



УДК 338.001.36

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-166-184>

ЭКОНОМИКА

# Экономические предпосылки оценки сфер применения искусственных сооружений на транспорте

**Вячеслав СОЛОВЬЕВ**

*Соловьев Вячеслав Владимирович – Дирекция по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта – филиал ОАО «РЖД», Москва, Россия\*.*

Цель исследования состоит в поиске эффективных проектных решений при расширении сети пассажирских перевозок за счёт высокоскоростного рельсового транспорта. Занимающие значительную часть инфраструктуры высокоскоростных линий искусственные сооружения требуют пересмотра подходов к экономической оценке и обоснованию проектных решений. Рассмотрены экономические проблемы, сопутствующие процессам проектирования высокоскоростных железных дорог. В связи с различием условий и стандартов в разных странах возникла необходимость адаптации проектных решений, при этом требуется их экономическое обоснование. Актуальность проблем оптимизации конструкций обусловлена значительными объёмами работ при ожидаемом начале создания в России обособленных высокоскоростных линий. Научная значимость исследований состоит в актуализации традиционных подходов, собственных технико-экономическому анализу, применительно к новым задачам железнодорожного строительства.

Информационной базой исследования послужили публикации отечественных и зарубежных учёных в области инфраструктуры железнодорожного транспорта. Для анализа затрат использована стандартная методология расчёта стоимости на основе сметно-нормативной базы.

Стоимостное сопоставление вариантов представлено в выборочной структуре затрат, что методически способствует выделению сравниваемых стоимостей.

Основным практическим результатом работы следует считать формализацию функции стоимости современных конструкций искусственных сооружений для высокоскоростного транспорта. Традиционная для железнодорожного транспорта задача выбора насыпи либо эстакады решена на основе анализа применяемых проектных решений. Для земляного полотна учтены современные методы укрепления, необходимые для стабильности пути. При анализе сметных затрат на сооружение пролётных строений выявлены значительные несоответствия перспективных технологий учтённым в расценках ресурсно-технологическим моделям. Это ставит под сомнение возможность использования в проектах высокоскоростных железных дорог традиционных подходов к применению искусственных сооружений.

Для обоснования конструктивных и технологических решений для высокоскоростного транспорта необходим целый комплекс работ по совместной разработке технологических схем и стоимостных нормативов. В случае России действующая сметно-нормативная база не позволяет выполнять достоверные экономические обоснования сфер применения конструкций.

**Ключевые слова:** железные дороги, железнодорожный транспорт, высокоскоростные магистрали (ВСМ), искусственные сооружения, насыпь, эстакада, слабые грунты, сравнение, стоимость, экономический анализ.

\*Информация об авторе:

**Соловьев Вячеслав Владимирович** – кандидат экономических наук, ведущий инженер Службы методологии ценообразования Дирекции по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия, s35681@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 18.03.2019, принята к публикации 21.09.2019.

**For the English text of the article please see p. 176.**

**Т**радиционная практика использования в проектах строительства новых железных дорог тех или иных конструктивных решений имеет значительный эволюционный путь. В его основу заложены нормы проектирования, технологические возможности, а также экономические условия, служащие основой при обосновании на предпроектной стадии.

В настоящий момент отечественный железнодорожный транспорт оказался на пороге новой эпохи создания полномасштабной сети высокоскоростных магистралей (ВСМ). Это определяет новую *цель* в сфере технико-экономического анализа — обеспечение проектов строительства научно обоснованным инструментарием выбора проектных решений. Особенность состоит в том, что имеющийся в настоящее время опыт наработан за длительный период создания и эксплуатации железных дорог со скоростями движения до 160–200 км/ч, и использование его при предпроектном анализе ВСМ будет приводить к несовместимым решениям, не удовлетворяющим требованиям как экономичности строительства, так и удобства эксплуатации. Первоочередной задачей на этапе, когда строительство не начато, но имеются проектные решения, является изучение практики сооружения ВСМ за рубежом и отбор наиболее эффективных для России конструктивно-технологических решений с последующей их адаптацией к особенностям отечественного строительства.

В разрезе проблем агломерационного развития высокоскоростной железнодорожный транспорт достаточно хорошо рассмотрен зарубежными исследователями [1; 2].

Практика экспертизы проектных решений в рамках Экспертного совета ВСМ в Российском университете транспорта выявила ряд серьёзных проблем и соответствующих им направлений исследования. Общей трудностью в вопросах назначения определённых конструкций, на что ориентируют авторы [3], является отсутствие практических опытных данных по поведению элементов инфраструктуры при скоростях движения более 300 км/ч. Во всяком случае, такие скорости (300–350 км/ч) считаются наиболее приемлемыми для сети рельсовых ВСМ во Франции, Японии,

Китае [4]. Несмотря на развитость методов моделирования, аналогичная ситуация складывалась и при проектировании Московской монорельсовой транспортной системы, когда выбор конструкций производился без расчёта показателей сравнительной экономической эффективности, только лишь на основе граничных технических условий, которые к тому же оказались завышенными.

Данный опыт является предупреждением при реализации гораздо более капиталоемких проектов строительства трасс ВСМ о том, что уже на стадии экспертного обсуждения необходимо определять «слабые места» в экономическом смысле и предлагать экономически обоснованные решения по их оптимизации. Одной из подобных проблем, рассмотренных автором, стал выбор между насыпью и эстакадой при проектировании трассы. Данный выбор в транспортном строительстве в подавляющем большинстве случаев решался в пользу насыпи даже несмотря на то, что дефицит производительности механизированных комплексов по сооружению земляного полотна ощущался довольно остро, увеличивая сроки строительства дорог. Лишь в условиях особо сложного рельефа местности (IV категория), отечественные и зарубежные проектировщики применяли виадуки [5]. Обоснованием применения виадука служила техническая невозможность устройства насыпи. Для более благоприятных же условий трассирования сопоставление сметных затрат на сооружение эстакады и насыпи всегда определяло последнюю в качестве экономически эффективного варианта [6]. Аналогичные воззрения существуют и у исследователей в области нерельсового скоростного транспорта [7].

Принимать данную закономерность в качестве правила допустимо для новых железных дорог широкой колеи, хотя и со значительной оговоркой: соотношение технологических, стоимостных, экологических и социальных факторов при сравнении варианта не является постоянным, со временем их количественные пропорции меняются и вполне естественным образом изменяются области рационального применения конструкций. Однако, применительно к обычным железным дорогам





Рис. 1. Эстакада ВСМ малой высоты в Китае (<http://news.southcn.com>).

актуальность данной проблемы ограничена малыми объёмами их строительства [8]. Объём же строительства, например, в проекте двухпутной ВСМ «Москва–Казань» составлял 760 км, при этом расположение трассы предполагалось в достаточно однородных условиях с перспективой продления до Екатеринбурга [9, с. 1].

Второй причиной пересмотра ранее выявленных закономерностей является кардинальное различие в условиях проектирования. Строительный комплекс в этом случае изначально должен быть ориентирован на использование эффективных решений, на освоение в качестве типовых рациональных технологий, на закупку соответствующей техники. Конкурирующими вариантами при выборе искусственных сооружений являются европейские [10; 11] и китайские [12] технологические схемы эксплуатации транспортных систем.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приведённые выше предпосылки обусловили выбор *тематики* исследований – поиск экономически обоснованных сфер применения насыпей и эстакад для высокоскоростных магистралей. Основные конструктивные решения были приняты к сопоставлению согласно проектной документации, разработанной для строительства первой в России обособленной трассы ВСМ «Москва–Казань».

Для перспективных магистралей, реализующих принцип магнитной левитации, вопросы выбора и обоснования типов искусственных сооружений являются в наибольшей степени актуальными. В работах В. Е. Красковского [7] отмечается, что доля эстакадных участков может достигать до 100 %, однако, участки с насыпями в качестве основания остаются, и технические возможности устройства систем магнитного подвешивания сохраняются в условиях применения в проектах земляного полотна. Факторы, усиливающие роль эстакад, приводятся автором в виде традиционной для скоростных линий совокупности – недопущение расщепления трассой используемых в народном хозяйстве земель, сокращение их отчуждения и безопасность движения на высоких скоростях. Динамические взаимодействия подвижного состава и сооружений путевой инфраструктуры являются граничными условиями в задачах экономического сравнения ввиду их влияния на безопасность движения [13; 14]. Это позволяет сделать суждение, что набор причин для переноса трассы целиком на эстакаду, одинаков по сравнению с традиционным рельсовым транспортом.

Также сходным с традиционными выводами о рациональной области применения насыпей на железных дорогах является исследование авторов [15] о климатических особенностях как фактора, влияющего на экономические преимущества. За

рубежом развитие технологий поточного мостостроения при сооружении протяжённых эстакад привело к снижению практической границы принимаемых решений до 5–7 метров. Подтверждением этому может служить опыт проектирования китайских ВСМ, где успешно применяются эстакады, начиная с высоты 6–7 метров (рис. 1).

При осуществлении экономического анализа затрат на возведение насыпей следует исходить из того, что качество грунтового массива оказывает значительное влияние как на технические решения, так и на стоимость насыпи. В достаточной степени проблема усиления насыпей и строительства эстакад ВСМ решена на практике за рубежом [16], однако, использование зарубежных экономических критериев сравнения недопустимо по причине разности в структуре затрат на строительство в разных странах. В практике проектирования принят устоявшийся термин «слабые грунты», причём значение его не столько геоморфологическое, сколько формообразующее для линейно-протяжённых сооружений.

Здесь уместным будет упомянуть один из принципов, сформулированных В. М. Фридкиным при решении задачи об оптимальной конфигурации комплекса искусственных сооружений: «*Задачу оптимизации необходимо решать с учётом сценариев поведения сооружения при его эксплуатации. Такие сценарии должны отражать варианты изменения во времени экономических, природных и социальных условий работы сооружения и его обслуживания. В алгоритмах оптимизации необходимо увязывать выбор значений конструктивных коэффициентов качества с достижением согласованного оптимума экономических критериев при различных (прежде всего, нормативных) сценариях эксплуатации сооружения*» [17, с. 88]. Данный подход имеет, помимо прочего, своё применение при расчёте укрупнённых показателей стоимости, о чём упоминалось ранее в работах автора [18]. Укрупнение нормативных показателей сметной стоимости с привязкой к упомянутым «конструктивным коэффициентам» позволяет определять эффективные варианты по критерию минимума капитальных затрат. Экономические последствия эксплуатационной фазы обладают иными

свойствами — структура измерителей затрат и их вероятностные характеристики не позволяют привязывать их к проектным решениям. По этой причине для выбора эффективного решения целесообразно агрегирование показателей капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

Наиболее распространённый метод — использование приведённых строительно-эксплуатационных затрат в качестве сравнительного критерия. Его применение в отечественной практике предшествовало современным подходам к сравнению на основе дисконтированных потоков [19], однако в настоящее время сохраняется возможность сравнения отдельных технических решений на основе приведённых затрат. Речь идёт, в основном, о конструктивных элементах сооружения, не имеющих обособленного экономического значения, и не влияющих на технологическую модель сооружения. Примером могут выступать разные варианты опор, фундаментов, облицовочных материалов при условии сохранения габаритов, нагрузок и надёжности сооружения в целом. Сходным путём определима эффективность замены одних типов водопропускных искусственных сооружений на другие — малых мостов на трубы.

В соответствии с требованиями действующих методических документов следует применять дисконтирование денежных потоков, в том числе при внедрении инноваций. Поскольку рассматриваемые вопросы применения новых решений в проектах перспективных скоростных линий составляют ядро проблемы выбора оптимального инфраструктурного комплекса, следует при рассмотрении российского примера обратиться к СТО РЖД 08.005-2011 «Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Порядок оценки эффективности инновационных проектов». В качестве основных показателей для сравнения указаны: чистый дисконтированный поток, индекс доходности и срок окупаемости. Для рассматриваемой в статье задачи выбора в рамках крупного инвестиционного проекта автором предложен критерий  $K_b$ , представляющий собой дисконтированный поток:

$$K_b = NPV = \sum_{t=1}^T CF_t (1+r)^{-t},$$



где  $CF_t$  — годовой денежный поток, обусловленный вариантом инновационного решения;

$E$  — ставка дисконтирования;

$T$  — расчётный период.

В этом случае предполагается наличие определенных финансовых потоков, которые возможно связать с каждым вариантом технического решения, при этом нет необходимости при каждом расчёте корректировать срок окупаемости всего проекта. Нелинейность относительно времени задаётся через стандартный множитель  $(1+E)^{t-1}$ . Такая процедура расчёта весьма удобна и оправдана для комплекса железной дороги, когда модель доходов от перевозочной или иной деятельности находится в одной концептуальной модели. Если же речь идёт об элементе транспортной инфраструктуры, в том числе о расширении сферы его применения в проекте, доходная часть потока непосредственным способом определена быть не может. Возникает ситуация методического «распутья», когда имеется несколько решений задачи, и выбор определяется степенью квалификации, свободы и заинтересованности субъекта.

Основываясь на этом, становится возможным выполнять стоимостное сравнение в вариантной постановке, избегая полного расчёта затрат по традиционной структуре сметной стоимости. К преимуществам этого метода следует отнести также и то, что отсутствует формальная необходимость индексации затрат. Содержание показателей определяется действующей технологией создания продукции на момент расчёта. Это равнозначно принципам учёта технологической модели при проектировании сметных норм, когда единожды учтённая технология существует в нормативной базе, обеспечивая не только расчёт абсолютных показателей стоимости, но и точность при сравнительном экономическом анализе.

Для разрешения вопроса об эффективных сферах применения таких конструкций, следует опираться на имеющийся опыт сооружения высокоскоростных магистралей. В настоящее время наиболее подходящей моделью при проектировании сети ВСМ следует считать китайскую систему высокоскоростных железных дорог. Причин этому можно привести несколько:

- территориальная схема полигона, его размеры, густота сети и расположение районов тяготения в большей степени соответствуют российским условиям, чем аналогичные показатели европейских и, тем более, японских ВСМ;

- преобладающие геоморфологические формы и климатические особенности северной части Китая являют собой достаточные по уровню сложности условия трассирования;

- климат в северных провинциях Китая предъявляет похожие требования к строительству и эксплуатации как насыпей, так и эстакад;

- система землепользования и относительные показатели стоимости отчуждения земель аналогичны российскому Нечерноземью. Здесь же следует отметить сопоставимый с Россией уровень экологических требований, который ограничивает отдельные проектные решения.

Однако наряду с общими чертами, существуют и серьёзные различия, связанные преимущественно с различным технологическим уровнем строительного комплекса России и всех государств с развитой сетью ВСМ. Особенностью российского железнодорожного строительства является традиционное развитие механизированных комплексов для постройки земляного полотна. Благодаря этому, в настоящее время выполнение больших объёмов земляных работ перестало быть определяющим фактором при выборе варианта трассы. Данный аспект наиболее значим для железнодорожных линий с руководящими уклонами более среднего уклона местности.

Это обуславливает довольно большое значение практической высоты перехода от насыпи к эстакаде. Под практической высотой в данном случае следует понимать устоявшуюся в практике проектной деятельности среднюю высоту насыпи при переходе к эстакаде. Такой переход традиционно имеет применение на подходах к мостам через определённые преграды, вопрос же замены насыпи эстакадой на протяжённых участках трассы без наличия локализованных пересекаемых преград в отечественной практике до начала активного роста городских агломераций в последние десятилетия массово не рассматривался. Эстакадные участки взамен насыпей стали появляться в проектных реше-

ниях в городах и в сложных инженерно-геологических условиях при проектировании нескоростных железных дорог. Даже насыпи высотой более 20 метров являлись конкурентоспособными ввиду технологической освоенности их сооружения ещё в начале XX века [20, с. 262]. Во многом этому способствовала ремонтпригодность верхнего строения пути на балласте, позволявшая компенсировать осадки земляного полотна досыпкой балластной призмы.

Появление высокоскоростных линий, устраиваемых на безбалластном пути, сразу же определило новый уровень требований к допустимым деформациям системы «основание—насыпь». Невозможность производить выправку пути традиционным способом предполагает малые осадки в процессе эксплуатации, причём настолько малые, что обеспечить их при традиционных конструкциях земляного полотна практически невозможно. Конструктивные особенности насыпей высокоскоростных магистралей можно рассмотреть на примерах достаточно развитой сети высокоскоростных линий Китая. В качестве мер по снижению величины эксплуатационной осадки применяется комплексный подход, включающий в себя устройство свайного основания насыпи, армогрунтовых конструкций — георешёток, укладку бентонитовых матов, повышенное уплотнение тела насыпи и, наконец, замену верхней части насыпи на защитные слои. Такое насыщение земляного полотна инженерными решениями приводит к значительному росту сметных затрат на километр трассы. Также при сравнении с насыпями следует учитывать и более широкую основную площадку при высокоскоростном движении — 14,2 м.

Усиление насыпей представляет собой синтез из известных ранее технических решений, но массовой практики усиления в отечественном железнодорожном строительстве не имеется в виду особых динамических взаимодействий [21]. По этой причине анализ затрат на усиление требует сопоставления используемых технологий как в России, так и за рубежом. Основной критерий сравнения отдельно взятого мероприятия — погонная стоимость на 1 км трассы. При этом учёту подлежат особенности мероприятия усиления, присущие другим видам строительства, где в состав проектов вклю-

чаются новые виды работ и конструкций по укреплению земляных масс.

Недостаточная для удовлетворения требований Специальных технических условий прочность основания насыпи вызывает необходимость устройства сплошного свайного поля с гибким ростверком из георешётки [22]. Гибкий ростверк из георешётки имеет стоимость строительно-монтажных работ в размере 7,70 руб. на 1 м<sup>2</sup> в базисных ценах на 01.01.2000 г. Учитывая, что по проекту ВСМ на 221 тыс. м<sup>3</sup> буронабивных свай (БНС) приходится 790 тыс. м<sup>2</sup> георешётки, на 1 м<sup>3</sup> БНС можно отнести 3,57 м<sup>2</sup> георешётки. Соотнесение данного показателя с зарубежным аналогом (Китай) показывает идентичность в конструкциях системы «свай—ростверк», однако доля участков с подобным видом усиления в отечественном проекте ВСМ значительно ниже, что снижает капиталоемкость строительства в целом. Следует отметить, что в практике ВСМ Китая применяются свайные основания с жёстким ростверком в уровне бровки насыпи, что напоминает, скорее, упрощённую обсыпную эстакаду.

Суммарная стоимость СМР для усиления основания по типу «БНС + гибкий ростверк» составляет от 15 до 31 тыс. руб. на 1 км трассы в базисных ценах. Причём стоимость зависит, прежде всего, от средней высоты насыпи, что показал анализ семи типов поперечных профилей на протяжении 70 км трассы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка проектных затрат на устройство насыпи, сложенной песчаным и скальным грунтом, производится исходя из гипотезы о достаточной прочности основания для исключения повторного учёта факторов. Основным дифференцирующим признаком здесь также является высота насыпи. Для сопоставления приняты проектные данные по земполотну ВСМ (тип 1—17 на участке безбалластного пути). Данный тип представлен насыпью, сложенной гравийно-песчаными смесями и дренирующими грунтами. Для участка «км 97+580—Петушки» средняя стоимость СМР земполотна с учётом проектных решений представлена в табл. 1.

Стоимость работ по армированию земляного полотна геотекстилем для тех же



**Таблица 1**  
**Сметная стоимость СМР по сооружению**  
**земляного полотна, млн руб.**  
**на 1 км в базисных ценах**

Высота насыпи, м	Песок	Скальный грунт
8	34,4	63,5
10	46,0	90,4
12	58,2	120,0

высот насыпи составляет следующие величины (табл. 2).

Одним из возможных вариантов усиления основания земполотна является устройство свайного поля из забивных свай 40x40, что предусмотрено проектом на участке длиной 0,212 км в индивидуальном профиле И2. Средняя высота насыпи на этом участке составляет 8,5 м. Сметная стоимость СМР по устройству свай с ростверком составляет 110,7 млн руб. на 1 км земполотна в базисных ценах. Аналогичные показатели стоимости (с разбросом -8/+13 %) были получены при анализе рынка коммерческих предложений работ по свайному усилению автодорожных насыпей.

Все приведённые факты ориентируют на необходимость пересмотра действовавших ранее методов экономического обоснования сфер рационального применения искусственных сооружений. К тому же ориентируют и разработанные в России «Специальные технические условия на проектирование участка «Москва–Казань» высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва–Казань–Екатеринбург» со скоростями движения до 400 км/ч» (Согласование: Минстрой РФ 03.08.16 г. № 24651-ес03): «При проектировании земляного полотна должны быть рассмотрены варианты перехода пути с земляного полотна на эстакады и в тоннели. Решение о переходе на эстакады и в тоннели должно приниматься на основе технико-экономического сравнения вариантов конструктивных решений».

Технические критерии назначения могут определяться аналогично приведённым в [23], с учётом отечественных требований безопасности. Сравнение вариантов, в том числе и в целях поиска эффективных сфер применения, должно подчиняться действующим методикам определения экономической эффективности. Определение дисконтированных денежных потоков и расчёт показателей сравнительной экономической эффективности является приоритетным согласно ряду используемых в настоящее время Методических рекомендаций по составу и содержанию обосновывающих материалов по инвестиционным проектам (утв. ОАО «РЖД» 28.11.2016 г. № 2396р). Однако целесообразность применения такого подхода велика только для проектов, обладающих полнотой качеств как в затратной части, так и в возврате инвестиционных вложений. При этом различия между вариантами должны затрагивать большинство финансово-экономических свойств проекта. Подобное сравнение имеет большое значение в сравнительных расчётах между различными видами транспорта, при выборе варианта трассы с различными районами тяготения. Если же сравниваемые объекты представляют собой части большого комплекса сооружений и не обладают при этом различиями в денежных потоках возврата средств (выручки), то наилучшим способом сравнения является расчёт приведённых строительно-эксплуатационных расходов. Это позволяет достаточно простым путём получить локальный оптимум в большой системе, улучшая её итоговые экономические показатели. Также в этом случае возрастает значение стоимостных нормативов, поскольку детальный анализ сосредотачивает внимание именно на нормах затрат при строительстве и эксплуатации объекта, исключая их игнорирование в численно

**Таблица 2**  
**Сметная стоимость СМР по укреплению земляного полотна геотекстилем**

Высота насыпи, м	Стоимость на 1 км насыпи в базисных ценах, млн руб.	
	Геотекстиль плотностью 300 г/м <sup>2</sup> (2 слоя, типовое решение профиля И4)	Геотекстиль плотностью 600 г/м <sup>2</sup> (2 слоя, типовое решение профиля И1)
8	2,7	6,0
10	6,4	14,2
12	13,8	24,3

больших денежных потоках по проекту в целом.

Рассматриваемый вопрос характерен для случая выбора между земляным полотном и мостовым сооружением для высокоскоростного движения, причём затратные критерии сравнения в данной ситуации являются преобладающими, поскольку конкурируют между собой конструктивные части трассы, а общие экономические эффекты, получаемые в эксплуатации, неизменны. Приведённые строительно-эксплуатационные расходы  $\Theta_{пр}$  для переменных во времени значений определяются по формуле:

$$\Theta_{пр} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+E)^t} + (1-\gamma) \cdot \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+E)^t},$$

где  $K_t$  и  $C_t$  – соответственно капитальные вложения и эксплуатационные расходы (текущие затраты) на  $t$ -м шаге (году);

$\gamma$  – доля налоговых отчислений от прибыли.

Затраты на эксплуатацию инфраструктуры ВСМ на данный момент являются предметом отдельной дискуссии, это позволяет рассматривать задачу сравнения поэтапно, начиная с капитальных затрат в сооружение. На рис. 2 представлены капитальные затраты на строительство конкурирующих вариантов сооружений в зависимости от высоты насыпи.

Как видно из графика, в диапазоне рациональных разностей отметок трассы и земной поверхности (5–20 м) происходит «расслоение» затрат по вариантам без точек пересечения, т.е. вариант устройства земляного полотна конкурентоспособен вне зависимости от высоты насыпи. Вместе с тем следует отметить, что затратность того или иного варианта земполотна сильно зависит от степени его укрепления. Некоторые типы укрепления (с основанием насыпи на забивных призматических сваях) по стоимости сопоставимы с эстакадами. В свою очередь, эстакадный вариант дороги может быть удешевлён за счёт индустриализации производства и оптимизации конструктивных решений.

Особенностью определения капитальных затрат на строительство объектов инфраструктуры ВСМ является новизна конструкций и технологий для отечественного

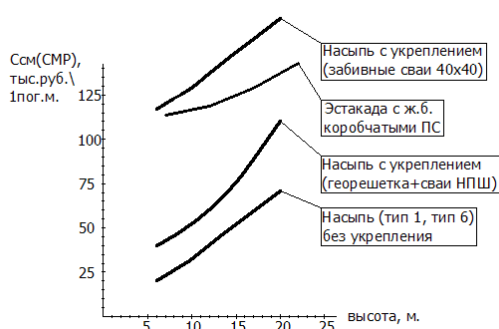


Рис. 2. Сопоставление сметной стоимости СМР для насыпи и эстакады.

строительства. Вследствие этого возникла проблема достоверности при определении сметной стоимости конструкций, в частности пролётных строений эстакад, безбалластного пути, насыпей. Результаты проведённых ранее исследований свидетельствуют о том, что обязателен анализ имеющихся особенностей определения сметной стоимости пролётных строений и выработка рекомендаций по повышению точности. Для реализации этих задач следует рассматривать не только конструкцию пролётных строений, а комплекс конструктивных, технологических и организационных решений, учтённых в проекте постройки моста.

В результате анализа проектной документации, а также сопоставления с имеющимися документами сметно-нормативной базы были выявлены спорные вопросы в расчёте инвестиционных затрат на рассматриваемые сооружения.

Использование ряда сметных норм и расценок для мостовых конструкций нельзя считать обоснованным. Так расценка ОЕРЖ 30-02-005-05 на монтаж железобетонных пролётных строений мостов под один железнодорожный путь длиной до 34,3 м консольными кранами разработана для типовых сборных двухблочных пролётных строений. Ресурсно-технологическая модель, учтённая при этом, сильно отличается от ожидаемой технологии при установке коробчатых балок под два пути шлюзовым краном. Максимально возможной в существующей нормативной базе является замена учтённого в расценке монтажного крана ГЭПК на железнодорожном ходу на кран



Gottwald АМК-306-83, который по своим характеристикам непригоден для монтажа проектируемых пролётных строений. Поскольку пролётные строения для ВСМ проектируются двухпутными, возникает необходимость привязки расценки (с измерителем «пролётное строение под 1 путь») к проектным объёмам работ. В такой ситуации объективность оценки предстоящих затрат на монтаж путём применения имеющейся расценки с коэффициентом, равным двум, можно связывать только со случайным везением. Аналогичным образом обстоит дело с применением норм на транспортировку пролётных строений – ОССПЖ 01-01-01-050, 04-02-01-025, 04-02-01-026, 01-01-02-050, учитывающих гораздо более лёгкие изделия и иные тележки. Затраты на устройство (бетонирование) пролётных строений имеется возможность учесть по расценке ОЕРЖ 30-02-024-01, которая учитывает простую деревянно-фанерную опалубку. При бетонировании коробчатых балок в пролёте предполагается использование специального переставляемого комплекта подмостей и опалубки, конструкция и состав работ для которых значительно отличаются от учтённых расценкой.

Описанная ситуация при проработке проекта ВСМ связана вовсе не с ошибкой либо умыслом, а со своего рода безысходностью, поскольку в сметно-нормативной базе отсутствуют соответствующие нормы и расценки, в том числе на требуемые машины и механизмы. Для относительно небольших проектов, где новые конструкции измеряются единицами, допустимым является метод искусственной привязки несоответствующих расценок. Автором определено, что, например, снижение стоимости пролётных строений на один процент обеспечивает экономический эффект порядка 5 млн руб. на километр трассы. В проекте предполагается почти 64 километра эстакад упомянутой конструкции, поэтому абсолютная величина возможной ошибки является значимой в общей сумме сметной стоимости строительства. В этой связи следует считать экономически целесообразным рассмотреть вопрос об инициации процесса разработки недостающих норм и расценок, а также затрат на эксплуатацию машин с последующим включением в реестр феде-

ральных сметных нормативов согласно приказу Минстроя № 413 от 02.06.2015 г.

Отмеченная особенность не позволяет считать возможным использование учтённых элементов прямых затрат при последующем расчёте бюджета проекта, при взаиморасчётах и т.д. Требуется конкретизация проектных решений и превращение их в типовые для транспортного строительства [24], в том числе путём восполнения пробелов в сметно-нормативной базе. Это позволит не только решить проблемы выбора в рамках проекта, но и обогатит методологию управления развитием качества объектов сложной природы, к которым относится инфраструктура высокоскоростного транспорта [25].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспертно-аналитическая деятельность, развёрнутая в настоящее время вокруг темы строительства в России высокоскоростных железных дорог, поднимает ряд научных и практических проблем, обладающих методической новизной и базирующихся на иной нормативно-технической модели. Автором выполнен анализ затрат проекта в части искусственных сооружений и земляного полотна, включая его укрепление. Для этого осуществлён обзор отечественных и зарубежных подходов к критериальной оценке проектных решений, рассмотрено практическое применение понятий рациональных сфер применения конструкций. Решение прикладных задач выбора выполнено на примере наиболее капиталоемких элементов инфраструктуры – насыпей и эстакад. Полученный результат достаточно интересен с точки зрения выбора путей совершенствования проектного дела и сметных нормативов. В настоящее время все возможные принципиальные варианты устройства магистрали обладают монотонными различиями в общей величине капитальных затрат на всём диапазоне высот. Это приводит нас к выводу о том, что поиск глобального результата в виде снижения инвестиций на проект ВСМ в целом должен вестись в плоскости конструктивно-технологического совершенствования отдельных элементов инфраструктуры. При этом результат трассирования магистрали определяет затратность её сооружения преимущественно за счёт плана пути, т.е. про-

тяжённости, наличия кривых и т.п. Высотные же ситуации на продольном профиле являются менее значимыми, что отличает проект ВСМ от традиционных железных дорог. Традиционные решения, основанные на оптимизации конструкций, при проектировании ВСМ ограничиваются возросшими требованиями технических условий по динамике, безопасности, экологии. Серьёзным фактором, осложняющим сопоставительную стоимостную оценку, является некомплект сметно-нормативной базы в части норм и расценок на принципиально новые работы.

Поднятые проблемы являют собой перспективный путь развития экономики транспортного строительства в сфере высокоскоростного железнодорожного транспорта.

## ЛИТЕРАТУРА

- Jandová, M., Tomeš, Z., Nash, C. High-speed rail for Central and Eastern European countries: a conference report. *Review of Economic Perspectives*, October 2016, Vol. 16, Iss. 3, pp. 269–275. DOI: 10.1515/revepc-2016–0016.
- Varela, C. V., Navarro, J. M. M. High-speed railway and tourism: is there an impact on intermediate cities evidence from two case studies in Castilla-la Mancha (Spain). *Journal of Urban and Regional Analysis*, January 2016, Vol. 8, Iss. 2, pp. 133–158. [Электронный ресурс]: <https://www.questia.com/library/journal/1P3-4321311781/high-speed-railway-and-tourism-is-there-an-impact>. Доступ 21.09.2019.
- Zhong, Shuoqiao; Xiao, Xinbiao; Wen, Zefeng; Jin, Xuesong. The effect of first-order bending resonance of wheelset at high speed on wheel–rail contact behavior. *Advances in Mechanical Engineering*, January 2015, Vol. 5, pp. 296106–296106. DOI: 10.1155/2013/296106.
- Ван Ю., Цзинь Л., Ван С. Развитие железных дорог и анализ ситуации в Китае. В сб.: *Современные аспекты транспортной логистики. Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвящённой 70-летию кафедры «Технология транспортных процессов и логистика»*. – 2014. – С. 13–18.
- Щевьев Ю. Л., Смирнов Ю. А., Войтенко Е. В. Целесообразность применения эстакад вместо высоких насыпей на подходах к мостам. В сб.: *Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (Геориск-2015). Материалы IX Международной научно-практической конференции*. – 2015. – Т. 2. – С. 435–440.
- Зайцев А. А., Красковский В. Е., Терлецкий С. К. Эстакады или насыпь: нужен разумный подход // *Дороги. Инновации в строительстве*. – 2012. – № 19. – С. 18–21.
- Красковский В. Е. Общие вопросы проектирования искусственных сооружений на дорогах с использованием магнитолевитационной технологии. В сб.: *Магнитолевитационные транспортные системы и технологии. МТСТ'14 Труды 2-й Международной научной конференции*. – 2014. – С. 75–80.
- Соловьёв В. В. Отраслевые особенности определения укрупнённых показателей стоимости строительства // *Экономика железных дорог*. – 2016. – № 6. – С. 46–55.
- Белозёров О. В. Цели холдинга «РЖД» // *Гудок*, 8 декабря 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1395857&archive=2017.12.08>. Доступ 21.09.2019.
- Yang, H. W. Performance of pile foundation for the civil infrastructure of high speed rail in severe ground subsidence area. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 2015, Vol. 372, pp. 525–528. DOI: 10.5194/piahs-372-525-2015.
- Pagliara, F., Biggiero, L., Patrone, A., Peruggini, F. An analysis of spatial equity concerning investments in high-speed rail systems: the case study of Italy. *Transport Problems*, 2016, Vol. 11, Iss. 3, pp. 55–68. DOI: 10.20858/trp.2016.11.3.6.
- Xueqiao, Yu; Maoxiang, Lang; Yang, Gao; Kai, Wang; Ching-Hsia, Su; Sang-Bing, Tsai; Mingkun, Huo; Xiao, Yu; Shiqi, Li. An empirical study on the design of China high-speed rail express train operation plan – from a sustainable transport perspective. *Sustainability*, 2018, Vol. 10, Iss. 7, p. 2478. DOI: 10.3390/su10072478.
- Caiyou, Zhao; Ping, Wang; Qiang, Yi; Duo, Meng. Viability analysis of waste tires as material for rail vibration and noise control in modern tram track systems. *Shock and Vibration*, 2015, Vol. 2015, Article ID725808, 12 p. DOI: 10.1155/2015/725808.
- Поляков В. Ю. Оптимизация переходных зон мостов на ВСМ // *Мир транспорта*. – 2017. – № 5. – С. 54–67.
- Sa'adin, S., Kaewunruen, S., Jaroszweski, D. Risks of climate change with respect to the Singapore–Malaysia high speed rail system. *Climate*, 2016, Vol. 4, p. 65. DOI: 10.3390/cli4040065.
- Yuxiang Wang; Xueli Liu; Feng Wang. Economic impact of the high-speed railway on housing prices in China. *Sustainability*, 2018, Vol. 10, Iss. 12, p. 4799. DOI: 10.3390/su10124799.
- Фридкин В. М. Принципы формообразования в теории линейно-протяжённых сооружений. – М.: Ладыя, 2006. – 512 с.
- Соловьёв В. В., Кузнецова А. Э. Моделирование стоимостных нормативов для объектов железнодорожного строительства // *Экономика железных дорог*. – 2016. – № 12. – С. 44–51.
- Тарасенко А. А. Ретроспектива формирования показателей оценки эффективности инвестиций // *Экономика и управление*. – 2006. – № 3. – С. 131–134.
- Веригин Ф. Н. Курс земляных работ. – Л.: Госизд-во, 1930. – 312 с.
- Zbiciak, A., Oleszek, R., Michalczyk, R. Dynamics of an orthotropic railway bridge in the light of european standards. *Archives of Civil Engineering*, 2016, Vol. 62, Iss. 2, pp. 265–282. DOI 10.1515/ace-2015-0078.
- Евтюков С. А., Медрес Е. П. Строительство дорожных насыпей на слабых грунтах: подходы и методы // *Наука и транспорт. Транспортное строительство*. – 2012. – № 4. – С. 31–33.
- Li, Guangkai; Ai, Bo; He, Danping; Zhong, Zena; Hui, Bing; Kim, Junhyeong. On the feasibility of high speed railway mmWave channels in tunnel scenario. *Wireless Communications and Mobile Computing*, October 2017, pp. 1–17. DOI: 10.1155/2017/7135896.
- Волков Б. А., Соловьёв В. В. Недвижимость железнодорожного транспорта // *Россия Недвижимость: экономика, управление*. – 2013. – № 2. – С. 128–130.
- Майборода В. П., Титов А. В. Моргун М. Ю. К проблеме разработки систем оценки и управления качеством сложных объектов // *Качество. Инновации. Образование*. – 2016. – № 8–10. – С. 84–93.

