



Механизм образования выплесков в балластной призме



Александр АБРАШИТОВ

Alexander A. ABRASHITOV

Mechanism of Splash Formation in Ballast Prism Section

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 215)

В статье рассматривается механизм поведения балластной призмы железнодорожного полотна в период между очистками или заменой балласта, исследуются возможности предотвращения образования выплесков, разрушающих прочность базовых элементов и геометрию пути. Называются меры и способы профилактики возникающих угроз и рисков с точки зрения безопасности эксплуатации дорог.

Ключевые слова: железнодорожный путь, щебёночный балласт, выправка, выплеск, безопасность эксплуатации, инженерные решения.

Абрашитов Александр Ахметович – старший преподаватель кафедры «Путь и путевое хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Как известно, призма балластного слоя, устроенная из любых материалов, с точки зрения работы ее под воздействием поездной нагрузки разделяется на два слоя – верхний и нижележащий.

Верхний слой является активным, деятельным. Он наиболее интенсивно подвергается изменениям по толщине, гранулометрическому составу материала, загрязнению и перемещениям частиц в различных направлениях. Указанные процессы находятся в прямой зависимости от размеров динамических воздействий подвижного состава, грузонапряженности участка, типа верхнего строения пути, климатических условий, района прохождения линий и ряда других факторов.

У щебеночных материалов деятельный слой различается в зависимости от размеров зерен щебня и характеризуется тремя различными явлениями: перемещением частиц самого материала, загрязнением балластного слоя и взаимопрониканием щебня и материала разделительного слоя. Перемещение неразрушившихся частиц щебеночных материалов незначительно и происходит

на очень малой глубине под подошвами шпал, а засорение и загрязнение как разрушившимися частицами самого щебня, так и посторонними засорителями распространяются через пустоты в щебне на всю толщину слоя этих материалов до подушки или на часть толщины его. Засорители в преобладающем количестве концентрируются около шпал в верхнем слое. В щебне фракции 25-60 мм засорители задерживаются по большей части в верхнем слое, но существенное их количество проникает глубже, что дает возможность щебню этой фракции работать в пути более длительный срок по сравнению с балластом, содержащим более мелкие частицы [2].

Под повторными нагрузками от пропущенного тоннажа путь постепенно деформируется по вертикали и горизонтали, вызывая отступления от требуемой геометрии. Поскольку эти отступления происходят, как правило, неравномерно, следует увеличение динамических нагрузок, которое, в свою очередь, вызывает еще большее количество нарушений. В большинстве случаев в текущем содержании железнодорожного пути для исправления дефектов геометрии пути, возникающих в результате неоднократных динамических нагрузок, используется подбивка балласта. Процесс выправки подбивкой включает в себя подъем и рихтовку пути для получения требуемой геометрии с одновременной переупаковкой верхней части балластного слоя для заполнения пустот под шпалами, что позволяет сохранять шпалы в их верхнем положении [1].

Однако это сопровождается некоторыми повреждениями балласта из-за трамбовки, разрыхления его постели и первоначального снижения сопротивляемости к боковым смещениям и пучению пути [2]. Последующие выправки приводят к увеличению просадок в связи с ухудшением качества балласта от истирания гранул щебня и его засорения в процессе работы пути под поездами. В конечном итоге снова возникает необходимость выполнения выправки.

За период времени между подбивками мелкодисперсные частицы из разных источников загрязнения накапливаются

в щебне, и этот момент известен как процесс накопления [2]. В результате ухудшаются такие функции балласта, как дренаж и способность сохранять геометрию после выправки подбивкой, а сам балласт требует замены или очистки. Подобный процесс можно назвать циклом межремонтного обслуживания или жизненным циклом балласта [1]. И он, по сути, определяет сроки между капитальным и средним ремонтами.

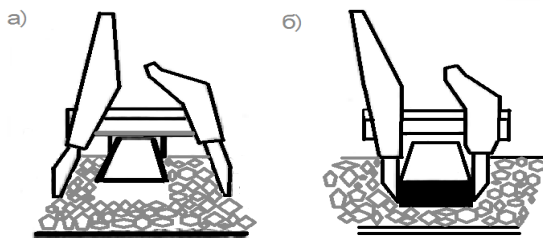
Функции выправочно-подбивочно-рихтовочных (ВПР) машин по выправке пути в плане состоят в том, что подбивочные рабочие органы (бойки) погружаются в балласт между шпалами и затем сжимаются навстречу друг другу под шпалой (рис. 1) с вибрацией. Это вызывает истирание острых граней частиц балласта и его измельчение (то есть создаются частицы более мелкой фракции, чем нижняя граница (размер) фракционного состава балласта или засорители). Подбивки могут выдавать значительный объем засорителей, вызванный в основном воздействием переупаковки балласта под шпалой и дальнейшей его стабилизацией [1]. Факторы, влияющие на количество балластных засорителей, связаны с типом балласта, силой сжатия бойков, их вибрационными характеристиками и количеством погружений инструмента, приходящегося на определённую машину.

Одним из последствий совокупных пластических деформаций балласта, в том числе просадок, является то, что между нижней опорной поверхностью шпалы и балластом может образовываться просвет. Просвет может также появиться от подъема пути впереди колеса (рис. 2). Затем происходит быстрое закрытие просвета от приложенной нагрузки колесной пары. Если просвет заполняется водой в сочетании с частицами балласта малого размера, процесс сильной эрозии может увеличить скорость развития просадки под шпалой. Это явление приводит к росту величины темпа просадки и увеличению скорости снижения качества балласта [2].

Анализ изменений геометрии пути и причин, их вызывающих, показывает, что в большинстве случаев балласт становится главным элементом, который



Рис. 1. Механизм уплотнения балласта под шпалой: а) вставка бойков; б) сжатие.



подвергается просадочному процессу между операциями выправки пути в продольном профиле. Причем довольно часто просадочный процесс сопровождается образованием выплесков [2].

Особенно серьезная проблема загрязнения балласта отмечается в зоне рельсовых стыков, подвергающихся повышенным динамическим воздействиям колес подвижного состава. В такой зоне частицы балласта подвергаются расслоению и формируют мелкодисперсный порошок. Этот порошок в сочетании с водой образует пульпу, которая разрушает балласт, образуя пустоты под шпалами. В таких случаях, называемых выплесками, установлено, что материал загрязнения содержит частицы от 10 мм до размера глины, а доминирующим становится размер частиц мелкого песка. Разрушение

постели шпалы вследствие дробления частиц балласта связано с высоким гидравлическим градиентом жидкой суспензии под шпалой, особенно там, где развиты пустоты (рис. 3). Скорость приложения нагрузки в сочетании с величиной нагрузки на ось является определяющим фактором разрушения балласта, сопровождающегося его эрозией [1].

Под влиянием поездной нагрузки шпала перемещается вниз, что приводит к высокому давлению жидкости в виде пульпы под шпалой. Этот избыток давления жидкости рассеивается в виде брызг. Брызги летят по направлению в стороны и вверх из-под шпалы. Чем выше скорость движения, тем выше скорость приложения нагрузки и тем выше индуцированное давление воды. Однако на участках с установленными скоростями не бо-

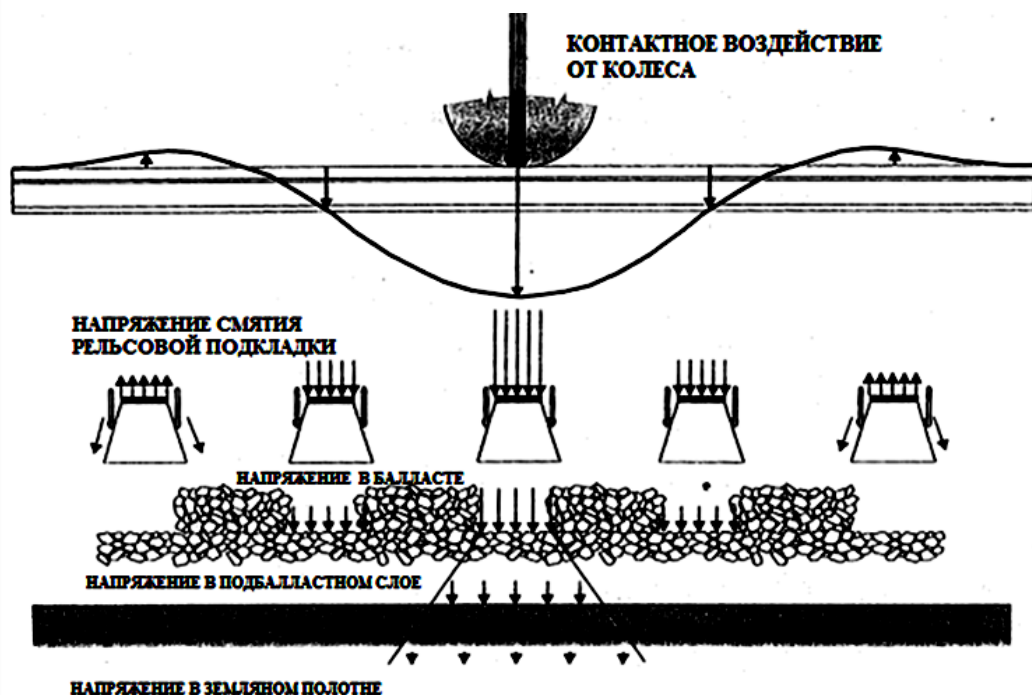


Рис. 2. Распределение напряжений в элементах высокоскоростного пути от прохода одиночной колесной пары.

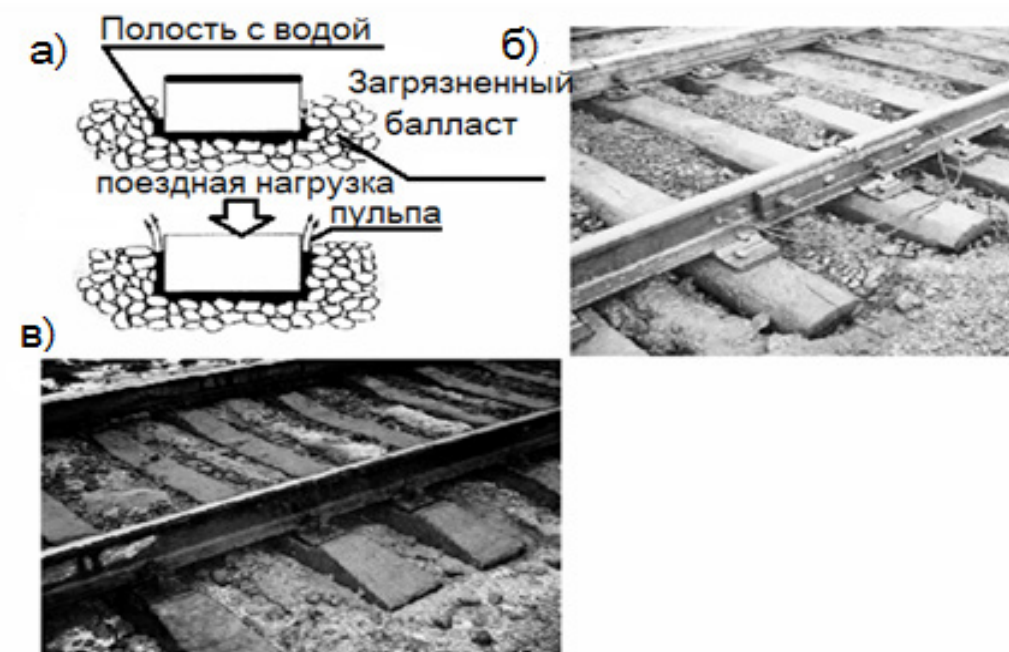


Рис. 3. а) механизм действия смеси абразива и воды на балласт; б) вытеснение балласта из-под шпалы; в) «заражение» соседних шпал (сплошной выплеск).

лее 40 км/ч этот тип отказа встречается редко.

Проблема гидравлической эрозии также может быть инициирована другими источниками загрязнения (руда, угольная пыль, цемент, разуплотнение грунта основной площадки земляного полотна), вызывающими непроницаемость балласта вокруг шпалы, что чревато накоплением грязеводяной пульпы [2].

Размывающего действия пульпы вполне достаточно для вытеснения частиц балласта вокруг шпалы, как показано на рис. 3. Это приводит к снижению бокового сопротивления шпалы сдвигу.

Полученный в результате разрушающего действия пульпы материал с высокоабразивными свойствами способен даже разрушить бетонные шпалы, а в худшем случае обнажить на них арматуру предварительного напряжения [1]. Продукт этой эрозии – добавочная причина дальнейшего снижения проницаемости балласта вокруг шпалы и добавления абразивности к выплескиваемым жидкостям.

Выплеск образовавшейся грязи может за счет смеси тонкодисперсных частиц и воды привести к загрязнению балласта окружающих (соседних) шпал (рис. 3), тем

самым развивая дефект и усиливая гидравлическую эрозию. Такой механизм способен усугубить отказ до сплошного выплеска, распространяющегося от близлежащих шпал (где обычно начинается проблема) на прилегающие к ним участки.

Факторами, способствующими возникновению этого типа отказов, являются:

- 1) Неудовлетворительный дренаж.
- 2) Высокие контактные напряжения, передающиеся от железобетонных шпал к частицам балласта.
- 3) Низкая износостойкость материала балласта.
- 4) Воздействие на шпалы гидравлических эффектов [2].

Примеры таких ситуаций были выявлены в верхних слоях загрязненного балласта, находящихся над чистым балластом. Представляется, что этот тип разрушения ускоряет развитие эрозии из-за увеличения концентрации образующейся пульпы, её гидравлических скоростей и силы удара. Истощение балласта в постели шпалы, вызванное балластной пульпой, можно предотвратить с помощью балластного материала, который обладает высокой устойчивостью к естественному разрушению.





Балласт под шпалой может быть оздоровлен его очисткой или новым балластом, который обладает повышенной устойчивостью к истиранию, и обеспечением хороших дренажных свойств [3].

Загрязнение балласта приводит к тому, что оно препятствует выполнению балластной призмой своих функций. Наличие в балласте частиц загрязнения, имеющих размер, соответствующий размеру частиц мелкого песка и дробленых частиц щебня нижнего размера фракционного состава, увеличивает прочность на сдвиг и жесткость балласта. Эти частицы повышают стабильность и устойчивость к пластической деформации до тех пор, пока более крупные частицы поддерживают общий скелет балластной призмы, при этом увеличивается и сопротивление промерзанию. Однако одновременно сокращается объем пустотного пространства и уменьшается эластичность балластной призмы. Операции выправки и рихтовки становятся все сложнее, поскольку балластные пустоты заполнены. Дренаж постепенно снижает свою эффективность, но может оставаться удовлетворительным, пока большинство пустот не заполнится мелкими частицами [2].

Потеря функциональности балластной призмы главным образом происходит, когда материалы загрязнения содержат частицы размера ила или глины. Количество этих частиц, которые приводят к возникновению серьезных проблем, зависит от количества и размера компонентов более крупных дробленых частиц, ибо те уменьшают поровое пространство, делают его меньшим и объединяются с частицами абразивной суспензии. Глинистые частицы не образуют абразивного шлама, но образуют илистые частицы. Оба типа частиц препятствуют дренажу, и потому будет происходить значительное ухудшение свойств балласта, поскольку вода — неизбежный источник рисков при текущем содержании балластной призмы. Наиболее разрушающими воздействиями на балласт отличаются:

- гидравлическая эрозия, истирание;
- деформация земляного полотна;
- потеря стабильности за счет смазки частиц балласта смесью воды и тонкодисперсных частиц.

В конечном итоге при достаточно высокой степени загрязнения (30% и более) эксплуатировать балластную призму и поддерживать удовлетворительную геометрию пути становится невозможно. При растущем загрязнении от разрушения частиц балласта выправки подбивкой становятся неэффективными по следующим причинам:

1) когда загрязнителем является сухой дробленый балласт, бойкам ВПР-машин трудно проникнуть в него и тем более переупаковать гранулы, которые остаются в неизменном состоянии;

2) когда балласт увлажняется, частицы на контакте покрываются смазкой, смешанной с дробленным балластом, причем последний имеет ослабленную структуру после выправки [4].

Трудоемкость обслуживания будет расти потому, что состояние балласта станет неудовлетворительным, особенно в слоях с наличием илистых и глинистых частиц, а это потребует глубокой его очистки и пополнения (при средних и капитальных ремонтах).

Изложенное позволяет сделать вывод, что в соответствии с идеологией технического обслуживания пути на принципах планово-предупредительных ремонтов с выплесками необходимо своевременно бороться, используя результаты комплексной диагностики пути, выявляя их наличие на ранней стадии процессов эрозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Selig, E. T. and Waters, J. M. Track Geotechnology and Substructure Management. Thomas Telford Services Ltd., London, 1994, 446 p.
2. Попов С. Н. Балластный слой железнодорожного пути. — М.: Транспорт, 1965. — 183 с.
3. Indraratna, B., Khabbaz, H., Salim, W., Christie, D. Geotechnical Properties of Ballast and the Role of Geosynthetics, Journal of Ground Improvement, 10(3), 2006, pp. 91-102.
4. Indraratna, B., Salim, W. Mechanics of Ballasted Rail Tracks: A Geotechnical Perspective. Taylor & Francis / Balkema, 2005, 226 p. ●

Координаты автора: Абрашитов А. А. — abr54@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 13.11.2014, принята к публикации 21.02.2015.