



Выгоды безбалластной конструкции пути для крупных транспортных объектов



Павел ЦЫПИН
Pavel E. TSYPIN

Алексей РАЗУВАЕВ
Aleksey D. RAZUVAEV



Цыпин Павел Евгеньевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика строительного бизнеса и управление собственностью» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Разуваев Алексей Дмитриевич – старший преподаватель МИИТ, Москва, Россия.

Advantages of Ballastless Track Design for Large Transport Objects

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 136)

В статье оценивается возможность использования безбалластной конструкции пути (БКП) при реализации крупных транспортных объектов в черте города. БКП является единственной альтернативой традиционному пути на балласте. Такой вариант обладает рядом преимуществ, но вместе с тем и определенными недостатками, сдерживающими сегодня его массовое применение. Основываясь на зарубежном опыте и сравнении двух конструкций (путь на балласте и БКП), с учётом расценок на ремонты и текущее содержание авторы предлагают свое понимание экономических аргументов и выгод, получаемых от эксплуатации безбалластного пути.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, верхнее строение пути, безбалластная конструкция, высокоскоростное движение, затраты, окупаемость, экономический эффект.

Уже не одно десятилетие перед специалистами транспортного строительства встает вопрос о наиболее рациональной конструкции верхнего строения пути, которая бы отвечала всем необходимым условиям, а именно: постоянно растущим скоростям движения и нагрузке на ось. Ещё в начале XX века зарубежные и отечественные ученые пытались получить стабильную конструкцию пути, равно применимую как для промышленного, так и гражданского сообщения. Впервые путь со сплошным железобетонным основанием был предложен и осуществлен в различных вариантах в 1909 году нашим соотечественником, русским инженером Н. Е. Долговым. Основная идея – создание работоспособной конструкции без шпал и балласта. Уложенные в путь конструкции Долгова на Приднепровской железной дороге прослужили от 20 до 40 лет. В 1924 году японские национальные железные дороги начали сооружать путь с деревянными опорами-вкладышами, утопленными в монолитное железобетонное основание. В 1926–1929 годы железобетонные подрельсовые основания в виде блоков уложены на дороге Пер-Маркетт в США [1].

Таблица 1

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 ЧС	+	–
Устойчивость бесстыкового пути	–	+
Малообслуживаемость	–	+
Гашение шума и вибрации	+	–
Удобство применения на искусственных сооружениях и в стесненных условиях (мосты, тоннели, эстакады)	–	+

Таблица 2

Сравнительный анализ основных параметров реализации проектов ВСМ в мире [2, с. 31]

Проект	Окончание стр-ва	Длина, км	Кол-во путей	Тип пути	Средняя скорость, км/ч
HS1 (Великобритания)	2007	108	2	Смешанный	225–300
HSL Zuid (Нидерланды)	2009	125	2	Безбалластный	300
LGV Est (Франция)	2007	300	2	Балластный	320
Кельн–Франкфурт (Германия)	2004	177	2	Безбалластный	300
Рим – Неаполь (Италия)	2009	205	2	Балластный	300
Мадрид–Барселона (Испания)	2008	619	2	Балластный	300
Кюсю–Синкансен (Япония)	2004	127	2	Безбалластный	260
Тайбэй–Гаосюнь (Тайвань)	2007	344	2	Безбалластный	300
Пекин–Шанхай (КНР)	2011	1318	2	91 % – балластный; 9 % – безбалластный	300 и 250
Сеул–Тэгу (Юж. Корея)	2007	330	2	В основном безбалластный	300

На сегодняшний день странами-переводчиками в этой области являются Германия, Австрия и Япония. Существуют десятки вариантов безбалластных конструкций пути (БКП) и все они включены в серийное производство. В подавляющем большинстве своих исследований зарубежные специалисты не случайно опираются именно на сравнение двух конструкций пути (таблица 1).

При сравнении естественно заключить, что основным критерием в пользу выбора БКП становится стабильность геометрии пути и низкая стоимость текущего содержания, что как раз и является преимуществом перед конструкцией пути на балласте. Изрядное количество работ [5, 6] по данной теме позволяют сформулировать с экономической точки зрения некую об-

щую концепцию относительно строительства и эксплуатации БКП: высокие первоначальные инвестиции на строительство окупаются благодаря снижению стоимости текущего содержания.

Рассмотрим зарубежный опыт по строительству новых железнодорожных линий, предназначенных для высокоскоростного пассажирского сообщения (таблица 2).

Отдельно стоит отметить две конструкции БКП, которые имеют наибольшее распространение по всему миру. В таблице 3 представлены конструкции Vgl FFB и Rheda 2000, а также полигоны их укладки. Популярность данных видов объясняется тем, что они имеют довольно продолжительный опыт эксплуатации – в 1972 году на станции Реда в Германии была уложена первая подобная конструкция [3].



Полигон укладки БКП Bögl FFB и Rheda 2000

Вид БКП	Страна производитель	Наименование участка пути
Bögl FFB	Германия	Германия. Карлсруэ–Базель, туннель Катценберг
		Германия. Нюрнберг–Ингольштадт
		Германия. Нюрнберг–Эбенфельд–Эрфурт–Лейпциг/Галле
		Китай. Пекин–Тяньцзинь
Rheda 2000	Германия	Германия. Майнц–Мангейм. Модернизация туннеля Альтер Майнцер
		Индия. Удхампур–Сринагар–Барамулла
		Китай. Опытный участок линии Суй-Ю: Суйнин–Чунцин

Как следует из таблицы 2, на сегодняшний день безбалластный путь в основном распространен на востоке, в Китае и Японии, тогда как в Европе традиционный путь на балласте остается основной конструкцией верхнего строения пути. Это можно объяснить тем, что одна из рациональных сфер применения безбалластного пути – путь на эстакаде. Так, некоторые линии японских высокоскоростных железных магистралей практически в 90 % случаев проходят по эстакадам. Нередко путь на эстакаде обусловлен наличием сложного рельефа местности, но также он вполне актуален и при прохождении железнодорожной линии по местам с уже сложившейся социальной инфраструктурой [4].

Можно сказать, что безбалластный путь является вполне «урбанистической конструкцией» в рамках транспортной инфраструктуры мегаполиса. Такой термин возможен благодаря основным положительным критериям БКП в условиях внутригородской организации движения. К ним можно отнести: низкую строительную высоту конструкции, возможность пропуска автотранспорта, полную механизацию и автоматизацию при строительстве и снижение частоты проводимых ремонтных работ.

Говоря о транспорте в черте города, среди самых главных проблем стоит выделить проблемы текущего содержания, имеющие место в условиях плотной город-

ской застройки, и проблемы частоты проведения ремонтов, а также предоставления «окон». В Москве как раз существует крупный транспортный железнодорожный объект – Московская кольцевая. Изначально, в 1908 году, запланированный для смешанного (в том числе городского пассажирского) движения. До последнего времени (до начала реконструкции в 2012 году) на кольцевой дороге отсутствовала контактная сеть и все перевозки осуществлялись при помощи тепловозной тяги. Конструкция пути при реконструкции также была выбрана традиционной. Это объясняется огромным накопленным опытом и наличием достаточно обширной материальной базы, которые делают путь на балласте простым и доступным.

Но возвращаясь к зарубежному опыту и базовой концепции БКП, следует рассмотреть основные преимущества, за счёт которых безбалластный путь в будущем сможет занять доминирующее положение при строительстве крупных транспортных объектов. К одному из таких преимуществ можно отнести эффект, достигаемый в сфере эксплуатации. К сфере эксплуатации относятся ремонт пути и его текущее содержание. В таблице 4 представлены эффекты (рассчитанные для верхнего и нижнего строения пути) в зависимости от ремонта и текущего содержания линии МКЖД длиной 54 км, где традиционный

Таблица 4

Получаемый экономический эффект при сравнении вариантов

№ п/п	Сфера эксплуатации пути	Эффект при сопоставлении конструкций пути по варианту I и II, тыс. руб.
1	Средний ремонт (С)	216000
2	Планово-предупредительный (В)	108000
3	Текущее содержание	10800



путь на балласте и БКП варианты I и II соответственно.

Как следует из таблицы 4, дополнительные единовременные затраты на ремонты и текущее содержание пути варианта I (БКП) по сравнению с вариантом II (традиционный на балласте) дают определенный экономический эффект. Хотя, безусловно, существуют и определенные риски при строительстве и эксплуатации БКП ввиду малоизученности схемы в московских условиях.

Окупаемость инфраструктуры железнодорожного транспорта происходит за счёт объёма перевезенного груза и количества пассажиров. Отсюда следует, что чем больше пассажиропоток, тем больше и доходная составляющая. В отличие от планируемых к сооружению линий высокоскоростного сообщения (где пассажиропоток будет неравномерно распределен по участкам) линии внутригородского сообщения, несомненно, обладают более равномерной и повышенной загруженностью. Для сравнения можно рассмотреть годовые пассажиропотоки крупных транспортных объектов. Так, оптимистический прогнозируемый суммарный пассажиропоток на магистрали ВСМ Москва–Казань (с учётом всех остановочных пунктов) к 2020 году должен составить 10,5 млн человек в год. Годовой пассажиропоток московского метрополитена за 2015 год был 2384,5 млн человек, а прогнозируемый на 2017 год пассажиропоток МКЖД должен составить

от 75 до 300 млн человек. Следовательно, окупаемость внутригородского транспортного объекта будет осуществляться в достаточно приемлемые сроки, а сами перевозки будут обладать большей рентабельностью [2, 7, 8].

Возможно, в будущем при реконструкции МКЖД или реализации подобных проектов следует задуматься о применении безбалластной конструкции пути. Она вполне может стать основной конструкцией верхнего строения пути в условиях мегаполиса, учитывая и её экономичность в процессе эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волошко Ю. Д., Микитенко А. М. Рельсовый путь с блочными железобетонными опорами. – М.: Транспорт, 1980. – 175 с.
2. Инвестиционный меморандум Проекта создания высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва–Казань». 2014. [Электронный ресурс]: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1451461679.pdf. Доступ 10.01.2017.
3. Разуваев А. Д. Влияние выбора подрельсового основания на экономичность и безопасность движения поездов // XVI научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2014.
4. Разуваев А. Д., Цыпин П. Е. Оценка экономической эффективности строительства безбалластного пути на эстакадах // Экономика железных дорог. – 2016. – № 2. – С. 81–85.
5. David N. Bilow and Gene M. Randich. Slab track for the next 100 years // AREMA Proceedings of the 2000 Annual Conference. – USA, 2000.
6. Michas, Georgios. Slab Track Systems for High-Speed Railways. Master Degree Project. Stockholm 2012, 95 с.
7. <http://www.gudok.ru/infrastructure/?ID=1321399>. Доступ 10.01.2017.
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Московский_метрополитен. Доступ 10.01.2017.

Координаты авторов: **Цыпин П. Е.** – pavel776@yandex.ru, **Разуваев А. Д.** – razuvaevalex@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 14.09.2016, принята к публикации 10.01.2017.



ADVANTAGES OF BALLASTLESS TRACK DESIGN FOR LARGE TRANSPORT OBJECTS

*Tsy-pin, Pavel E., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.
Razuvaev, Aleksey D., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The article assesses the possibility of using a ballastless (or slab) track design (BTD) in implementation of large transport facilities in the city. BTD is the only alternative to a traditional track on ballast. Such an option has a number of advantages, but at the same time, certain

shortcomings that restrain its mass application today. Based on foreign experience and comparison of two designs (track on ballast and BTD), taking into account costs for repair and current maintenance, the authors offer their understanding of economic arguments and benefits derived from operation of the ballastless track.

Keywords: railway transport, track superstructure, ballastless structure, high-speed traffic, costs, payback, economic effect.

Background. For more than a decade the experts of transport construction have been facing the issue of the most rational design of track superstructure that would meet all the necessary conditions, namely: constantly increasing speeds of movement and the load on the axis. Even at the beginning of 20th century, foreign and domestic scientists tried to obtain a stable track design, equally applicable to both industrial and civil traffic. For the first time track with a solid reinforced concrete base was offered and implemented in various variants in 1909 by our compatriot, Russian engineer N. E. Dolgov. The main idea was to create an efficient design without sleepers and ballast. Laid on the track designs of Dolgov on Pridneprovskaya Railway served from 20 to 40 years. In 1924, the Japanese national railways began to build a track with wooden supports-liners, submerged in a monolithic reinforced concrete base. In 1926–1929, reinforced concrete undertrack bases in the form of blocks were laid on the Per-Marquette road in the USA [1].

Objective. The objective of the authors is to consider advantages of ballastless track designs.

Methods. The authors use general scientific methods, comparative analysis, economic assessment.

Results. To date, the leading countries in this area are Germany, Austria and Japan. There are dozens of variants of ballastless track designs (BTD) and all of them are included in serial production. In the overwhelming majority of their studies, foreign experts do rely on a comparison of two track designs (Table 1).

When comparing it is natural to conclude that the main criterion in favor of choosing BTD is stability of the geometry of track and the low cost of current maintenance, which is precisely an advantage over

the track design on ballast. A fair number of works [5, 6] on this topic allow us to formulate from an economic point of view a certain general concept regarding construction and operation of BTD: high initial investment for construction is paid for by reducing the cost of current maintenance.

Let's consider the foreign experience in construction of new railway lines intended for high-speed passenger traffic (Table 2).

Separately it is worth noting two BTD designs, which are the most widely spread around the world. Table 3 presents the designs of Bögl FFB and Rheda 2000, as well as the polygons for their laying. The popularity of these types is explained by the fact that they have a satisfied long operational experience – in 1972 the first such structure was laid at the station of Reda in Germany [3].

As can be seen from Table 2, to date, the ballastless track is mainly used in the east, in China and Japan, whereas in Europe the traditional ballast track remains the basic design of track superstructure. This can be explained by the fact that one of the rational spheres of application of the ballastless track is the track on overhead road. For example, some lines of Japanese high-speed railways pass through overhead roads in almost 90 % of cases. Often the track on the overhead road is due to the presence of a complex terrain, but it is also quite relevant when passing a railway line to places with already established social infrastructure [4].

We can say that the ballastless track is quite an «urban structure» within the transport infrastructure of the megalopolis. Such a term is possible due to the main positive criteria of the BTD in conditions of intra-urban traffic organization. These include: low construction height of the structure, the ability to pass vehicles, full mechanization and automation during

Table 1

Comparison of track designs

Feature of a design	Track on ballast	Ballastless track
Low capital costs for construction	+	–
Low costs for current maintenance	–	+
Possibility to adjust the geometry of track gauge	+	–
Reconstruction of track after an emergency	+	–
Stability of continuous welded track	–	+
Low maintenance	–	+
Noise and vibration damping	+	–
Convenience of use on artificial structures and in cramped conditions (bridges, tunnels, overhead roads)	–	+

Table 2

Comparative analysis of main parameters of implementation of HSR projects in the world [2, p. 31]

Project	Completion of construction	Length, km	Number of tracks	Track type	Average speed, km/h
HS1 (Great Britain)	2007	108	2	Mixed	225–300
HSL Zuid (the Netherlands)	2009	125	2	Ballastless	300
LGV Est (France)	2007	300	2	Ballast	320
Cologne–Frankfurt (Germany)	2004	177	2	Ballastless	300
Rome–Naples (Italy)	2009	205	2	Ballast	300
Madrid–Barcelona (Spain)	2008	619	2	Ballast	300
Kyushu–Sinkansen (Japan)	2004	127	2	Ballastless	260
Taipei–Kaosiung (Taiwan)	2007	344	2	Ballastless	300
Beijing–Shanghai (PRC)	2011	1318	2	91 % – ballast; 9 % – ballastless	300 and 250
Seoul–Taegu (South Korea)	2007	330	2	Mainly ballastless	300

Table 3

Polygon for laying BTD Bögl FFB and Rheda 2000

Type of BTD	Manufacturing country	Name of track section
B gl FFB	Germany	Germany. Karlsruhe–Basel, the Katzenberg tunnel
		Germany. Nuremberg–Ingolstadt
		Germany. Nuremberg–Ebensfeld–Erfurt–Leipzig / Halle
		China. Beijing–Tianjin
Rheda 2000	Germany	Germany. Mainz–Mannheim. Upgrading the Alter Minster tunnel
		India. Udampur–Srinagar–Baramulla
		China. Experimental section of the Su–Yu line: Suining–Chongqing

Table 4

The resulting economic effect when comparing options

№	Scope of track operation	Effect when comparing track design according to option I and II, thousand rubles
1	Mid-life repair (C)	216000
2	Routine-preventive (B)	108000
3	Current maintenance	10800

construction and reduction of frequency of repair work.

Speaking about transport in the city, it is necessary to highlight the problems of current maintenance, taking place in a dense urban environment, and the problem of the frequency of repairs, as well as the provision of repair intervals. If we cite example of Moscow, then we should mention a large railway facility which is Moscow Central Circle (MCC). Initially, in 1908, it was designed for a mixed (including urban passenger) movement. Until recently (before the beginning of reconstruction in 2012), there was no contact network on the circle and all transportations were carried out by means of diesel locomotives. The design of the track selected during reconstruction was also traditional. This is due to huge accumulated experience and the availability of a sufficiently extensive material base, which makes the track on ballast simple and affordable.

But going back to foreign experience and the basic concept of BTD, one should consider the main advantages, due to which the ballastless track in future can take a dominant position in construction of

large transport facilities. One of such advantages can be attributed to the effect achieved in the field of operation. The scope of operation includes repair of the track and its current maintenance. Table 4 shows the effects (calculated for track superstructure and substructure), depending on repair and the current maintenance of MCC line, 54 km in length, where the traditional track on ballast and BTD options I and II, respectively.

As can be seen from Table 4, the additional one-time costs for repair and current maintenance of track of option I (BTB) as compared to option II (traditional on ballast) give a certain economic effect. Although, of course, there are certain risks in construction and operation of BTB due to the poorly understood scheme in Moscow conditions.

The payback of railway transport infrastructure is due to the volume of cargo transported and the number of passengers. Hence it follows that the more is passenger flow, the greater is the revenue component. Unlike the high-speed communication lines planned for construction (where the passenger flow will be unevenly distributed over sections), the





lines of intraurban traffic will undoubtedly have a more even and more congested traffic. For comparison, it is possible to consider the annual passenger flows of large transport objects. So, the optimistically forecasted total passenger flow on Moscow–Kazan HSR (taking into account all stop points) by 2020 should reach 10,5 million people per year. The annual passenger flow of Moscow metro for 2015 was 2384,5 million people, and the forecasted for 2017 passenger flow of MCC should be between 75 and 300 million people. Consequently, the payback of an intracity transport facility will be carried out within a reasonably acceptable timeframe, and the transportation itself will be more profitable [2, 7, 8].

Conclusion. Perhaps in the future, during reconstruction of the MCC or implementation of similar projects, one should think about the application of the ballastless track design. It may well become the main design of track superstructure in the conditions of a metropolis, taking into account its efficiency in the process of operation.

REFERENCES

1. Voloshko, Yu. D., Mikitenko, A. M. Rail track with block reinforced concrete supports [*Rel'sovyy put' s blochnymi zhelezobetonnyimi oporami*]. Moscow, Transport publ., 1980, 175 p.

2. Investment memorandum of the Project for creation of a high-speed railway line «Moscow–Kazan». 2014 [*Investitsionnyy memorandum Proekta sozdaniya vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali «Moskva–Kazan» 2014*]. [Electronic resource]: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1451461679.pdf. Last accessed 10.01.2017.

3. Razuvaev, A. D. Influence of choice of under-rail base on economy and safety of train traffic. [*Vlijanie vybora podrel'sovogo osnovaniya na ekonomichnost' i bezopasnost' dvizheniya poezdov*]. XVI scientific and practical conference «Traffic safety», Moscow, MIIT publ., 2014.

4. Razuvaev, A. D., Tsy-pin, P. E. Estimation of economic efficiency of construction of a ballastless track on overhead roads [*Ocenka ekonomicheskoy effektivnosti stroitel'stva bezballastnogo puti na estakadah*]. *Ekonomika zheleznih dorog*, 2016, Iss. 2, pp. 81–85.

5. Bilow, David N., Randich, Gene M. Slab track for the next 100 years. *AREMA Proceedings of the 2000 Annual Conference*, USA, 2000.

6. Michas, Georgios. Slab Track Systems for High-Speed Railways. Master Degree Project. Stockholm 2012, 95 p.

7. <http://www.gudok.ru/infrastructure/?ID=1321399>. Last accessed 10.01.2017.

8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Московский_метрополитен. Last accessed 10.01.2017.

Information about the authors:

Tsy-pin, Pavel E. – Ph.D. (Economics), associate professor at the Department of Economics of Construction Business and Property Management of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, pavel776@yandex.ru.

Razuvaev, Aleksey D. – senior lecturer of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, razuvaevalex@yandex.ru.

Article received 14.09.2016, accepted 10.01.2017.