном счёте — тоже экономические) эффекты. Её использование, следовательно, делает наличие таких эффектов, оправдывающих инвестиции в строительство железнодорожных линий, обязательным и «отсекает» возможности сооружения экономически необоснованных линий.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ

Эффективность строительства тоннелей, относящихся к данной группе, оценивается в рамках комплексных проектов нового железнодорожного сообщения с помощью стандартных методов, изложенных, в частности, в работах [11–13]. При этом должны учитываться технико-технологические особенности [14] и риски [15].

В случае необходимости преодоления водных преград (рек, проливов), как правило, возникает дилемма: сооружать для этого тоннель или мост?

С экономической точки зрения этот вопрос должен решаться с использованием показателей сравнительной экономической эффективности [13, с. 183–185; 16], позволяющих выявить преимущества реализации одного варианта по сравнению с другим. При этом важно правильно учесть технические аспекты сооружения тоннельного или мостового перехода, безусловно, влияющие на экономические характеристики того или иного варианта, но имеющие и самостоятельное значение.

Особо следует остановиться на оценке целесообразности строительства тоннелей, относящихся ко второй группе, то есть дающих возможность «спрямления» существующего железнодорожного сообщения, улучшения его качественных характеристик и повышения экономичности (примером является Северо-Муйский тоннель на БАМе).

Сооружение такого тоннеля целесообразно, если капитальные вложения в его строительство будут компенсированы в приемлемые сроки эффектами, генерируемыми благодаря эксплуатации тоннеля.

При этом возникают следующие проблемы:

— определения полного перечня возникающих эффектов (отраслевых и макроэкономических) и оценки величины каждого из них;

— определения общего горизонта расчёта, приемлемого срока окупаемости капитальных вложений и выбора коэффициента дисконтирования для соизмерения разновременных затрат и эффектов.

Конечно, полный перечень возникающих в результате строительства железнодорожного тоннеля эффектов и оценка их величин могут быть получены только в реальных условиях с помощью технико-экономических расчётов. Но типовой перечень таких эффектов можно сформировать на основе логико-аналитического метода.

В общем случае после строительства тоннеля, спрямляющего существующее железнодорожное сообщение и улучшающего его качественные и экономические характеристики, могут возникать следующие эффекты.

Прежде всего удешевление грузовых перевозок за счёт сокращения маршрута следования грузов на направлении, обслуживаемом с помощью тоннеля, с  $l_0$  до  $l_1$ . Для грузовладельцев оно может быть примерно оценено по формуле:

$$\Delta D = d \cdot P \cdot (l_0 - l_1),$$

где  $d$  — доходная ставка за перевозки грузов в расчёте на 1 т • км;

$P$  — объём грузовых перевозок по данному маршруту.

Для железнодорожного транспорта эта величина составит сокращение доходов за перевозки. Но сократятся и эксплуатационные расходы отрасли на величину

$$\Delta C = c/c \cdot P \cdot (l_0 - l_1),$$

где  $c/c$  — себестоимость грузовых перевозок на данном маршруте.

В общем случае (в среднем по сети) доходная ставка по грузовым перевозкам выше их себестоимости. Однако на конкретных участках, особенно сложных в эксплуатационном отношении (в горной местности и т.д.), себестоимость перевозок нередко превышает доходную ставку, формирующуюся на основе среднесетевого тарифа. В этом варианте экономия расходов может быть больше, чем снижение доходов. Но даже если это и не так, в результате сооружения тоннеля железнодорожный транспорт, как правило, получает сокращение самой себестоимости перевозок  $\Delta c/c$  благодаря повышению веса и скорости поездов. Оценка себестоимости перевозок в результате повышения

веса и скорости поездов представлена в [17, 18].

Сокращение эксплуатационных расходов в результате снижения себестоимости составит:

$$\Delta C_r = \Delta c / c \cdot P \cdot I_r.$$

Таким образом, общая экономия эксплуатационных расходов железнодорожного транспорта будет:

$$\Delta C_{\text{общ}} = \Delta C + \Delta C_r.$$

За счёт сокращения расстояния и повышения скорости перевозки сократится срок доставки грузов на рассматриваемом направлении, обозначим эту величину  $\Delta t_d$ . Здесь ещё один эффект – снижение потерь от «замораживания» оборотного капитала, воплощённого в перевозимых товарах. В соответствии с методологией, изложенной в [19], оно может быть оценено как:

$$\Delta K_{\text{об}} = P \cdot \bar{C} \cdot \Delta t_d \cdot i,$$

где  $P$  – объём перевозок;

$\bar{C}$  – средняя цена 1 тонны перевозимого груза;

$i$  – процентная ставка.

Удешевление и ускорение перевозок приводят, при прочих равных условиях, к росту спроса. Рост спроса должен оцениваться в конкретных условиях на основе маркетинговых исследований, но в общем случае для его приблизительной оценки могут быть использованы среднесетевые коэффициенты эластичности спроса. Как показано в исследовании [20, с. 117–140], ценовую эластичность спроса на грузовые перевозки можно принять на уровне 0,5, а неценовую эластичность, зависящую от уровня качества перевозки (срок доставки груза – ключевой показатель качества перевозки) – на единичном уровне. Обозначив дополнительный спрос на перевозки  $\Delta P$ , доходы железнодорожного транспорта от этих дополнительных перевозок можно рассчитать по формуле:

$$D = d \cdot \Delta P \cdot I_r.$$

Но увеличение спроса на перевозки будет формироваться, по крайней мере, частично, за счёт увеличения объёмов промышленного и сельскохозяйственного производства. Как обосновано в [21], увеличение промышленного и сельскохозяйственного производства в аналогичных случаях может составить:

$$\Delta \Pi = \Delta P \cdot \Pi \cdot (1 - \alpha),$$

где  $\alpha$  – доля дополнительного грузопотока, сформированного за счёт привлечения грузов с других видов транспорта.

Эффекты, во многом схожие по своей сути с перечисленными, возникнут и в сфере пассажирских перевозок.

Таким образом, сооружение железнодорожных тоннелей вызывает широкий спектр экономических эффектов как на отраслевом, так и на макроуровне, которые должны быть учтены при оценке целесообразности строительства тоннеля.

При выборе горизонта расчётов для оценки целесообразности строительства железнодорожных тоннелей возникает противоречие. С одной стороны, в качестве горизонта расчёта теоретически может быть принят общий жизненный цикл тоннеля, включающий время его строительства и эксплуатации, который составляет свыше 100 лет. С другой стороны, чем больше горизонт расчёта, тем выше неопределённость при оценке отдалённых эффектов. Кроме того, при использовании общепринятых норм дисконта, как показано в работе [5], дисконтированные эффекты от эксплуатации инфраструктурных объектов за пределами 20-летнего горизонта расчётов стремятся к нулю.

Выходом может быть понижение нормы дисконта в более отдалённые годы, правомерность чего обоснована в той же работе. При этом для горизонта расчёта 25 лет и более дисконтирование связано с межпоколенческим распределением эффектов от инвестиций. По мнению некоторых учёных [22, с. 308–309], в этих случаях дисконтирование проводить нельзя, так как каждый доллар для будущего поколения будет иметь ту же «социальную стоимость», что и для нынешнего. К тому же невозможен отказ от лежащего в основе дисконтирования временного предпочтения, которое «категориально неотделимо от человеческой деятельности» [23, с. 451].

Детальное рассмотрение указанной дилеммы выходит за пределы публикуемой работы. По нашему мнению, паллиативным решением является минимизация нормы дисконта за пределами 20–25-летнего периода до уровня, близкого к нулю, но все же отличного от нуля.

Это должно позволить сохранить значимость даже отдалённых экономических





эффектов от эксплуатации тоннеля, и в таком случае имеет определённые основания использовать сверхдолгосрочные горизонты расчёта, близких к продолжительности жизненного цикла тоннеля или даже равного ему.

То есть сооружение тоннеля может быть признано целесообразным при наличии значимого чистого дисконтированного эффекта за выбранный горизонт расчёта даже при значительном расчётном сроке окупаемости капитальных вложений (15–20 лет и более).

\*\*\*

Предложенные в статье теоретические основы оценки целесообразности строительства железнодорожных тоннелей могут стать основой разработки методического инструментария для принятия управленческих решений по строительству тоннелей в рамках реализации Транспортной стратегии Российской Федерации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Измайкова А. В. Классификация инноваций на железнодорожном транспорте и инвестиционный фактор их реализации // Вестник ВНИИЖТ. – 2015. – № 3. – С. 35–41.
2. Стратегическое развитие железнодорожного транспорта России / Под ред. Б. М. Лapidуса. – М.: МЦФЭР, 2008. – 304 с.
3. Титов Е. Ю. Стратегические задачи технико-технологического развития железнодорожного тоннелестроения в России в условиях «инновационного ренессанса» отрасли // Ренессанс железных дорог: фундаментальные научные исследования и прорывные инновации / Коллективная монография. – Ногинск: Аналитика Родис, 2015. – С. 89–96.
4. Курбацкий Е. Н. Преимущества тоннелей из опускных секций при сооружении транспортных переходов через протяжённые водные (морские) преграды // Метро и тоннели. – 2014. – № 4. – С. 28–32.
5. Мачерет Д. А. Об экономических проблемах развития транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. – 2011. – № 3. – С. 76–83.
6. Мачерет Д. А., Марцинковская А. В., Гавриленков А. А. и др. Повышение эффективности инвестиционной деятельности на железнодорожном транспорте. – М.: МИИТ, 2015. – 172 с.
7. Мачерет Д. А., Чернигина И. А. Информация – важный фактор транспортного производства // Железнодорожный транспорт. – 1996. – № 9. – С. 57–60.
8. Мачерет Д. А. Транспортный аспект «окольных» способов производства // Мир транспорта. – 2016. – № 2. – С. 82–89.
9. Мачерет Д. А. Методологические проблемы экономических исследований на железнодорожном

транспорте // Экономика железных дорог. – 2015. – № 3. – С. 12–26.

10. Мачерет Д. А. Экономическая классификация планируемых к строительству железнодорожных линий // Сб. трудов Международной научно-практ. конференции «Современные проблемы управления экономикой транспортного комплекса России: конкурентоспособность, инновации и экономической суверенитет». – М.: МИИТ, 2015. – С. 54–56.

11. Методическое обеспечение рыночных механизмов экономического управления на железнодорожном транспорте: Монография / Б. М. Лapidус, Д. А. Мачерет, А. В. Рышков и др. – М.: МЦФЭР, 2007. – 160 с.

12. Методика оценки социально-экономической эффективности строительства новых железнодорожных линий общего пользования / Пехтерев Ф. С., Лившиц В. Н., Мачерет Д. А. и др. – М., 2009. – 252 с.

13. Экономика железнодорожного транспорта / Под ред. Н. П. Терёшиной, Б. М. Лapidуса. – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. – 676 с.

14. Курбацкий Е. Н., Купчикова Н. В., Синицын А. С. Преимущества тоннелей из опускных секций транспортных переходов и особенности их сооружения через протяжённые речные и морские преграды, сложенные на дне слабыми грунтами // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – № 1. – С. 41–50.

15. Махутов Н. А., Лapidус Б. М., Титов Е. Ю. Методология учёта рисков при разработке и эксплуатации вакуумно-левитационных систем // Вакуумно-левитационные транспортные системы: научная основа, технологии и перспективы для железнодорожного транспорта / Под ред. Б. М. Лapidуса и С. Б. Нестерова. – М.: РАС, 2017. – С. 153–166.

16. Мачерет Д. А. Методологические проблемы оценки экономической эффективности инвестиций на железнодорожном транспорте // Экономика железных дорог. – 2017. – № 10. – С. 13–19.

17. Мачерет Д. А., Измайкова А. В. Экономическая оценка инноваций, направленных на комплексное повышение веса и скорости поездов // Экономика железных дорог. – 2015. – № 5. – С. 17–33.

18. Себестоимость железнодорожных перевозок / Под ред. Н. Г. Смеховой и Ю. Н. Кожевникова. – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. – 472 с.

19. Лapidус Б. М., Мачерет Д. А. Модель и методика макроэкономической оценки товарной массы, находящейся в процессе перевозки // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 2. – С. 3–7.

20. Соколов Ю. И., Лавров И. М. Методы экономической оценки качества транспортного обслуживания грузовладельцев в условиях множественности участников перевозочного процесса. – М.: Золотое сечение, 2015. – 168 с.

21. Измайкова А. В. Экономическая оценка инновационно-ориентированного развития железнодорожного транспорта / Дис... канд. экон. наук. – М., 2016. – 182 с.

22. Лал Д. Возвращение «невидимой руки». Актуальность классического либерализма в XX веке: Пер с англ. – М.: Новое издательство, 2009. – 426 с.

23. Мизес Л. фон. Человеческая деятельность: трактат по экономической теории: Пер. с англ. – Челябинск: Социум, 2008. – 878 с.

Координаты авторов: **Мачерет Д. А.** – macheretda@rambler.ru, **Титов Е. Ю.** – etitov80@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 23.03.2018, принята к публикации 14.06.2018.

## ESTIMATING THE FEASIBILITY OF TUNNELS: THEORETICAL ASPECTS

*Macheret, Dmitry A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

*Titov, Evgeny Yu., JSC Russian Railways / Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

The article substantiates the motives and significance of construction of new tunnels within strategic development of the network of Russian railways. The classification of railway tunnels based on the purposes of their creation and the types of generated effects is proposed. Approaches to assessment of feasibility of tunnels, which allow the «straightening» of the existing railway communication, improving its quality characteristics and efficiency, are considered. Based on the

*Keywords:* railway tunnels, theory, construction, reconstruction, classification, feasibility assessment, discounting, remote effects.

**Background.** The first railway tunnel was built in England on Liverpool–Manchester line in the years 1826–1830, its length was 1190 meters. In 1861, Kovno (now Kaunas) Tunnel (1285 m), one of the first two railways tunnels built in the Russian Empire, was opened for movement at St. Petersburg–Warsaw Railway. At the end of 19<sup>th</sup> century a large number of tunnels appeared in the Caucasus, Crimea and Siberia. At the beginning of 20<sup>th</sup> century, there was a «peak» of their construction in the Far East.

The emergence of this type of artificial structures has opened up fundamentally new opportunities for development of the railway network, growth of speed and reduction in the cost of railways, and has become the basis for creation of a new sub-sector of transport construction – railway tunnel construction. Therefore, in accordance with the classification of innovations in the field of railway transport, proposed in [1], tunnels should be considered as a basic innovation related to the group of disruptive (macro) innovations.

**Objective.** The objective of the authors is to consider theoretical aspects of feasibility of tunnels' construction.

**Methods.** The authors use general scientific methods, comparative analysis, mathematical, economical, logical methods.

### Results.

#### Economic features

Railway tunnels are characterized by extremely high capital intensity and a significant construction time. Both of these factors lead to an increase in losses from «freezing» of capital in the newly constructed facility.

In addition, the considerable duration of tunnel construction postpones the effects of their operation, which means that these effects are relatively reduced taking into account the discounting [5, 6] and worsen the economic parameters of the respective projects.

A significant time horizon for economic evaluation of tunnel construction also leads to an increase in uncertainty and risks associated with unsecured estimated efficiency. An illustrative example is construction of a railway and automobile tunnel under the English Channel, which, after commissioning in the mid-1990s, was unprofitable because of a threefold deviation of the actual volume of rail traffic from the forecast.

At the same time, the construction of railway tunnels is an example of implementation in the industry of devious methods of transport production [8], which, due to lengthening of the production period and increase in capital intensity, lead to an increase in its efficiency. Considering the normative service life of tunnels, which is 100 years long, their construction can be justified in the case of generation of long-term (century-long) socio-economic effects, the presence of which in rail transport is shown in [5].

With this in mind, the construction of railway tunnels requires a system assessment, which must be based

logical-analytical method, the spectrum of potential effects arising thanks to the construction of such tunnels at both the sectoral and macro levels is determined. Particular attention is focused on the choice of the calculation horizon and the discount rates. It is concluded that the construction of a railway tunnel can be considered expedient even with a long payback period of capital investments (15–20 years) in the case of a significant net discounted effect for the chosen calculation horizon.

on their scientific classification, depending on the purpose of construction and the types of generated effects.

#### Classification of railway tunnels

Using the logical-analytical method [9], it is possible to propose the following classification of railway tunnels for the purposes of construction and the types of generated effects:

1. Tunnels, making possible the opening of a new railway communication:

- a) tunnels through mountain barriers;
- b) tunnels through water barriers.

2. Tunnels, which make it possible to straighten the existing railway communication, improve its quality characteristics and increase the efficiency.

Effects from construction of tunnels belonging to the first group, i. e. which are an integral part of larger projects for organization of a new railway route, should be considered in the context of the general economic classification of planned railway lines proposed in [10]. This classification is shown in Table 1.

A line may have signs of two or of all three categories. For example, it can increase the return on private investment, and stimulate social development.

The principal difference between the presented classification and the traditional one is that categorization of lines is performed exclusively on economic grounds, without the use of technical and technological characteristics. Accordingly, this classification covers only the lines that form certain economic and social (ultimately, also economic) effects. Its use, therefore, makes the presence of such effects justifying investments in the construction of railway lines mandatory and «cuts off» the possibility of building economically unjustified lines.

#### Estimating the effectiveness of construction of tunnels

The efficiency of construction of tunnels belonging to this group is evaluated in the framework of complex projects for a new railway route using standard methods, set out in particular in [11–13]. At the same time, technical and technological features [14] and risks [15] should be taken into account.

If it is necessary to overcome water obstacles (rivers, straits), as a rule, a dilemma arises: to build a tunnel or bridge for this?

From the economic point of view, this issue should be solved using the indicators of comparative economic efficiency [13, pp. 183–185; 16], which allow one to identify the advantages of implementing one variant in comparison with another. At the same time, it is important to take into account the technical aspects of construction of a tunnel or a bridge crossing, which undoubtedly affect the economic characteristics of a particular option, but also have an independent significance.

It is necessary to mention specially the feasibility of constructing tunnels belonging to the second group,



**Table 1**

**Classification of planned railway lines**

Category of lines	Source (mechanism) of financing
1) Lines providing increased return on private investment (i. e. forming effects for non-transport business)	Public-Private Partnership
2) Lines accelerating social development and contributing to the value of the human capital of the country (i. e. forming social and macroeconomic effects)	Budgetary funds
3) Lines whose costs are covered with revenue from transportation services (i. e. ensuring efficient management of transport business)	Private investment in the railway industry

that is, enabling the existing railway route to be «straightened», improving its qualitative characteristics, and improving its efficiency (the example is the North-Muya Tunnel at the Baikal-Amur Railway).

The construction of such a tunnel is advisable if the capital investments in its construction are compensated in an acceptable time by the effects generated by the operation of the tunnel.

The following problems occur:

- determination of a full list of arising effects (branch-wise and macroeconomic) and an estimation of a value of each of them;

- determination of the overall calculation horizon, an acceptable payback period for capital investments and the choice of the discount factor to measure the costs and effects that arise during different time periods.

Of course, a full list of effects arising from construction of a railway tunnel and estimation of their values can be obtained only in real conditions with the help of technical and economic calculations. But a typical list of such effects can be formed on the basis of a logical-analytical method.

In general, after building a tunnel that straightens out the existing railway route and improves its quality and economic characteristics, the following effects can occur.

First of all, cheapening of freight transportation by reducing the route of the goods on the direction served by the tunnel, from  $l_0$  to  $l_1$ . For cargo owners it can be roughly estimated by the formula:

$$\Delta D = d \cdot P \cdot (l_0 - l_1),$$

where  $d$  is income rate for carriage of goods per 1 ton·km;

$P$  – volume of freight transportation on this route.

For rail transport, this figure will be a reduction in revenue for transportation. But the operating costs of the industry will also decrease by an amount

$$\Delta C = c/c \cdot P \cdot (l_0 - l_1),$$

where  $c/c$  is cost price of freight transportation on this route.

In the general case (on average over the network), the revenue rate for freight transportation is higher than their cost price. However, in specific sections, especially difficult to operate (in the mountainous terrain, etc.), the cost of transportation often exceeds the yield rate, which is formed on the basis of the average network tariff. In this option, the cost savings can be greater than the decline in income. But even if this is not the case, as a result of the tunnel construction, railway transport, as a rule, gets a reduction in the cost of transportation  $\Delta c/c$  due to the increase in weight and speed of trains. Estimating the cost of transportation as a result of increasing the weight and speed of trains is presented in [17, 18].

Reducing operating costs as a result of cost reduction will be:

$$\Delta C_1 = \Delta c/c \cdot P \cdot l_1.$$

Thus, the total savings in operating costs of rail transport will be:

$$\Delta C_{tot} = \Delta C + \Delta C_1.$$

By reducing the distance and increasing the speed of transportation, the time for delivery of goods in the direction in question will be shortened, let us denote this value as  $\Delta t_r$ . Here, another effect is reduction in losses from freezing of working capital embodied in the

goods being transported. In accordance with the methodology outlined in [19], it can be estimated as:

$$\Delta K_{tot} = P \cdot \bar{P}_r \cdot \Delta t_r \cdot i,$$

where  $P$  is volume of transportation;

$\bar{P}_r$  – average price of 1 ton of transported cargo;

$i$  – interest rate.

Cost reduction and acceleration of carriage lead, with other things being equal, to an increase in demand. The growth in demand should be evaluated in specific conditions on the basis of marketing research, but in general, average network's elasticity coefficients of demand can be used to estimate it. As shown in the study [20, pp. 117–140], the price elasticity of demand for freight transportation can be taken at the level of 0,5, and the non-price elasticity, depending on the level of the quality of transportation (the term of delivery of cargo is deemed to be the key indicator of the quality of transportation) – at a single level. Having designated the additional demand for transportations as  $\Delta P$ , the incomes of railway transport from these additional transportations can be calculated by the formula:

$$D = d \cdot \Delta P \cdot l_1.$$

But the increase in demand for transportation will be formed, at least in part, due to an increase in the volume of industrial and agricultural production. As grounded in [21], the increase in industrial and agricultural production in similar cases can amount to:  $\Delta P = \Delta P \cdot P_r \cdot (1 - \alpha)$ , where  $\alpha$  is a share of the additional cargo traffic generated due to the attraction of goods from other modes of transport.

Effects, largely similar in nature to those listed, will also arise in the sphere of passenger transportation.

Thus, the construction of railway tunnels causes a wide range of economic effects at both the sectoral and macro levels, which should be taken into account when assessing the feasibility of constructing a tunnel.

When choosing a calculation horizon for assessing the feasibility of construction of railway tunnels, a contradiction arises. On the one hand, the overall life cycle of the tunnel, including the time of its construction and operation, which is more than 100 years, can theoretically be accepted as the calculation horizon. On the other hand, the larger is the calculation horizon, the greater is the uncertainty in estimating the remote effects. In addition, as shown in [5], using the generally accepted discount rates, the discounted effects from the operation of infrastructure objects beyond the 20-year horizon of calculations tend to zero.

The solution may be a reduction in the discount rate in more remote years, the validity of which is justified in the same work. At the same time for a horizon of calculation of 25 years and more, discounting is associated with intergenerational distribution of effects from investments. According to some scientists [22, pp. 308–309], in these cases, discounting cannot be carried out, since each dollar for the future generation will have the same «social value» as for the present one. In addition, it is impossible to abandon the time preference, which is a ground for discounting, and which is «categorically inseparable from human activity» [23, p. 451].

A detailed examination of this dilemma goes beyond the scope of the published paper. In our opinion, a palliative solution is to minimize the discount rate outside the 20–25-year period to a level close to zero, but still different from zero.

This should make it possible to retain the significance of even distant economic effects from operation of the tunnel, and in this case there are certain grounds for using ultra-long-term calculation horizons close to the lifetime of the tunnel or even equal to it.

That is, construction of a tunnel can be considered expedient if there is a significant net discounted effect for the chosen calculation horizon even with a significant estimated payback period of capital investments (15–20 years or more).

## Conclusion.

The theoretical foundations for assessing the feasibility of construction of railway tunnels proposed in the article can be the basis for developing methodological tools for making managerial decisions on construction of tunnels within the framework of the implementation of the Transport Strategy of the Russian Federation.

## REFERENCES

1. Izmaikova, A. V. Classification of innovations in rail transport and investment factor for their implementation [Klassifikatsiya innovatsii na zheleznodorozhnom transporte i investitsionnyy faktor ih realizatsii]. *Vestnik VNIIZhT*, 2015, Iss. 3, pp. 35–41.
2. Strategic development of rail transport in Russia [Strategicheskoe razvitiye zheleznodorozhnogo transporta Rossii]. Ed. by B. M. Lapidus. Moscow, MCFER, 2008, 304 p.
3. Titov, E. Yu. Strategic tasks of technical and technological development of railway tunnels in Russia in conditions of «innovative renaissance» of the industry [Strategicheskie zadachi tekhniko-tekhnologicheskogo razvitiya zheleznodorozhnogo tonnelestroeniya v Rossii v usloviyah «innovatsionnogo renessansa» otrasli]. In: Renaissance of railways: fundamental scientific research and breakthrough innovations. Collective monograph. Noginsk, Analitika Rodis publ., 2015, pp. 89–96.
4. Kurbatsky, E. N. Advantages of tunnels made of lower sections during construction of transport transits through extended water (sea) barriers [Reimushchestva tonnelei iz opusknykh sektsiii pri sooruzhenii transportnykh perehodov cherez protyazhennye vodnye (morskie) pregrady]. *Metro i tonneli*, 2014, Iss. 4, pp. 28–32.
5. Macheret, D. A. On the Economic Problems of Development of Transport Infrastructure. *World of Transport and Transportation*, Vol. 9, 2011, Iss. 3, pp. 76–83.
6. Macheret, D. A., Martinkovskaya, A. V., Gavrilenko, A. A. [et al]. Increase of efficiency of investment activity in railway transport [Povyshenie effektivnosti investitsionnoi deyatel'nosti na zheleznodorozhnom transporte]. Moscow, MIIT publ., 2015, 172 p.
7. Macheret, D. A., Chernigina, I. A. Information as an important factor in transport production [Informatsiya – vazhnyy faktor transportnogo proizvodstva]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 1996, Iss. 9, pp. 57–60.
8. Macheret, D. A. Transport aspect of roundabout production methods. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 2, pp. 82–89.
9. Macheret, D. A. Methodological problems of economic research in rail transport [Metodologicheskoe problem ekonomicheskikh issledovaniy na zheleznodorozhnom transporte]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2015, Iss. 3, pp. 12–26.
10. Macheret, D. A. Economic classification of planned railway lines [Ekonomicheskaya klassifikatsiya planiruemyykh v stroitel'stvo zheleznodorozhnykh liniy]. *Proceedings of International scientific-practical conference «Modern problems of managing the economy of the Russian transport sector: competitiveness, innovation and economic sovereignty»*. Moscow, MIIT publ., 2015, pp. 54–56.
11. Lapidus, B. M., Macheret, D. A., Ryshkov, A. V. [et al.]. Methodological support of market mechanisms of economic management in railway transport. Monograph [Metodicheskoe obespechenie rynochnykh mekhanizmov ekonomicheskogo upravleniya na zheleznodorozhnom transporte: Monografiya]. Moscow, MCFER, 2007, 160 p.
12. Pekhterev, F. S., Livshits, V. N., Macheret, D. A. [et al.]. Methodology for assessing the social and economic efficiency of construction of new public railway lines [Metodika otsenki sotsial'no-ekonomicheskoi effektivnosti stroitel'stva novykh zheleznodorozhnykh liniy obshchego pol'zovaniya]. Moscow, 2009, 252 p.
13. The Economics of Railway Transport [Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta]. Ed. by N. P. Teryoshina, B. M. Lapidus. Moscow, TMC for education on railway transport, 2011, 676 p.
14. Kurbatsky, E. N., Kupchikova, N. V., Sinitsyn, A. S. Advantages of tunnels made of lower sections in development and peculiarities of their construction through extended river and sea barriers, built on the bottom by weak soils [Preimushchestva tonnelei iz opusknykh sektsiii transportnykh perehodov i osobennosti ih sooruzheniya cherez protyazhennye rechnye i morskoe pregrady, slozhennye na dne slabymi gruntami]. *Inzhenerno-stroitel'niy vestnik Prikaspiya*, 2015, Iss. 1, pp. 41–50.
15. Makhutov, N. A., Lapidus, B. M., Titov, E. Yu. The methodology of risk accounting in development and operation of vacuum-levitation systems [Metodologiya ucheta riskov pri razrabotke i ekspluatatsii vakuumno-levitatsionnykh sistem]. In: Vacuum-levitation transport systems: scientific basis, technologies and prospects for railway transport. Ed. by B. M. Lapidus and S. B. Nesterov. Moscow, RAS, 2017, pp. 153–166.
16. Macheret, D. A. Methodological problems of economic efficiency evaluation of investments in railway transport [Metodologicheskoe problem otsenki ekonomicheskoi effektivnosti investitsii na zheleznodorozhnom transporte]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2017, Iss. 10, pp. 13–19.
17. Macheret, D. A., Izmaikova, A. V. Economic evaluation of innovations aimed at complex increase in weight and speed of trains [Ekonomicheskaya otsenka innovatsii, napravlennyy na kompleksnoe povyshenie vesa i skorosti poezdov]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2015, Iss. 5, pp. 17–33.
18. The cost price of rail transportation [Sebestoimost' zheleznodorozhnykh perevozok]. Ed. by N. G. Smekhova and Yu. N. Kozhevnikov. Moscow, TMC for Education on Railway Transport, 2015, 472 p.
19. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Model and methodology of macroeconomic evaluation of the commodity mass in the process of transportation [Model' i metodika makroekonomicheskoi otsenki tovarnoi massy, nahodyashcheysya v protsessе perevozk]. *Vestnik VNIIZhT*, 2011, Iss. 2, pp. 3–7.
20. Sokolov, Yu. I., Lavrov, I. M. Methods of economic evaluation of the quality of transport services for cargo owners in conditions of multiplicity of participants in the transportation process [Metody ekonomicheskoi otsenki kachestva transportnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev v usloviyah mnozhestvennosti uchastnikov perevozochnogo protsessa]. Moscow, Zolotoe sechenie publ., 2015, 168 p.
21. Izmaikova, A. V. Economic evaluation of innovation-oriented development of rail transport. Ph.D. (economics) thesis [Ekonomicheskaya otsenka innovatsionno-orientirovannogo razvitiya zheleznodorozhnogo transporta / Dis... kand. ekon. nauk]. Moscow, 2016, 182 p.
22. Lal, D. Reviving the Invisible Hand. The Case for Classical Liberalism in the 21<sup>st</sup> Century. Transl. from English. Moscow, Novoe izdatel'stvo publ., 2009, 426 p.
23. Mises, L. von. Human Action: A Treatise on Economics. Transl. from English. Chelyabinsk, Sotsium publ., 2008, 878 p. ●

Information about the authors:

**Macheret, Dmitry A.** – D.Sc. (Economics), professor, head of the department of Economics of construction business and property management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.

**Titov, Evgeny Yu.** – Ph.D. (Eng.), scientific secretary of the Joint scientific council of JSC Russian Railway, associate professor of the department of Bridges and tunnels of Russian University of Transport, Moscow, Russia, etitov80@gmail.com.

Article received 23.03.2018, accepted 14.06.2018.

