

Безбалластная конструкция пути: история, современность, перспективы развития в России



П. Е. Цыпин,
к.э.н., доцент кафедры
«Экономика строитель-
ного бизнеса и управле-
ние собственностью»
Российского университета
транспорта (МИИТ)



А. Д. Разуваев,
старший преподаватель
кафедры «Экономика
строительного бизнеса
и управление собствен-
ностью» РУТ (МИИТ)

Строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей в России требует сегодня большей ясности в вопросе использования безбалластной конструкции железнодорожного пути. В этой связи целесообразно проанализировать различные ее варианты с учетом опыта зарубежных стран, обозначить перспективы развития безбалластного пути на российских железных дорогах.

Подрельсовое основание является составной частью единой конструкции железнодорожного пути и одним из наиболее ответственных элементов верхнего строения пути (ВСП). С начала строительства в нашей стране первых железных дорог основным типом подрельсового основания стали шпалы. Качественное изменение шпал с течением времени определялось развитием научно-технического прогресса, появлением дополнительных знаний о процессе их работы в пути, различными условиями эксплуатации, технико-экономическим обоснованием, а также исходным материалом для их изготовления [16].

На протяжении более 100 лет используется достаточно простая и универсальная классическая конструкция пути: рельсы, рельсовое скрепление, шпалы и щебеночное или песчаное основание. Накоплен колоссальный опыт ее эксплуатации. С повышением скорости движения и ростом требований к качеству пути появился новый вариант [17]: путь без балласта с опиранием рельсов на монолитное основание, или безбалластная конструкция пути (БКП).

Вся транспортная инфраструктура, в частности конструкции, используемые в железнодорожном строительстве, постоянно совершенствуется. Параллельно с улучшениями земляного полотна идут исследования и модификация ВСП. Концепция ВСП неизменна на протяжении долгого времени: балластный слой, подрельсовое основание (шпалы, блоки, лежни, монолитная конструкция и т. д.), скрепление и рельс. Это основные компоненты. Безусловно, со временем материалы, используемые для со-

оружения данной конструкции, претерпевали изменения, от незначительных до революционных.

В конце XIX века во Франции, Италии, Германии, Венгрии, России, США и некоторых других странах были проведены первые опыты по исследованию возможности эксплуатации железобетонного подрельсового основания. В нашей стране, на Екатерининской дороге, построенной в 1882–1904 гг., испытывали путь с монолитной бетонной плитой и продольными металлическими лежнями. В 1903 г. были изготовлены и испытаны в лаборатории Института инженеров путей сообщения (Санкт-Петербург) первые в России железобетонные шпалы.

Несовершенство первых конструкций железобетонных шпал очевидно. Так, в отсутствие предварительного напряжения шпалы легко повреждались, что определило их незначительное распространение на отечественных железных дорогах. И лишь спустя три десятилетия после проведения в нашей стране первых опытов по укладке и эксплуатации пути на железобетонных шпалах была предложена конструкция шпал, где предусматривалось предварительное сжимающее бетон напряжение.

В середине прошлого века практически на всем протяжении железных дорог СССР были уложены деревянные шпалы, а железобетонное основание только набирало обороты. Но полигон использования железобетонных шпал рос каждый год. К 1967 г. в СССР железобетонные шпалы были уложены более чем на 8 тыс. км путей (развернутая длина всех главных путей была тогда 171,2 тыс. км). А в 1977 г. они эксплуатировались более чем на 45 тыс. км пути.

К 70-м годам ежегодные объемы укладки были доведены до 4,4–4,5 тыс. км, а в середине 80-х годов они превысили 4,7 тыс. км [26].

Сегодня железобетонная шпала представляет собой основную конструкцию железных дорог. При этом, ввиду постоянного совершенствования конструкций, материалов и технологий изготовления, увеличения скорости движения и осевых нагрузок, стремления к оптимизации затрат на текущее содержание, находят свое применение и БКП, т. е. путь на жестком основании.

Достичь оптимизации ВСП на балласте возможно путем реализации нескольких вариантов (рис. 1).

Предпосылки к переходу от традиционной конструкции пути (РШР на балласте) к БКП:

- расстройство геометрии пути при повышении скорости движения и осевых нагрузок (у БКП более стабильная геометрия пути);
- участки неравножесткости традиционной конструкции пути, в частности в районе стрелочных переводов;
- работы, связанные с текущим содержанием пути;
- вылет щебенки при высокой скорости движения;
- необходимость принимать меры по укреплению, скрыванию балластной призмы для ее упрочнения;
- возможность изготовления пути «на месте» (монолитные железобетонные конструкции);
- необходимость принимать меры по увеличению опорной площади шпал;
- снижение трудозатрат на обслуживание пути;
- повышенная устойчивость к выбросу пути в случае БКП;
- в случае эстакадного варианта участков линии — единство железобетонных конструкций (сведение к минимуму количества переходных участков);
- зарубежный опыт; практически все новые ВСП в Китае, Японии и других странах сооружены с применением БКП;
- меньшая строительная высота конструкции;
- возможность перемещения автотранспорта по БКП.

Рассмотрим кратко опыт использования БКП [14, 31]. Блочные конструкции ВСП широко используются во всем мире, особенно на протяжении четырех последних десятилетий, что вызвано повышением скорости на железных

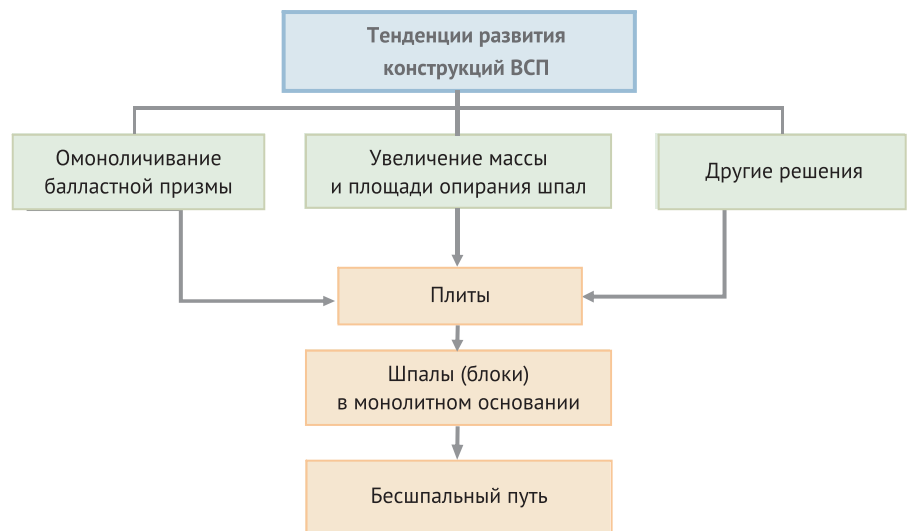


Рис. 1. Тенденции развития конструкций верхнего строения пути [29]

дорогах и увеличением массы тяжелых грузовых поездов. Для создания и развития скоростных и высокоскоростных железных дорог безбалластное подрельсовое основание может оказаться эффективнее и безопаснее, чем традиционный путь на балласте.

Путь, уложенный по технологии БКП (или, как его еще называют, путь на жестком основании), практически не нуждается в ремонте. По словам профессора Мюнхенского технического университета, д. т. н. Вальтера Шталя, на станции Реда (Германия), где впервые была использована такая конструкция, проведено только одно серьезное техобслуживание. «То есть с 1972 года путь там существует почти в первоизданном состоянии» [6], — подчеркивает он.

Безбалластный путь считается более дорогим, чем путь на балласте: расходы на укладку в первом случае примерно в 1,3–1,5 раза выше. Однако если проанализировать затраты в течение срока службы, то с учетом сокращения на 30–80 % расходов на текущее содержание и ремонт, путь на жестком основании обходится дешевле [18].

Одно из преимуществ применения БКП заключается в снижении трудозатрат, связанных с работами по устройству, ремонту и текущему содержанию пути в тоннелях и метрополитене. Балластная призма в замкнутом пространстве тоннеля интенсивно засоряется сыпучими грузами с открытого подвижного состава, а также вследствие повышенного измельчения щебня, который, находясь между шпалами и твердым основанием, при проходе поездов усиленно вибрирует и истирается [2].

В результате экспериментов установлено, что напряжение в щебне в таких условиях больше на 40 % по сравнению с открытыми участками. Загрязнение балласта не только уменьшает упругость пути в тоннеле и увеличивает его расстройство, но и задерживает воду. В зимний период это приводит к появлению пучин и наледей. Проведение работ в таких условиях по сравнению с открытыми участками значительно усложняется, а затраты на их выполнение увеличиваются. Очистка щебня в тоннелях, входящая в группу самых трудоемких видов работ, до последнего времени выполнялась вручную [8].

Другое преимущество безбалластного пути, обеспечивающее безопасность движения и улучшение эксплуатационных характеристик, состоит в сведении к минимуму действия человеческого фактора.

Как следствие, в случае использования БКП улучшается стабильность геометрических параметров при укладке рельсошпальной решетки, к которым в последнее время предъявляются все более серьезные требования. Малообслуживаемость БКП ведет к сокращению приведенных затрат в связи со снижением предоставления «окон» на текущее содержание. За счет использования БКП повышается сопротивление сдвигу пути в поперечном направлении. Это следует расценивать как значительное преимущество при решении проблем, связанных с температурным выбросом пути. На рис. 2 отражены основные преимущества использования БКП на эстакаде.

Сравнительный анализ традиционной и безбалластной конструкций пути приведен в таблице.

Сравнение конструкций пути

Свойство конструкции	Путь на балласте	Безбалластный путь
Низкие капитальные затраты на строительство	+	-
Низкие затраты на текущее содержание	-	+
Возможность регулировки геометрии рельсовой колеи	+	-
Восстановление пути после чрезвычайных ситуаций	+	-
Устойчивость бесстыкового пути	-	+
Малообслуживаемость	-	+
Гашение шума и вибрации	+	-
Удобство применения на искусственных сооружениях и в стесненных условиях (мосты, тоннели, эстакады)	-	+

Видно, что безбалластный путь имеет преимущество в части эксплуатации на мостах, эстакадах и в тоннелях, характеризуется удобством монтажа. Путь на жестком основании предпочтителен вследствие низких затрат на текущее содержание и малообслуживаемости. Путь на балласте отличают низкие затраты на строительство, он более универсален: подходит для различных условий эксплуатации и подлежит восстановлению после чрезвычайных ситуаций. Кроме того, такая конструкция пути имеет преимущества по гашению шума и вибрации. Устойчивость бесстыкового пути на БКП к температурному выбросу имеет особое значение на участках применения вихретоковых тормозов, что приводит к дополнительному нагреву рельсовых плетей [19].

Массовое использование БКП началось в 70-е годы XX века, когда были запущены их серийное производство, регистрация множества патентов и первые серьезные испытания. Но указан-

ный период времени не следует считать отправной точкой для создания БКП, потому что, как говорилось ранее, первые опытные конструкции появились в первой половине XX века.

Стоит отметить использование системы БКП Японскими национальными железными дорогами. Эксплуатация конструкции Shinkansen берет свое начало в 70-е годы. Путь, сконструированный по данной технологии, имеет превосходные показатели по текущему содержанию, стабильной геометрии, отмечается тенденция к снижению эксплуатационных затрат. При конструировании БКП Японские железные дороги придерживаются следующих требований:

- 1) стоимость БКП должна превышать не более чем на 30% стоимость традиционной конструкции пути на балласте;
- 2) упругость БКП должна быть аналогичной упругости пути на балласте;
- 3) скорость сооружения должна быть максимально возможной;

4) конструкция БКП должна предусматривать возможность регулировки геометрических параметров в вертикальном и в поперечном направлениях для учета возможных деформаций.

До середины 70-х годов, когда стали проводить испытания БКП на земляном полотне, многие конструкции использовались в тоннелях или на мостах [10].

Стоимость первоначальной конструкции Shinkansen на 24 % дороже, чем конструкция пути на балласте. Согласно прогнозу, вследствие относительно небольшого текущего содержания, превышение первоначальной стоимости окупится за 12 лет эксплуатации. К тому же прогнозируемые трудозатраты должны быть ниже на 30 % аналогичных для традиционной конструкции пути. К 1990 г. по БКП типа Shinkansen было перевезено 10–15 млн т брутто. Сегодня специалисты оценивают состояние пути как хорошее, но отмечают повышенное трещинообразование и искривление плит, свойственное всем БКП. В целом, на различных участках пути экономия при текущем содержании составила от 18 до 33 % по сравнению с конструкцией пути на балласте [23].

Безбалластная конструкция пути нашла свое применение и в Евротоннеле. Путь уложен по технологии LVT (компании Sonnevile), и к 2000 г. по нему было перевезено 264 млн. т брутто, а скорость пассажирских поездов достигала 200 км/ч. Отличительная особенность указанной конструкции пути — железобетонные полушпалы, находящиеся в резиновых чехлах и частично погруженные в монолитное железобетон-

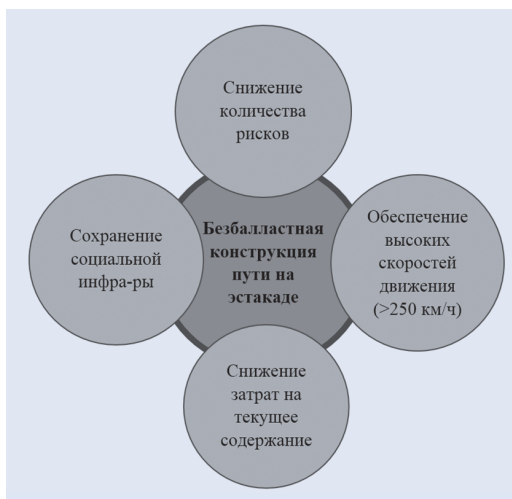


Рис. 2. Преимущества использования безбалластной конструкции пути на эстакаде

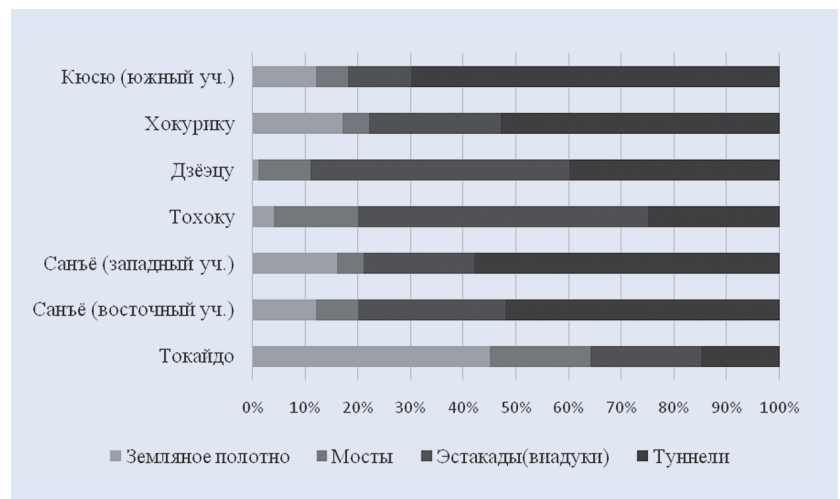


Рис. 3. Инфраструктура высокоскоростных железных дорог Shinkansen в Японии

ное основание, строительство ведется «сверху-вниз». Конструкции пути, реализованные по данной технологии, можно встретить в различных странах мира, в том числе и в России [7].

С 1970 г. в Нидерландах используется система ERS, т. е. система «встроенного» рельса. Такая конструкция обеспечивает непрерывное опирание рельса на всем протяжении. Она применяется для скоростного трамвая в ряде европейских стран и на мостах. Систему ERS целесообразно использовать при преобразовании верхнего уровня в дорожные покрытия для движения других транспортных средств. По этой технологии в Нидерландах разработана и система Edilon, предназначенная в основном для мостов и тоннелей. К 2001 г. ее использовали на железных дорогах в Нидерландах (участок протяженностью 100 км) и в метро Мадрида (участок протяженностью 100 км). Усовершенствованная система непрерывного опирания рельса носит название Deck-Track. Открытый в 1999 г. участок длиной 200 м у Роттердама используется в основном для грузового движения. Тогда специалисты не могли дать точных прогнозов по окупаемости и экономической эффективности такой БКП.

Рассматривая опыт использования пути на жестком основании зарубежных стран, стоит отметить исследования в Германии, продолжающиеся многие десятилетия. В 1996 г. Железные дороги Германии (DB) проводили опытное испытание семи БКП. Приблизительно 340 км было уложено на полигоне железных дорог. В группу самых эксплуатируемых БКП в мире входит конструкция RHEDA, созданная в Германии. Проект по ее созданию и опытной эксплуатации начался в 70-х годах XX века. Железные дороги Германии считают приемлемой для строительства пути с применением БКП стоимость, увеличенную в 1,4 раза по сравнению с традиционной конструкцией пути. Прогнозируется, что более высокая начальная стоимость будет компенсирована будущей экономией затрат на текущее содержание и отменой «окон» [25].

Современное развитие железных дорог требует от конструкции пути выхода на новые горизонты и более продолжительного ресурса (срока службы) без значительных затрат на текущее содержание и ремонты. Речь идет о повышении скорости движения поездов и их массы; возможности создания полигона

сети ВСМ; снижении текущих затрат на содержание инфраструктуры. Путь, который призван выполнять эти задачи, должен быть прочным, доступным и практичным [11–13].

Традиционный путь на балласте служит железнодорожной отрасли в течение последних 160 лет. Данная конструкция пути будет удовлетворять потребностям отрасли и в последующие годы. Но существующие типы БКП служат основой для дальнейшего совершенствования конструкции пути: прочность плитной конструкции ВСП и ее долговечность превосходят альтернативные варианты [30].

Стоит отметить японский опыт применения БКП на искусственных сооружениях, в частности на эстакаде. Сегодня многие специалисты признают, что на мостах, путепроводах, эстакадах (виадуках) и в тоннелях (рис. 3) по ряду причин целесообразно укладывать БКП. Если на трассе ВСМ протяженность искусственных сооружений велика, то и на всем протяжении пути, скорее всего, стоит использовать безбалластные конструкции [9].

Япония как ни одна другая страна в мире испытывает трудности с плотной городской застройкой и со сложными инженерно-геологическими условиями. Поэтому японские высокоскоростные железные дороги сделали ставку при строительстве ВСМ на искусственные сооружения [32]. Как известно, эстакады создают вместо высокой насыпи в городах, где они меньше стесняют улицы и обеспечивают проезд и проход под ними. Их возводят при подходах к большим мостам через реки с широкими поймами. Из этого следует, что строительство эстакад приведет к формированию социального эффекта и сведет к минимуму неблагоприятные процессы, происходящие в теле насыпи.

Многие ученые и специалисты, рассматривая проблему строительства эстакад вместо высоких насыпей, выделяют следующее [4]:

1) отпадает необходимость в устройстве продольного водоотвода, а также в строительстве малых и средних водопропускных сооружений;

2) при заделке фундаментов опор эстакады в скальные и полускальные геомассивы оснований уменьшается негативное влияние геокриологических и других неблагоприятных факторов на условия безопасной эксплуатации железнодорожной линии;

3) применение эстакад взамен высоких насыпей существенно снижает потребность в притрассовых карьерах строительных материалов, используемых для отсыпки насыпей и притрассовых автодорог;

4) теряется актуальность устройства ограждения железнодорожного пути, препятствующего проникновению людей и животных.

В условиях плотной городской застройки и высокой стоимости земли при строительстве железнодорожной линии (в частности, ВСМ), при сложных природно-климатических условиях появляются дополнительные факторы в пользу строительства эстакад и на меньших высотах:

1) возможность круглогодичного возведения эстакад;

2) значительное уменьшение занимаемой территории при строительстве;

3) при строительстве БКП предъявляются повышенные требования к возведению земляного полотна, в отличие от требований для традиционной конструкции пути; как следствие, удорожание стоимости на всех этапах строительства;

4) сохранность текущего уровня миграции при строительстве эстакады и сложившейся социальной инфраструктуры;

5) меньшее обслуживание эстакады по сравнению с высокой насыпью.

Проанализируем современное развитие БКП на отечественных железных дорогах. Одна из наиболее массовых и серийно выпускаемых БКП — железобетонная плита безбалластного мостового полотна (БМП). Плиты БМП применяются на металлических пролетных строениях эксплуатируемых и вновь строящихся железнодорожных мостов. Первые плиты БМП появились в начале 70-х годов. Результаты исследования БМП в НИИ мостов свидетельствовали о их более высокой эффективности и экономической выгоде при их использовании [20, 21]. С конца 80-х годов БМП стали массово применяться при реконструкции старых и строительстве новых железнодорожных мостов [5].

Локализацию в России получила конструкция LVT (установлена в тоннелях № 5 и № 6 в г. Сочи) компании Sonnevile. Участок пути Тосно — Саблино (протяженность ≈ 1 км) выполнен по технологии RHEDA 2000 компании RailOne. Опытные конструкции: RHEDA 2000, Max Bögl, Tines, Altstom

и LVT уложены на экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ» на ст. Щербинка [28].

В 2014 г. Центральной дирекцией инфраструктуры ОАО «РЖД» и зарубежными партнерами организована и проведена работа по устройству опытных участков безбалластного пути, в ходе которой было достигнуто соглашение об укладке БКП на П-м кольцевом пути Экспериментального кольца ОАО «ВНИИЖТ» с четырьмя компаниями [22–24]:

- TINES — конструкция EBS;
- ALSTOM — конструкция NBT;
- MaxBögl — конструкция FF-Bögl;
- ОАО «РЖДстрой» — конструкция

LVT.

На Экспериментальном кольце в Щербинке уложены четыре опытных участка безбалластного пути длиной по 75 м каждый с переходными участками на балластном основании между ними [3].

Таким образом, сегодня железобетонные подрельсовые основания — основной вид конструкции ВСП. Полигон укладки железобетонных шпал и других железобетонных подрельсовых оснований составляет 60 % протяжения главных путей [1]. В настоящее время только они удовлетворяют современным требованиям транспортного строительства. В ближайшие десятилетия конструкция подрельсового основания из железобетона останется основной, наиболее развитой и технически совершенной конструкцией пути. Исследования, связанные с модернизацией БКП, входят в число передовых научных изысканий в области железнодорожного строительства. Опытная база по БКП значительно уступает накопленной в отношении традиционной конструкции пути на балласте. В техническом и экономическом плане до сих пор остается множество «белых пятен».

Стоит отметить, что пока не подготовлена полноценная методика по оценке экономической эффективности выбранного решения [27]. Ключевая идея — низкие затраты на текущее содержание БКП. По сравнению с традиционной конструкцией пути (РШР на балласте) БКП имеет свои особенности (к примеру, ненормированный срок проведения промежуточных ремонтов, особенности монтажа и применения специализированной строительной техники, целесообразность использования на эстакаде и т. д.), которые необходимо учитывать при разработке методологического подхода. ■

Литература

1. Ашпиз Е. С., Гасанов А. И., Глюзберг Б. Э. и др. Железнодорожный путь / под ред. Е. С. Ашпиза. М.: Учеб.-метод. центр железнодорожного транспорта, 2013. 544 с.
2. Виноградов В. В., Быков Ю. А., Коваленко Н. И. Определение параметров динамического воздействия в плите безбалластного пути // Мир транспорта. 2016. Т. 14. № 1 (62). С. 38–44.
3. Годовой отчет компании ОАО «РЖД» за 2015 г. URL: http://ir.rzd.ru/static/public/ru?structure_id=32 (дата обращения: 12.04.2016).
4. Замуховский А. В., Копыленко В. А., Фридкин В. М. О технико-экономической целесообразности применения железнодорожных эстакад вместо высоких насыпей // Трансп. стр.-во. 2012. № 10. С. 15–18.
5. Информационный ресурс Бетонные элементы транспорта. URL: http://www.beteltrans.ru/info-splak/info-splak_704.html (дата обращения: 20.06.2016).
6. Информационный ресурс Деловой журнал «РЖД-Партнер» 18.08.2011. URL: <http://www.rzd-partner.ru/news/different/368607/> (дата обращения 17.05.2016).
7. Информационный ресурс Евразия Вести. Инновационные технологии для железных дорог. Евразия Вести 7 2014/ URL: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2014-07a07> (дата обращения 10.03.2016)
8. Карпущенко Н. И., Антонов Н. И. Совершенствование рельсовых скреплений. Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщения, 2003. 300 с.
9. Karpushchenko N.I., Antonov N.I. Improvement of rail fastenings. Novosibirsk, SGUPS, 2003. 300 p. (rus)
10. Киселев И. П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. М.: Учеб.-метод. центр железнодорожного транспорта, 2014. 308 с.
11. Колос А. Ф., Черняева В. А. Технико-экономическое обоснование выбора рациональных конструкций земляного полотна автомобильных дорог на слабых основаниях // Проблемы инфраструктуры транспортного комплекса: Матер. Межд. науч.-техн. конф. 2015. С. 102–108.
12. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Повышение скоростной эффективности транспортного сообщения на основе непрерывного перемещения товаров и услуг // Фундаментальные исследования для долгосрочного развития железнодорожного транспорта. М.: Интекст, 2013. С. 85–94.
13. Лапидус Б. М. Социально-экономические предпосылки создания в России высокоскоростного железнодорожного сообщения // Бюл. Объед. ученого совета ОАО «РЖД». 2013. № 2. С. 9–12.
14. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Методология оценки и обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экон. железн. дорог. 2016. № 7. С. 16–25.
15. Локтев А. А., Виноградов В. В., Быков Ю. А. Определение мест армирования железобетонной плиты безбалластного пути // Наука и техн. транспорта. 2016. № 1. С. 59–62.
16. Разуваев А. Д., Цыпин П. Е. Оценка экономической эффективности строительства безбалластного пути на эстакаде // Экон. железн. дорог. 2016. № 2. С. 81–85.
17. Разуваев А. Д., Цыпин П. Е. Современные тенденции совершенствования конструкций верхнего строения железнодорожного пути // Современные проблемы управления экономической транспортной комплексом России: конкурентоспособность, инновации и экономический суверенитет: Труды Межд. науч.-практ. конф. М.: МИИТ, 2015. С. 350–353.
18. Савин А. В. Выбор конструкции пути для высокоскоростного движения // Вестн. Всерос. науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта. 2014. № 1. С. 55–59.
19. Савин А. В. Комбинированный метод исследования безбалластного пути // Там же. 2015. № 3. С. 48–52.
20. Савин А. В. Критерии выбора конструкции безбалластного пути // Путь и путевое хозяйство. 2014. № 2. С. 2–8.
21. Савин А. В. Участки переменной жесткости для безбалластного пути // Там же. 2014. № 8. С. 2–6.
22. Савин А. В. Экспериментальное кольцо: укладка новых конструкций пути // Там же. 2015. № 2. С. 12–15.
23. Савин А. В., Бржезовский А. М., Третьяков В. В. и др. Исследования безбалластной конструкции верхнего строения пути // Вестн. Всерос. науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта. 2015. № 6. С. 23–32.
24. Савин А. В., Дыдышко П. И. Безбалластный путь и его основание // Железнодорож. трансп. 2015. № 12. С. 39–41.
25. Савин А. В. Сферы применения безбалластного пути // Техн. железн. дорог. 2016. № 3(35). С. 32–41.
26. Смехова Н. Г., Кожевников Ю. Н., Мачерет Д. А. Издержки и себестоимость железнодорожных перевозок. М.: Учеб.-метод. центр железнодорожного транспорта, 2015. 472 с.
27. Терешина Н. П., Подсорин В. А. Экономическая оценка инвестиций. М., 2016. 322 с.
28. Цыпин П. Е., Разуваев А. Д. Современные тенденции развития инфраструктуры железных дорог // Актуальные проблемы управления экономикой и финансами транспортных компаний. М., 2016. С. 182–187.
29. Цыпин П. Е., Разуваев А. Д., Ледней А. Ю. Эффективность использования наземного транспорта в условиях высокой стоимости земли // Бизнес и дизайн ревю. 2016. № 4. С. 7.
30. Blouw D. N., Randich G. M. Slab track for the next 100 years // AREMA Proceed. 2000 Annual Conf. USA, 2000. P. 20.
31. Georgios M. Slab Track Systems for High-Speed Railways: Master Degree Project. Stockholm, 2012. P. 95.
32. Takahara K. INR experiments with concrete track led-Railway Cassette. 1969. Vol. 12. № 7. P. 260–263.