

УДК 625.141.2

**А. А. Третьяков**Петербургский государственный университет путей  
Императора Александра I**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ БАЛЛАСТА  
ПРИ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОМ РЕМОНТЕ  
НА БАЗЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПУТИ**

Рассмотрена оптимизация толщины балласта при механизированных выправках пути на базе цифровой модели пути на основе оценки величины и интенсивности эксплуатационной осадки пути. Обоснована технология содержания железнодорожных путей на базе ГНСС с учетом толщины балласта. Описана новая организация работ и подготовка проектной документации при планово-предупредительном ремонте железнодорожного пути, обоснована безопасность нововведений, рассмотрены ключевые источники экономического эффекта от реализации технологии.

толщина балластной призмы, эксплуатационная осадка железнодорожного пути, планово-предупредительный ремонт пути, продольный профиль, цифровая модель пути, комплексная система пространственных данных.

**Введение**

На период до 2015 г. ОАО «РЖД» утвердило Распоряжение от 3 декабря 2010 г. № 2511 «О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта» (КСПД ИЖТ) [1].

Координатный метод контроля и выправки пути, основанный на системе непрерывного координатно-цифрового описания пути с применением общеевропейской системы координат ETRS, стандартов Международной организации по стандартизации ISO и методов спутникового позиционирования, признан Международным союзом железных дорог наиболее действенным [2]. Заложённая в КСПД ИЖТ цифровая модель пути (ЦМП) позволяет решать различные задачи в зависимости от потребностей содержания инфраструктуры железнодорожного транспорта и открывает перспективы объединения обслуживаемых ею систем и непрерывного координатно-цифрового описания.

В частности, ЦМП позволяет механизированной выправкой поставить железно-

рожный путь в проектное положение, заданное последним капитальным ремонтом или новым строительством. Но отметка железнодорожного пути неизбежно уменьшается по мере пропуска тоннажа из-за уплотнения балласта и процессов в земляном полотне (диффузии балласта и грунта насыпи, деформации основной площадки земляного полотна (ОПЗП), уплотнения грунта по всей высоте, просадки основания из-за выдавливания слагающих его грунтов и др.). Это необходимо учитывать при восстановлении балластной призмы в абсолютных системах координат, привязанных к сети референчных станций ЦМП, а не к локальным объектам (опорам контактной сети и т. д.).

Рациональный подход к содержанию пути состоит в уменьшении отметок профиля, гарантирующем обеспечение критериев безопасности пути и сокращение затрат на ремонт, так как содержание пути предполагает его эксплуатационную осадку. Поэтому необходимо определить оптимальное положение, в котором следует устанавливать путь механизированной выправкой. Разработан-

ная ЗАО «Росжелдорпроект» технология проведения планово-предупредительного ремонта на базе ЦМП ведет к нежелательному перерасходу щебня, увеличению объемов работы путевой техники, затрат на эксплуатацию хоппер-дозаторных вагонов, тягу подвижного состава.

### 1 Технология постановки пути в оптимальное положение на базе ЦМП

В соответствии с требованиями технических условий на ремонт, реконструкцию и модернизацию пути, машинизированная выправка пути при планово-предупредительном ремонте (ППР) должна обеспечивать полноту балласта не по толщине слоя под шпа-

лой, а по поверхности, чтобы восстановить продольно-поперечную устойчивость рельсошпальной решетки и равномерную упругость подрельсового основания [3]. Поскольку эксплуатационные нагрузки, заложенные в конструктивные нормы, как правило, не вызывают предельных состояний, при проведении ППР рационально определять оптимальную величину подъема пути, обеспечивающую:

- план и профиль пути в соответствии с нормами;
- толщину балласта, не нарушающую несущую способность.

Положение, обеспечивающее железнодорожный путь без отступлений от норм содержания, минимум выправочных работ, потребный минимум балластировки, названо межпроектным положением пути (МПП) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Межпроектное положение пути



Рис. 2. Оптимальный профиль пути

МПП – положение пути, отличное от проектного, предварительно рассчитанное на базе ЦМП, которое не имеет отступлений от норм содержания колеи, допускает эксплуатацию с установленными скоростями и нагрузками, используется для постановки пути при текущем содержании и ППР.

## 2 Осадка щебня и балластировка пути

Перед разработкой межпроектного положения пути и определением оптимальной толщины балласта необходимо оценить характер и степень его деформирования.

На осадку щебня влияют конструкция пути (уклон, модуль упругости пути, качество уплотнения грунта и балласта), условия эксплуатации (осевая нагрузка, грузонапряженность, скорость движения), климатические особенности (глубина промерзания пути, влажность, сезонность осадков). В диссертационном исследовании Е. С. Ашпиза получены выводы, что осадка пути на 80–90% является следствием процессов в балласте и на 10–20% – в земляном полотне [4]. С. И. Сахарчук в своем исследовании воздействия поездных напряжений и их количества на ОПЗП делает вывод, что на осадку пути влияет и уклон неровности, увеличивая интенсивность осадки в местах развития неисправностей пути [5]. Толщина балласта в призме падает также при очистке щебня с укладкой обратно в путь, при подъеме или исправлении положения пути в плане и в профиле (щебень пере-

мещается под постель шпалы и уплотняется). Он восстанавливается до проектных отметок досыпкой балласта и подбивкой пути. Расчетную схему иллюстрирует рис. 3.

При балластировке щебень занимает весь объем балластной призмы, кроме погруженной в балласт части шпал. Его объем прямо пропорционален величине подъема пути. Эта описывает формула

$$V = \left( \frac{S_{\text{осн}} \cdot \Delta h \cdot n \cdot l}{1000} + l \cdot \Delta h \cdot (l_{\text{ш}} + 2 \cdot b + \Delta t) - \frac{S_{\text{верха}} \cdot \Delta h \cdot n \cdot l}{1000} \right) \Delta k_{\text{разрыхл}}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{осн}}$  – площадь основания шпалы (0,41325), м<sup>2</sup>;  $\Delta h$  – величина подъема пути (0,01–0,1), м;  $n$  – эпюра шпал, шт./км;  $l$  – длина пути, км;  $l_{\text{ш}}$  – длина шпалы, м;  $b$  – ширина шпалы, м;  $S_{\text{верха}}$  – площадь шпалы на уровне средней части (0,3144), м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – горизонтальная проекция откоса досыпаемой части балласта ( $1,5 \cdot h$ ), м;  $k_{\text{разрыхл}}$  – коэффициент разрыхления балласта.

Для подъема пути на соответствующую величину на путях 1–3 классов необходимо досыпать щебень (табл. 1).

В среднем на 1 см необходимо 49 м<sup>3</sup> щебня/км пути, что требует непосредственных затрат на балласт, расходов на его транспортировку, эксплуатацию хоппер-дозаторных вагонов, тягу подвижного состава.

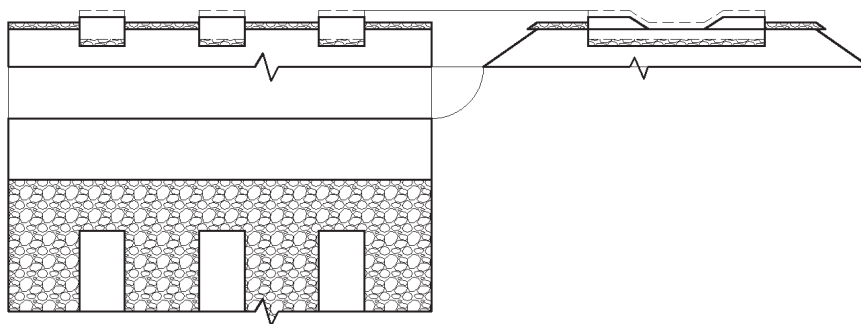


Рис. 3. Расчетная схема балластировки

ТАБЛИЦА 1. Расход щебня на подъем пути

$\Delta h$	м	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$V$	м <sup>3</sup> /км	48,7	97,8	147,3	197,1	247,3	297,9	348,9	400,2	451,9	504,0

### 3 Расчет работоспособности и надежности конструкции пути при реализации описываемой технологии

Для утвержденного порядка проектирования механизированной выправки и допускаемой в эксплуатацию конструкции пути описываемая технология предусматривает некоторые изменения с подтверждением их безопасности:

- напряжений на основной площадке земляного полотна при изменении толщины балласта под шпалой;
- приведенной длины пути при равномерной эксплуатационной осадке пути.

#### 3.1 Расчет напряжений на основной площадке земляного полотна

Ключевое место в нормах проектирования занимают критерии прочности в элементах конструкции пути, превышение которых несомненно вызовет превышение интенсив-

ности накопления остаточных деформаций в элементах конструкции пути.

В работе проведен расчет напряжений на ОПЗП пути с рельсами Р65 с вертикальным износом головки рельса 6 мм, железобетонными шпалами с эпюрой 1840/2000 шп./км, для 4-осного вагона и скорости движения 80 км/ч. Расчетные параметры подвижного состава и конструкции пути приведены в табл. 2, 3, соответственно.

Напряжения на ОПЗП под балластом рассчитаны в соответствии с «Методикой оценки воздействия подвижного состава на путь» [6] в зависимости от его толщины под шпалой (рис. 4).

В методике допустимые напряжения в подбалластной зоне выведены для насыпи, сложенной суглинками, из условия недопущения превышения интенсивности накопления остаточных деформаций [6]. А на полигоне оснащения ЦМП (Москва – Санкт-Петербург – Бусловская) эксплуатируются железнодорожные пути, под слоем чистого балласта которых имеется слой балластных материалов

ТАБЛИЦА 2. Параметры подвижного состава

Показатель	4-осный вагон	
Статическая нагрузка, $P_{ст}$	11000	
Необрессоренная масса, $q$	995	
Жесткость рессор, $Ж$	200	
Диаметр колеса, $d$	95	
Количество осей в тележке	2	
Колесная формула	185	
Коэффициент учета влияния боковых сил, $f$	Прямая	Кривая
	1,18	1,28

ТАБЛИЦА 3. Параметры конструкции пути

Показатель	Ед. изм.	Прямая	Кривая
Модуль упругости подрельсового основания, $U$	кгс/см <sup>2</sup>	1500	1670
Коэффициент относительной жесткости подрельсового основания, $k$	см <sup>-1</sup>	0,01536	0,01578
Расстояние между осями шпал, $l_{ш}$	см	55	51
Коэффициент, учитывающий влияние на образование динамических неровностей пути, $L$	–	0,261	0,261
Коэффициент, учитывающий соотношение необрессоренной части колеса и участие во взаимодействии массы пути, $\alpha_0$	–	0,403	0,403
Площадь подкладки, $\omega$	см <sup>2</sup>	518	518
Площадь полшпалы с поправкой на изгиб, $\Omega_u$	см <sup>2</sup>	3092	3092
Момент сопротивления рельса относительно наиболее удаленного волокна на подошве, $W$	см <sup>3</sup>	417	417

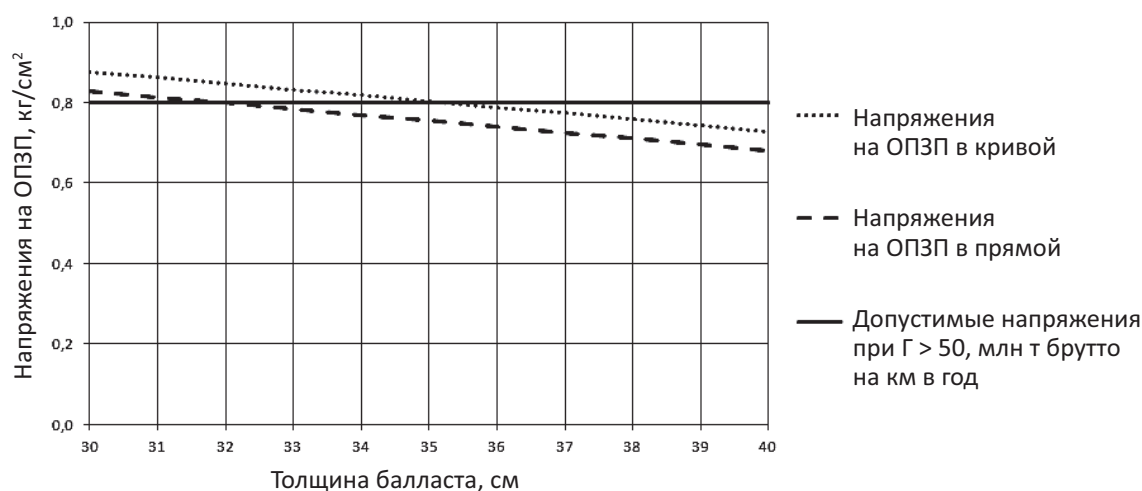


Рис. 4. Расчет напряжений на ОПЗП под 4-осный вагон ЦНИИ-ХЗ

(утрамбованная смесь грунта насыпи, щебеночного балласта и засорителей) толщиной 0,5–1,5 м. Их прочность выше прочности песчаных и глинистых грунтов, как правило, слагающих тело насыпи. То есть уменьшение эффективной рабочей толщины чистого или очищенного балластного слоя с высокой долей вероятности не будет иметь выраженных негативных последствий.

### 3.2 Расчет изменения приведенной длины продольного профиля при равномерной эксплуатационной осадке пути

Изменение положения пути в профиле ведет к удлинению эксплуатируемых рельсовых плетей и увеличивает в них температурные напряжения. Действительно, полная длина

элементов меняется, но их горизонтальное положение остается неизменным (рис. 5). А при одинаковых конструкции и условиях эксплуатации пути величина его осадки зависит от прочностных характеристик и уклона элементов профиля.

Для проверки возможности изменения профиля пути была смоделирована его равномерная осадка. В основе расчетной схемы – участок длиной 9,3 км. Предполагается, что он равномерно оседает на величину от 1 до 5 см с шагом 1 см и 10 см. При этом изменяются уклоны на отдельно взятых элементах профиля, полные длины элементов профиля.

На участке имеется объект с устойчивым пространственным положением (мост на ПК 33+00,00 м), высотные отметки на котором

не изменяются (103 м). Результаты расчета приведены в табл. 4.

Смоделированная равномерная осадка пути показала несущественное изменение длины элементов при понижении рабочих отметок профиля по всей длине перегона. То есть установка пути в межпроектное положение не приводит к заметному нарушению плана и профиля пути, не ухудшает эксплуатационные условия, не приводит к значительному увеличению напряжений в рельсах из-за изменения длины рельсовых плетей.

Путь оседает равномерно по всей длине, сохраняя длину элементов и их уклон. Они меняются только у элементов, подходящих к устойчивым в пространстве объектам (станции, отдельному пункту, мосту и т. д.).

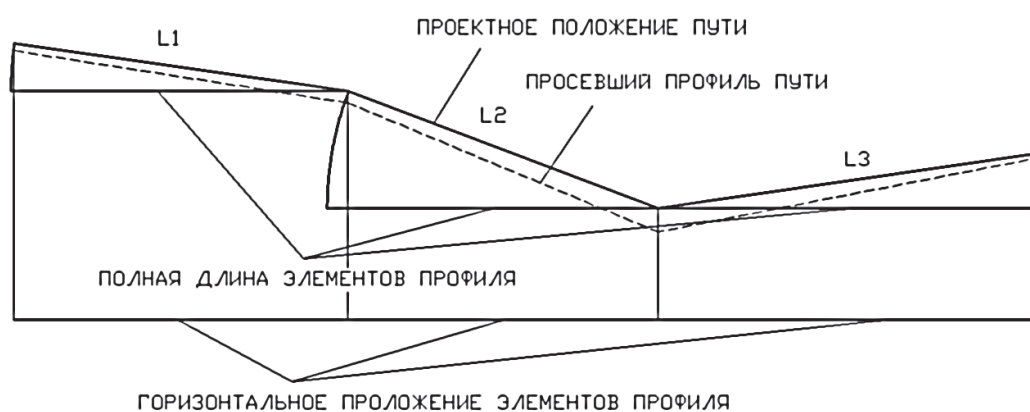


Рис. 5. Полная и приведенная длина пути

ТАБЛИЦА 4. Расчет изменения длин элементов профиля

Показатель	$L$ до моста, м	$L$ после моста, м	$L$ полная, м	
Длина элемента профиля	3300	5800	9300	
Полная длина элементов	3500,14300	5800,136043	9300,58700	
Полная длина элементов при величине осадки пути, м	0,01	3500,02666	5800,136110	9300,16277
	0,02	3500,02662	5800,136177	9300,16280
	0,03	3500,02658	5800,136243	9300,16283
	0,04	3500,02655	5800,136311	9300,16286
	0,05	3500,02651	5800,136378	9300,16289
	0,1	3500,02634	5800,136722	9300,16729

#### 4 Практическая значимость и внедрение

Реализация технологии оптимизации толщины балласта при механизированной выправке пути на базе ЦМП позволяет получить экономию за счет уменьшения:

- объемов балластировки при выполнении планово-предупредительных ремонтов;
- объемов выправочных работ и, как следствие, времени работы выправочных машин;
- количества хоппер-дозаторных вагонов в составе путеремонтных поездов;
- расходов на тягу подвижного состава (незначительно).

Экономия средств за счет сокращения расходов балласта составит:

$$\begin{aligned} Z_{\text{щебень}} &= V_{\text{щ}} \cdot C_{\text{щ}} = \\ &= 48,7 \cdot 0,85 = \\ &= 41,395 \frac{\text{тыс. руб.} \cdot \text{см подъема}}{\text{км пути}}. \quad (2) \end{aligned}$$

На путях с условным приведенным модулем деформации подбалластного основания Е 53–36 МПа на первые 100 млн т брутто тоннажа, пропущенного после ремонта, осадка балласта составит 22–27 мм. Она достаточно равномерна по всей длине участка пути и имеет большие значения в местах развития неисправностей пути.

При уменьшении высоты подъема на 2 см экономия щебня составит 65–80% от соответствующих норм расхода материала [7], оставшаяся часть необходима для ликвидации неисправностей и восстановления типового очертания балластной призмы.

Эксплуатационная осадка пути к моменту назначения планово-предупредительного ремонта более 5–6 см технически невозможна. Она является следствием грубых нарушений норм проектирования, строительства или эксплуатации железнодорожного пути.

Экономия затрат на работе и эксплуатации подвижного состава складывается из сокращения:

- объемов выправочных работ и, как следствие, времени работы выправочных машин;
- количества хоппер-дозаторных вагонов в составе путеремонтных поездов;
- расходов на тягу подвижного состава (незначительно).

Поскольку сокращение количества потребного для балластировки пути щебня уменьшает необходимое количество хоппер-дозаторных вагонов, сокращается длина поезда и его масса, т. е. затраты на тягу.

Определиться со снижением затрат от эксплуатации выправочных машин можно только пересчетом машинно-сменной сметы.

#### Заключение

Разработка, внедрение и совершенствование координатных методов контроля и выправки пути необходимы для дальнейшего развития в России систем непрерывного координатно-цифрового описания объектов железнодорожной инфраструктуры.

Технология постановки железнодорожного пути при выполнении ремонтов, включающих механизированную выправку пути на базе ЦМП, в положение, оптимизированное по толщине балластного слоя, выгодно отличается от существующей. Она позволяет сократить прямые и сопутствующие расходы на ремонты и не создает угрозы безопасности.

#### Библиографический список

1. **О создании** комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта : распоряжение ОАО «РЖД» № 2511 р от 3.12.2010 г.
2. **Проблемы** создания и ведения цифровой 3D-модели железнодорожного пути / У.Д. Самра-тов. – URL: [http://agpmeridian.ru/image\\_content/publications/problems\\_of\\_creating.pdf](http://agpmeridian.ru/image_content/publications/problems_of_creating.pdf) (дата обращения 18.08.2014).
3. **Технические** условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железно-

рожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 75 р. от 18.01.2013 г.

4. **Мониторинг** эксплуатируемого земляного полотна : теоретические основы и практические решения : дисс. ... докт. техн. наук (05.22.06) / Е. С. Ашпиз. – Москва, 2002. – 396 с.

5. **Моделирование** процесса накопления остаточных деформаций в однородных средах и двухслойных системах / С. И. Сахарчук, В. А. Федорова // Вестн. РГРТУ. – 2009. – № 3 (вып. 29). – С. 60–65.

6. **Методика** оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности : распоряжение ОАО «РЖД» № ЦПТ-52/14 от 16.06.2000 г.

7. **Временные** нормы расхода материалов на усиленный средний и средний, подъемочный и усиленный подъемочный ремонты пути, планово-предупредительную выправку и текущее содержание пути : распоряжение ОАО «РЖД» № п245ц-09 от 29.05.2009 г.

УДК 625.111

**Х. К. Умаров, Е. С. Свинцов**

Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

## **СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ АНГРЕН – ПАП И ЕЕ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

В статье указаны причины строительства новой электрифицированной линии Ангрэн – Пап. Даны обоснование технических решений, расчет времени хода поездов, пропускной и провозной способности участка, анализ схем овладения перевозками, описание конкурентоспособности железнодорожной линии по сравнению с автомобильным транспортом в плане народнохозяйственных перевозок. Единая транспортная система оказывает многостороннее влияние на развитие экономики страны, что особенно важно в условиях протяженности Республики Узбекистан и транспортной разобщенности ее отдельных регионов.

линия Ангрэн – Пап, перевал Камчик, пропускная способность, провозная способность

### **Введение**

С первых дней независимости руководство страны уделяет большое внимание поэтапному соединению железной дороги всех регионов с центром страны и созданию единой независимой транспортной системы Республики Узбекистан. Развитие транспортного сектора экономики имеет особое значение для Узбекистана из-за обширной территории

и неравномерного распределения ресурсов, поэтому строительство железной дороги Ангрэн – Пап очень важно. Ранее доступ к северо-западному и восточному участкам был возможен только через территории соседних государств – Туркменистана (Ходжадавлат – Найманкул и Талимарджан – Болдыр) и Таджикистана (Бекабад – Коканд) (рис. 1).