

# Поведение балласта В ПУТИ

Эксплуатация железных дорог, в том числе содержание пути (включая балластный слой), осуществляется в условиях жестких ограничений финансирования, поэтому необходимо обеспечить возможно более длительный срок службы как применяемых для этого технических средств (например, машин для распределения и уплотнения балластного материала), так и самого балласта, состоящего из частиц разного размера. Поставщики стараются разрабатывать более эффективное оборудование и расширять его возможности, а специалисты и исследователи — лучше понять поведение балласта в пути.

## Исследование

Вопросами поведения балласта в пути занимается специально созданная в университете штата Иллинойс (г. Эрбана-Шампейн, США) рабочая группа во главе с профессором Э. Тьютмлюэ (E. Tutumluer).

Несколько лет назад эта группа применила в ходе исследования характеристик и поведения балласта моделирование по методу дискретных элементов (Discrete Element Modeling, DEM), успешно используемое в области геотехники транспортных сооружений. Члены группы, специалисты в области минеральных материалов, полагают, что с помощью этого метода можно получить ценную информацию о балластном материале и лучше понять поведение балласта в пути.

Цель применения моделирования по методу DEM — изучение влияния таких характеристик частиц балластного материала, как размер, форма, угловатость, плотность, текстура слоя и наличие в нем посторонних включений, на прочность и поперечную устойчивость балластной призмы и, следовательно, рельсошпальной решетки. Каждая частица балластного материала имеет много точек контакта с другими частицами. Исходя из этой схемы можно изучить силы, действующие в точках контакта, и найти условия их равновесия в «теле» балластной призмы.

Более глубокое понимание причин того или иного поведения балласта необходимо для выработки и принятия мер по уменьшению сложности проблем, связанных с выхо-

дом частиц наружу, загрязнением, чрезмерной деформацией балластной призмы и, как следствие, выпучиванием рельсов. Так, было отмечено, в частности, что поперечная устойчивость пути, являющаяся существенным фактором предотвращения выпучивания рельсов и сходов подвижного состава, существенно уменьшается после проведения работ по текущему содержанию пути, таких, как подбивка шпал.

Рабочая группа предложила использовать моделирование по методу DEM применительно к балласту при расчете прочности и устойчивости рельсошпальной решетки и для совершенствования ее конструкции; на это исследование был получен грант от Ассоциации американских железных дорог (AAR).

Исследование началось с изучения исходного послойного строения балластной призмы и создания ее типовой структуры с учетом первичного уплотнения. На следующий год была составлена база данных по частицам балластного материала с классификацией по форме, размерам и степени угловатости. В качестве критерия формы использован такой параметр, как отношение самой длинной стороны к самой короткой, т. е. длины к ширине. По степени угловатости частицы были распределены по четырем-пяти категориям. Таким образом, весь «массив» частиц балласта был распределен по 11 классам.

Затем приступили к анализу типовой балластной призмы, состоящей, согласно принятому распределению, из частиц 11 разных классов, на предмет оценки ее поперечной устойчивости. Изучалось, каким образом снижается прочность балласта сразу после подбивки. Удалось составить модель этого процесса для частиц всех содержащихся в базе данных классов и на этой основе сделать обобщения и выводы. Среди этих выводов, например, следующий: частицы балласта со значительной угловатостью предпочти-

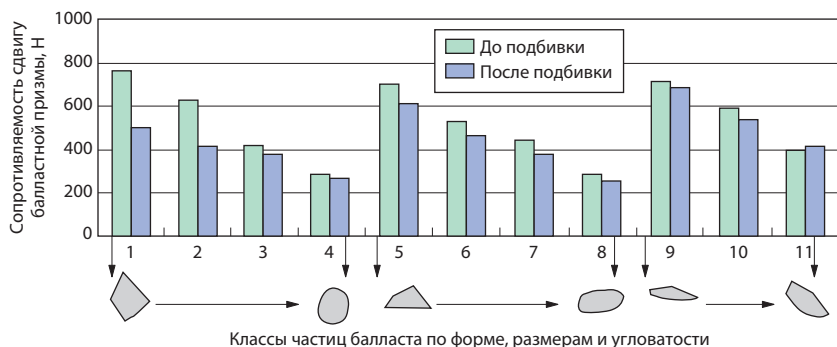


Рис. 1. Поперечная устойчивость балластной призмы из балластного материала разных классов (при нормальной нагрузке 3000 Н)

тельнее, однако они в наибольшей степени способствуют потере балластом прочности после подбивки, и поэтому с точки зрения поперечной устойчивости балласта и выпучивания рельсов они вызывают наибольшие опасения (рис. 1).

Далее в 2005–2006 гг. исследование продолжилось для ряда сценариев фактической поездной нагрузки. Путем последовательного моделирования нагрузок было выяснено, каким образом при увеличении числа циклов нагружения происходит накопление необратимых деформаций, создающих проблемы со стабильностью положения рельсошпальной решетки. Изучались также конструкции выпускаемых промышленностью шпал на предмет выявления влияния их текстуры на сцепление с балластом.

Был получен ряд интересных результатов, относящихся к плотности балласта и к влиянию этого фактора на необратимые деформации в зависимости от частоты приложения нагрузки или изменения скорости движения поездов. Установлено, что закругленные частицы балластного материала обеспечивают лучшее сопротивление необратимым деформациям при сценариях с повторяющимися нагрузками, поскольку при одном и том же объеме «тела» балластной призмы угловатые частицы увеличивают ее пористость и снижают плотность, оставляя больше места для уплотнения и деформаций. Но если пустоты распределены более однородно, процесс уплотнения идет по-другому, и в ходе этого уплотнения угловатые частицы оказывают большее сопротивление повторяющимся нагрузкам, что и удалось продемонстрировать.

Исследование позволило также найти способ учета загрязненности балласта.

В процессе моделирования по методу DEM для выяснения поведения частиц балластного материала в точках контакта оперирова-

ли такими параметрами, как угол трения поверхностей, нормальные и сдвиговые нагрузки. Деградация балластного материала может достигать такой высокой степени, что его частицы оказываются как бы отделенными друг от друга, т. е. теряют контакт между собой, что уменьшает связность и, следовательно, прочность балластного слоя. В качестве критерия критического истирания частиц принято уменьшение угла трения их поверхностей с 35–40 град (исходное состояние) до 10 град.

Затем, чтобы лучше понять процесс деформации балласта, изучались подвижки частиц балластного материала и их истирание под воздействием динамических нагрузок.

На завершающем этапе исследования намечено провести эксплуатационные испытания с подбором на железных дорогах таких опытных участков, на которых можно было бы проверить результаты моделирования и лучше понять, как ведет себя балласт в реальных условиях. Полевые испытания предусмотрено провести в местах с переменной жесткостью путевой структуры, где вследствие высоких динамических нагрузок имеет место заметная осадка.

#### Технологии и технические средства

##### Georgetown Rail Equipment.

По мнению руководства компании Georgetown Rail Equipment (GREX), менеджмент и специалисты служб путевого хозяйства железных дорог в настоящее время считают, что в вопросах регулирования затрат на наиболее значимые элементы инфраструктуры, такие, как балластная призма, больше нельзя ориентироваться только на стоимость приобретаемых материалов, какого бы качества они ни были. Рост цен на высококачественный щебень из карьеров продолжается, и желез-

ные дороги ведут поиск сторонних компаний, которые могли бы предложить инновационные решения по снижению затрат, связанных с его укладкой в путь и дальнейшим содержанием в балластном слое. Компании-подрядчики в большей степени, чем раньше, участвуют в сокращении текущих затрат железных дорог. Основная функция подрядчиков — предлагать технологии и поставлять оборудование, способствующее достижению большей эффективности, надежности и безопасности.

В настоящее время наиболее эффективной является укладка балластного материала в путь именно там, где он необходим, и при этом без неоправданных помех движению поездов. GREX предлагает высокопроизводительный и экономичный метод автоматизированной выгрузки балластного материала из специальных полувагонов с применением фирменных технологий Solaris (дистанционное управление) и GateSync (синхронизированное открывание выгрузных люков). Использование такого комплекса технических средств позволяет доставлять в точное время и укладывать в точное место необходимое количество щебня при движении со скоростью до 18 км/ч. К общему снижению затрат добавляется такое важное преимущество, как безопасность.

С целью повышения эксплуатационной гибкости предлагаемого компанией метода GREX может предоставлять железным дорогам балластоукладочные поезда с фирменными устройствами выгрузки щебня, формируемые из любого числа вагонов (от двух до 50, рис. 2). Наконец, самым впечатляющим является, возможно, то, что компания участвует в усовершенствовании имеющегося на железных дорогах балластоукладочного подвижного состава, оснащая его оборудованием своих систем Solaris и GateSync. Во всех случаях применение техни-



Рис. 2. Балластоукладочный поезд компании Georgetown Rail Equipment

ки и технологии GREX обеспечивает эффективное выполнение большего объема работ с использованием меньшего количества единиц подвижного состава.

По имеющимся у компании сведениям, общее число вагонов, оснащенных ее оборудованием и эксплуатируемых на таких железных дорогах первого класса, как Burlington Northern Santa Fe (BNSF), CSX Transportation и

Norfolk Southern, в 2007 г. должно было превысить 770 ед.

**Herzog.** Корпорация Herzog Contracting разрабатывает и поставляет продукцию, способствующую повышению производительности и снижению стоимости операций, связанных с балластом, и, в частности, оборудование, обеспечивающее укладку балластного материала точно в указанном месте. Herzog осуществляет доставку и выгрузку



Рис. 3. Самоходная многофункциональная машина МРМ компании Herzog

балласта с помощью поездов типа PLUS Train, оснащенных специальным компьютеризированным оборудованием, работающим по сигналам системы спутникового позиционирования GPS и обеспечивающим автоматическое открывание и закрывание выгрузных люков полувагонов или хопперов точно в требуемых местах при движении со скоростью до 36 км/ч.

Поскольку на железных дорогах первого класса растут объемы перевозок и появляются новые строительные объекты, количество подлежащего распределению балласта будет ежегодно расти, утверждают представители компании. Помимо собственных поездов PLUS Train, Herzog предлагает железным дорогам для оснащения их подвижного состава системы электромеханического или гидравлического привода выгрузных люков, работающие с питанием от солнечных батарей или от генераторов и имеющие автоматизированное дистанционное управление.

Для повышения качества работ по выгрузке и распределению балластного материала вагоны поездов компании Herzog оснащаются запатентованными автоматизированными приспособлениями. Щетки этих приспособлений счищают балластный материал, попавший на поверхность катания рельсов, а отвалы, выдвигающиеся на 30 см в обе стороны от рельсов, выравнивают выгруженный балластный материал во избежание образования валиков.

Кроме того, Herzog выпускает широкую номенклатуру оборудования для работ по текущему содержанию пути, начиная с самоходной многофункциональной машины типа МРМ (рис. 3), способной рыть дренажные кюветы для отвода воды от путевой структуры, планировать обочины и откосы насыпей и выемок или выполнять погрузочно-разгрузочные работы с разными элементами верхнего строения пу-



ти, и кончая быстроустанавливаемыми навесными приспособлениями к подъемно-транспортному оборудованию, такими, например, как магниты или механические захваты для шпал.

Оборудование компании можно найти на любой железной дороге, в том числе на Kansas City Southern, с которой недавно был подписан крупный контракт.

**Knox Kershaw.** Корпорация Knox Kershaw в ряду выпускаемых ею технических средств для путевых работ выделяет новый распределитель балласта типа KBR-925 (рис. 4), получивший положительные отзывы у пользователей (железных дорог), в свою очередь отразившиеся в значительном росте объема продаж.

В этой машине сохранены все достоинства разработанного ранее распределителя балласта типа KRB-900, не только такие, как отклоняющаяся вверх кабина управления, заднее расположение двигателя, отличная видимость и простота в обслуживании, но и невысокая цена. В то же время отмечают, что новой машине присущи некоторые свойства, отсутствующие у других. Во-первых, это совершенно плоская крыша с регулируемым внутренним освещением, во вторых — автономный, установленный сзади кабины гидравлический кондиционер воздуха компании MacBone. Передний отвал машины KBR-925 перепроектирован и теперь изготавливается из более массивных стальных элементов.

Менеджеры Knox Kershaw утверждают, что в 2007 г. железные дороги закупили больше оборудования, чем в предыдущем году, а на следующий год ожидается рост объемов продаж по машинам всех типов.

**Loram.** Специалисты корпорации Loram Maintenance of Way указывают, что повышение стоимости нового балластного материала зачастую делает более экономичной

очистку балласта, находящегося в пути.

Соотношение между повторно используемым и вообще удаляемым из пути балластным материалом может изменяться, но тем не менее операция очистки балласта остается экономически целесообразной. Уже это одно, несомненно, повышает важность работ по восстановлению чистоты и качества старогодного балласта, тем более что чистый балласт улучшает условия водоотвода и повышает устойчивость пути. Самое главное — создать условия, чтобы балласт выполнял предназначенные ему функции: служить надежной опорой рельсошпальной решетки, оптимально распределять нагрузку от подвижного состава, сохранять геометрические параметры пути, допускать их корректировку и обеспечивать отвод воды от верхнего строения пути. Поэтому Loram продолжает предлагать оборудование для работ по текущему содержанию балластной призмы и водоотводу, включая очистку балласта, планировку плеч балластной призмы, уход за дренажными кюветами и т. п. В этой связи представля-



Рис. 4. Рабочий орган распределителя балласта KBR-925 корпорации Knox Kershaw

ют особый интерес выпускаемые корпорацией машины типа Railvac (рис. 5) для извлечения и очистки балластного материала, в частности в «неудобных» местах пути, с использованием вакуумной технологии.

Полагают, что постоянное повышение нагрузок оказывает негативное влияние на текущее содержание пути в том смысле, что путевая структура подвергается все более ускоряющемуся износу, а времени для путевых работ выделяется все меньше. Объемы работ по очистке балласта растут, поскольку они являются весьма эффективным средством увеличения несущей способ-



Рис. 5. Балластоочистительная машина Railvac корпорации Loram Maintenance of Way

ности путевой структуры, особенно в части обеспечения стабильности рельсошпальной решетки, и необходимо повышение их производительности, когда в течение относительно небольшого выделяемого времени требуется обработать участки значительной длины. При этом, учитывая удорожание нового балластного материала, имеет экономический смысл максимально использовать существующий балластный материал.

**Miner.** Корпорация Miner Enterprises предлагает для балластоукладочных поездов и вагонов устройства семейства AggreGate для управления выгрузными люками с тремя вариантами привода: ручным (Manual), пневматическим (Air Powered) и электрическим (Electric). В настоящее время оборудование Miner, облегчающее и ускоряющее выгрузку балластного материала, находится в эксплуатации на трех железных дорогах первого класса. Кроме того, корпорация по заказу одной из железных дорог готовит к выпуску автономную дистанционно управляемую разгрузочную систему AggreGate, дополнительно снабженную плужными приспособлениями с автоматически выдвигаемыми элементами для разравнивания верхней постели балластного слоя.

**NORDCO.** В компании NORDCO всегда стараются изыскивать способы повышения функциональности выпускаемых ею путевых машин. Например, распределитель балласта типа M2-14 можно быстро преобразовать в снегоочиститель, т. е. использовать его в зависимости от потребности как для распределения балластного материала, так и для удаления снега с пути.

**Plasser American.** Корпорация Plasser American, американский филиал компании Plasser & Theurer



Рис. 6. Распределитель балласта PBR-2005 корпорации Plasser American в работе

(Австрия), в постоянном поиске новых решений, направленных на повышение эффективности работ по текущему содержанию пути, и в частности балластного слоя, работает совместно с железными дорогами.

Одним из самых последних достижений в этой области является система измерения профиля балластной призмы, интегрированная в общий комплект оборудования путеинспекционных вагонов корпорации. С помощью этой системы при движении с высокой скоростью осуществляется измерение геометрических параметров балластной призмы, а измеренные фактические параметры сравниваются с параметрами типовой балластной призмы, соответствующими категории данной линии.

Результаты измерений, выполненных с применением указанной системы, могут быть положены в основу работы нового изделия Plasser American — распределителя балласта типа PBR-2005 (рис. 6), появившегося на рынке путевых машин в 2006 г. Отличием этой машины является способность ее рабочих органов выступать далеко за пределы плеч балластной призмы для сбора и последующей очистки балластного материала, который при использовании распределителей балласта более старых конструкций оставался бы на пути. При-

менение новой машины уменьшает потребность в новом балластном материале, и соответствующее снижение затрат ощущается немедленно. По производительности распределитель балласта PBR-2005, выполняющий свою работу за один проход, соответствует современным шпалоподбивочным машинам, так что его можно использовать в составе единого машинного комплекса с обеспечением непрерывной и стабильной работы. Ожидалось, что к концу 2007 г. в эксплуатации будут находиться десять таких машин, на 2008 г. уже заказано еще четыре.

Кроме того, корпорация, учитывая постоянный рост объемов работ по балласту при капитальном ремонте пути, выпускает гамму высокопроизводительных машин по подрезке и очистке балласта. Железные дороги как приобретают такие машины (например, Union Pacific купила недавно балластоочистительную машину типа RM-2003, а BNSF — две подобные машины типа RM-8-800), так и пользуются услугами Plasser American в порядке аутсорсинга.

**Progress Rail.** Компания Progress Rail также выпускает распределители балласта нескольких моделей. Она продолжает совершенствовать изготавливаемую для железных дорог технику с целью сделать ее более надежной и безопасной. Самой большой заботой последних лет является регулирование цен на продукцию с учетом увеличения стоимости электроэнергии, стали и других исходных материалов, что, естественно, затрагивает интересы и других компаний — изготовителей путевых машин в США и Канаде.

*M. Wanek-Libman. Railway Track & Structures, 2007, № 8, p. 37–46.*