

УДК 656.025.2

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, В. А. ЦАРИКОВ, магистр технических наук, Белорусская железная дорога, г. Могилев, С. С. ГАПОНИК, инженер, Белорусская железная дорога, г. Минск

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Повышение скоростей движения поездов возможно при переустройстве криволинейных участков путём увеличения радиуса кривой и возведения нового земляного полотна. Перед началом работ по возведению нового земляного полотна необходимо произвести инженерно-геодезическое и геологическое обследования местности, на которой будут производиться эти работы. По заданным координатам определяется новая длина криволинейного участка пути и производится подсчёт нормалей, т. е. сдвижки пути от существующей оси.

Введение. Для Республики Беларусь как внутриконтинентального государства, не имеющего выхода к морю, а также не обладающего значительными топливно-энергетическими и сырьевыми ресурсами, особое значение приобретают транзит и поиск новых перспективных рынков транспортных услуг. Прохождение через территорию нашей страны II и IX международных транспортных коридоров обуславливает высокую степень ее транзитивности. Благодаря развитой инфраструктуре и привлекательности географического положения Беларусь может стать своеобразным интегрирующим звеном в торговле между странами Европейского союза и Азиатско-Тихоокеанского региона, если будет придавать значение транзиту как важнейшему потенциалу национальной экономики.

По территории страны проходят два международных железнодорожных транспортных коридора:

№ II – Берлин – Варшава – Минск – Москва – Нижний Новгород (в пределах республики железнодорожный участок Брест – Минск – Орша – Осинówka);

№ IX – Хельсинки – Санкт-Петербург – Гомель – Киев – Кишинев – Бухарест – Димитровград (в пределах республики железнодорожные участки Терюха – Гомель – Жлобин – Витебск – Езерище – 489 км и Жлобин – Минск – Молодечно – Гудогай – 372 км). Благодаря наличию этого коридора организована устойчивая транспортная связь между северными и южными морями Европейского континента.

Повысить скорости движения через транспортные коридоры – значит предопределить высокий транзитный потенциал страны и создать возможности для роста экспорта транспортных услуг. Эти транспортные артерии составляют основу транзитной политики Республики Беларусь. Именно с ними связывается будущее в плане улучшения материально-технического развития Белорусской железной дороги. Кроме того, международные транспортные коридоры влияют на промышленную, продовольственную, демографическую, военную и технологическую безопасность. Они играют особую роль в социально-экономическом развитии республики.

Повышение скоростей может быть реализовано посредством:

– строительства новых линий;

– реконструкции существующих железных дорог;

– применения подвижного состава с улучшенными техническими характеристиками.

Опыт строительства и эксплуатации железнодорожного транспорта показывает, что именно реконструкция существующих железнодорожных линий со смешанным движением грузовых и пассажирских поездов позволяет значительно поднять скорости [1].

В качестве примера рассмотрим направление Могилев – Жлобин – Гомель. Для того чтобы вышеуказанный маршрут был востребован у пассажиров и грузоперевозчиков, время следования должно быть минимальным. По участку предполагается повышение установленных скоростей движения грузовых поездов до 100 км/ч, а пассажирских – до 140 км/ч.

По всему направлению имеются проблемные места с точки зрения плана линии. Кривые радиусами 500–600 м встречаются на подходах к раздельным пунктам (ст. Быхов, р. п. Старосельский и др.). Однако в связи с достаточно развитой инфраструктурой населенных пунктов увеличение данных радиусов является затруднительным из-за значительных сдвижек кривых и переноса инженерных коммуникаций.

Следующим «барьерным» местом является криволинейный участок пути ($R = 610$ м), находящийся на 245 км + 279 м – 246 км + 004 м (рисунок 1). В данном месте трасса проходит за городской чертой на незастроенной территории, поэтому имеется возможность устройства сдвижек, а также подвоза песка из разрабатываемого карьера (расстояние около 15 км).

Существующие скорости движения поездов на указанных километрах составляют 100 км/ч для пассажирских и 80 км/ч для грузовых поездов. Предварительный анализ технических характеристик данного участка показал, что на протяжении от станции Быхов до границы обслуживания Могилёвской дистанции пути можно увеличить скорости движения поездов до 140 км/ч и более за счёт проведения необходимых путеремонтных мероприятий.

Наличие остальных криволинейных участков и их существующие радиусы позволяют выполнить путеремонтные мероприятия без переустройства кривых за исключением «барьерного» места на указанных километрах.

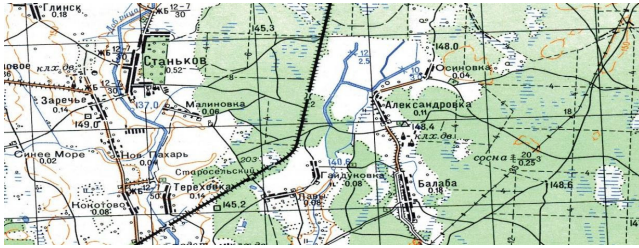


Рисунок 1 – Топографическая карта местности

Анализ верхнего строения пути на исследуемом участке. Основные показатели плана и профиля железнодорожной линии направления Могилёв – Жлобин – Гомель приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели плана и профиля участка

Показатель	Величина, км / %
План линии:	
криволинейные участки	15,2/17
прямолинейные участки	73,8/83
Радиусы, м:	
500–600	1,5/12
651–800	0,7/6
801–1000	3,0/21
1001–1200	1,5/11
более 1200	7,5/50
Уклоны, ‰:	
0	29/32
1–4	36,3/60
4,1–6,0	8,3/14
6,1–8,0	11,0/19
8,1–10,0	4,4/7
Показатели профиля, м:	
насыпи до 6 м	65/73
выемки до 6 м	14/16
нулевые места	10/11

При переустройстве железных дорог под скоростное движение (предполагается поднять действующие скорости движения поездов до 140 км/ч и более на перспективу) радиусы проектируемых кривых определяются по формуле

$$R_{пр \min} = 0,047v^2. \quad (1)$$

В нашем случае для реализации скорости 140 км/ч

$$R_{пр \min} = 0,047 \cdot 140^2 = 921 \text{ м.}$$

В данном варианте необходима значительная сдвигка пути, что невозможно сделать на существующем земляном полотне. Как вариант предлагается устройство участка пути со строительством новой насыпи или уширением существующего земляного полотна. На отдельных участках пути возможно повышение скоростей движения за счёт укрепления верхнего строения пути и её отдельных элементов путём производства ремонтно-путевых работ.

Радиусы кривых необходимо увеличивать для обеспечения более высоких скоростей движения поездов. Расчёты по увеличению радиуса кривой производятся в следующем порядке.

На основании исходных данных, которыми являются: сторонность и угол поворота (α), радиус (R_c), длина (L_c) и тангенс (T_c) существующей кривой, пикетажное положение кривой (ПК НКК_c, ПК ККК_c), а также радиус

проектируемой кривой ($R_{пр}$), строится расчётная схема (рисунок 2).

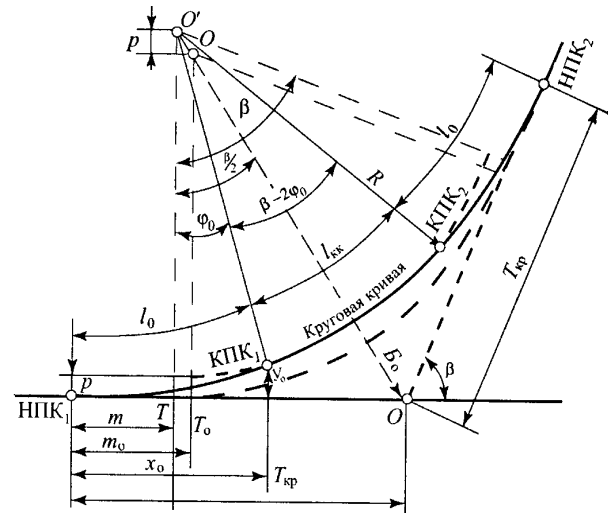


Рисунок 2 – Расчётная схема построения кривой

В соответствии с расчётной схемой определяются: длина проектируемой кривой ($K_{пр}$), тангенс проектируемой кривой ($T_{пр}$), разность тангенсов (ΔT), изменение длины линии (ΔL), неправильный пикет и пикетажное положение проектируемой кривой, а также нормали (n), т. е. смещения оси существующего пути. Указанные элементы определяются на основании следующих формул:

– длина проектируемой кривой:

$$K_{пр} = R_{пр} \alpha_{рад}; \quad (2)$$

$$K_{пр} = 1200 \cdot 0,959640 = 1151,57 \text{ м;}$$

– тангенс проектируемой кривой:

$$T_{пр} = R_{пр} \text{tg}(\alpha/2); \quad (3)$$

$$T_{пр} = 1200 \cdot 0,520345 = 624,41 \text{ м;}$$

– разность тангенсов:

$$\Delta T = T_{пр} - T_c; \quad (4)$$

$$\Delta T = 624,41 - 317,41 = 307,00 \text{ м;}$$

– изменение длины линии:

$$\Delta L = 2\Delta T + K_c - K_{пр}; \quad (5)$$

$$\Delta L = 2 \cdot 307,00 + 725,32 - 1151,57 = 187,75 \text{ м;}$$

– неправильный пикет:

$$100 - \Delta L; \quad (6)$$

$$100 - 187,75 = 87,75 \text{ м;}$$

– начало и конец проектируемой круговой кривой:

$$\text{ПК НКК}_{пр} = \text{ПК НКК}_c - \Delta T; \quad (7)$$

$$\text{ПК НКК}_{пр} = \text{ПК } 2451 + 39 - 307,00 = \text{ПК } 2448 + 32;$$

$$\text{ПК ККК}_{пр} = \text{ПК ККК}_c + \Delta T; \quad (8)$$

$$\text{ПК НКК}_{пр} = \text{ПК } 2458 + 64 + 307,00 = \text{ПК } 2461 + 71,$$

где $\alpha_{рад}$ – угол поворота кривой в радианной мере.

Определение нормалей (n), т. е. смещений оси существующего пути (см. рисунок 2) можно производить с помощью расчетных формул:

– на участке от НКК_{пр} до НКК_с:

$$n = x_2 / (2R_{пр}); \quad (9)$$

– на участке от НКК_с до ККК_с:

$$n = x_2 / (2R_{пр}) - 2(x - \Delta T) / (2R_c); \quad (10)$$

– на участке от ККК_с до ККК_{пр}:

$$n = x_2 / (2R_{пр}) - K_{2c} / (2R_c) - (x - \Delta T - K_c) \alpha_{рад}, \quad (11)$$

где x – расстояние от начала проектируемой кривой до точки на существующем пути, для которой определяется величина нормали, последовательно придаётся нарастающее значение с выбранным шагом, обычно 20 метров.

Перед началом работ по возведению нового земляного полотна необходима геодезическая съёмка местности, на которой будут производиться эти работы. Для этого на карте местности определяются координаты высот и составляется топографическая карта с горизонталями (см. рисунок 1).

По заданным координатам, по методике и формулам (2)–(11) определяется новая длина криволинейного участка пути и производится подсчёт нормалей, то есть сдвижки пути от существующей оси.

Подсчёт нормалей производят в табличной форме (таблица 2).

Из таблицы 2 видно, что максимальная сдвижка будет в середине кривой и составляет примерно 75 м.

После камеральных расчетов приступают к полевым работам. Для организации сдвижки оси пути в 75 метров необходима отсыпка нового земляного полотна.

К основным работам по возведению железнодорожного земляного полотна чаще всего относят:

- послойное рыхление сухих плотных грунтов, а также скальных пород и мёрзлых грунтов при разработке выемок, карьеров и резервов;
- разработку грунта в отвал или с погрузкой в транспортные средства;
- перемещение грунта из выемок, карьеров и резервов в насыпи, кавальеры или отвалы (так называемый технологический транспорт);
- послойное разравнивание грунта в насыпях или кавальерах;
- удаление слабых грунтов из основания насыпей, выторфовывание и устройство прорезей при возведении насыпей на болотах;
- послойное уплотнение грунта в насыпях, а также в основании насыпей высотой до 2 метров под основной площадкой в выемках (осуществляется при естественной плотности сухих грунтов ниже требуемой);
- усиление конструкции земляного полотна устройством защитного слоя (подушек из дренирующих грунтов, применением синтетического нетканого материала) поверх основной площадки;
- устройство и ликвидация въездов и съездов при отсыпке насыпей транспортными средствами;
- срезка с откосов насыпей вторых путей растительного покрова и балластных шлейфов;
- устройство уступов при сооружении насыпей вторых путей и на косогорах;
- нарезка кюветов в выемках.

Таблица 2 – Результаты расчётов смещения кривой при увеличении радиуса

Порядковый номер	Дополнение пикета, м	Величина нормали, м
1	8,033	0,027
2	28,033	0,327
3	48,033	0,962
4	68,033	1,930
5	88,033	3,233
6	108,033	4,873
7	128,033	6,850
8	148,033	9,166
9	168,033	11,823
10	188,033	14,823
11	208,033	18,170
12	228,033	21,865
13	248,033	25,913
14	268,033	30,317
15	288,033	35,081
16	308,033	40,190
17	328,033	44,931
18	348,033	49,304
19	368,033	53,315
20	388,033	56,970
21	408,033	60,277
22	428,033	63,240
23	448,033	65,865
24	468,033	68,155
25	488,033	70,114
26	508,033	71,146
27	528,033	73,054
28	548,033	74,040
29	568,033	74,705
30	588,033	75,051
31	608,033	75,077
32	628,033	74,785
33	648,033	74,174
34	668,033	73,243
35	688,033	71,989
36	708,033	70,412
37	728,033	68,507
38	748,033	66,273
39	768,033	63,705
40	788,033	60,800
41	808,033	57,551
42	828,033	53,955
43	848,033	50,004
44	868,033	45,693
45	888,033	41,014
46	908,033	35,918
47	928,033	31,093
48	948,033	26,629
49	968,033	22,522
50	988,033	18,767
51	1008,033	15,362
52	1028,033	12,304
53	1048,033	9,589
54	1068,033	7,216
55	1188,033	5,182
56	1108,033	3,486
57	1128,033	2,126
58	1148,033	1,101
59	1168,033	0,411
60	1188,033	0,054

В случаях годности грунтов выемок и недостатка грунта для возведения насыпей допускается уширение выемок, которое должно производиться с той стороны, где в дальнейшем возможно строительство вторых путей. Выемки необходимо уширять по всей их длине, придавая образуемым в результате уширения закуветным полкам уклон 2–4 ‰ в сторону кювета. Если уширение выемки не превышает 4 метра, то кюветы устраивают у пути; при этом они принимают воду, стекающую с откосов выемки и полки. Если же выемки уширяют на величину более 4 метров, расположение кюветов назначается с учётом местных условий.

Насыпи лучше всего возводить из однородных грунтов. Отсыпаемый грунт следует разравнивать горизонтальными слоями или с уклоном 2 ‰ к откосам по всей ширине насыпи. При необходимости использования разнородных грунтов укладка их в насыпь также должна осуществляться горизонтальными слоями, причём каждый слой должен состоять из однородного грунта. Отсыпку слоёв грунта производят, как правило, от краёв к середине и лишь на мокрых (слабых) основаниях и болотах отсыпку подводной части насыпи ведут от середины к краям. Если горизонтальный слой песчаного грунта располагают над слоем глинистого грунта, поверхности последнего придают поперечный уклон 4 ‰ от середины к краям насыпи. Если же слой песчаного грунта располагают под слоем глинистого, поверхность слоя песчаного грунта подлежит выравниванию без придания уклонов. Запрещено покрывать откосы насыпей грунтами с худшими фильтрационными свойствами, чем у грунта, находящегося в теле насыпи, за исключением покрытия откосов растительным грунтом при посеве травы. Движение транспортных средств, отсыпанных на насыпи очередной слой, необходимо регулировать по всей его ширине. Каждый слой следует разравнивать, соблюдая проектный продольный уклон.

Комплекс работ по возведению новых насыпей железнодорожного полотна представляют собой комплекс технологических процессов, схем и карт.

Для устройства притрассовых грунтовых карьеров выделяют земли несельскохозяйственного назначения либо сельхозугодья худшего качества, а из земель лесного фонда – участки, не покрытые лесом или занятые кустарником или малоценными насаждениями. Проект разработки временного карьера должен включать схемы и режимы работы карьера, схемы подъездных путей, мероприятия по технике безопасности и по рекультивации земель, нарушенных при разработке. Подготовленный фронт работ в карьере должен обеспечивать не менее чем 15-суточную производительность машин, разрабатывающих грунт.

Получено 01.04.2021

P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, V. A. Carikov, S. S. Gaponik. Basic technical solutions to increase problems train speeds on the Belarusian railway.

Increasing the speed of trains is possible when rebuilding curved sections by increasing the radius of the curve and erecting a new roadbed. Before starting work on the construction of a new roadbed, it is necessary to make an engineering and geodetic survey of the area on which these works will be carried out. The specified coordinates determine the new length of the curved section of the path and calculate the normals, that is, the shifts of the path from the existing axis.

Также для устройства котлованов, каналов, намыва земляного полотна дамб, плотин, насыпей и других земляных сооружений в специально отведённых карьерах применяются плавучие земснаряды. Земснаряд соединяют с магистральным пульпопроводом, проложенным по берегу, с помощью плавучего пульпопровода. При небольшой удалённости до начала места строительства магистральные пульпопроводы подводят непосредственно на строительную площадку. При отсутствии такой возможности грунт, разработанный таким способом, намывается в отвалы и далее транспортируется грузовым наземным транспортом.

Заключение. Таким образом, повышение скоростей движения поездов на участке Могилев – Жлобин – Гомель возможно при проведении ремонтных работ, а также после переустройства криволинейных участков путём увеличения радиуса кривой и возведением нового земляного полотна. В отдельных случаях можно применять составы с наклоном кузова. Необходимо детально рассматривать каждое направление, учитывать радиусы кривых, уклоны, возвышение наружного рельса и другие параметры пути.

Список литературы

- 1 **Ерофеев, А. А.** Проблемы повышения скорости движения поездов на существующих железнодорожных линиях / А. А. Ерофеев, П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская / Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 2 (37). – С. 57–60.
- 2 ТР ТС 003/2011 О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта. – Введ. 15.07.2011. – М.: Росстандарт, 2011. – 66 с.
- 3 СНБ 3.03.01–98 Железные дороги колеи 1520 мм. – Взамен СНиП II-39–76, СНиП III-38–75 и СН 468–74; введ. 01.08.1998. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 1998. – 39 с.
- 4 Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги. – Введ. 01.07.2016. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2016. – 300 с.
- 5 Железные дороги колеи 1520 мм. СНБ 3.03.01–98 Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 1998.
- 5 ТКП 45–3.03–163–2009 (02250). Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2010.
- 6 Технический паспорт Могилёвской дистанции пути по состоянию на 01.01.2020 г. Форма АГУ–4. – Могилев, 2020.
- 7 **Ковтун, П. В.** Анализ изменения длин переходных кривых при введении подвижного состава с наклоном кузова на существующих железных дорогах / П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская, Н. Ю. Губенский // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 2 (39). – С. 40–43.