

# Эффективная очистка балласта

Старение пути зависит от интенсивности движения поездов и влияния окружающей среды. Даже мало используемый или вовсе не используемый путь, как и все в природе, наращивает энтропию — высокоорганизованные системы превращаются в менее организованные. В частности, загрязнение балласта ведет к ухудшению устойчивости и снижению качества геометрии пути, что обуславливает необходимость проведения ремонтных работ со все меньшими интервалами. Своевременная очистка балласта, сопровождаемая при необходимости оздоровлением основания пути, — основа применяемой при этом стратегии.



Рис. 1. Блок вырезки балласта в работе (машина типа RM 900, фото: Plasser & Theurer)

Необходимость в очистке балласта можно сразу определить на основе результатов инспектирования с использованием вагонов-путизмелей, оснащенных соответствующими системами анализа полученных данных. Исследования с помощью георадарных измерений позволяют быстро узнать состояние нижних слоев балластной призмы. Самые надежные критерии оценки состояния балласта дает непосредственное изучение образцов, отбираемых вручную или, что более эффективно, с помощью бурения шурфов машинами на рельсовом ходу. Когда при сортировке балластного материала через сита обнаруживается, что его загрязнение превысило 30 % по массе, он нуждается в очистке.

## Балластоочистительные машины

Машины для очистки балласта выполняют наиболее трудоемкие работы в процессе текущего содержания пути. Непрерывное удаление недоброкачественного балластного материала из пути (для чего необходимы значительные усилия), перемещение тонн материала внутри и вне машины, просеивание, возврат очищенного материала для повторного использования, удаление загрязнителей и т. п. требуют большой энергооборуженности.

В 1959 г. компания Plasser & Theurer выставила на рынок свою первую балластоочистительную машину на гусеничном ходу, в 1962 г. ей на смену пришла балластоочистительная машина на рельсовом ходу, полностью оснащенная гидравлическим приводом рабочих органов.

По мере повышения уровня механизации путевых ремонтных работ стала все более острой необходимость включения балластоочистительных машин в общий технологический поток. В частности, для работы в составе путеремонтных

поездов требуются балластоочистительные машины намного более высокой производительности.

Первой разработанной компанией Plasser & Theurer с учетом этих высоких требований к производительности была балластоочистительная машина типа RM 63, оснащенная крупногабаритным блоком вырезки балластного материала и одним блоком сортировки просеиванием.

В 1970–1975 гг. несколько машин этого типа поступили на железные дороги Франции и Германии. Однако эти компактные шестисосные машины массой 120 т, с силовой установкой мощностью около 520 кВт и производительностью около 650 м<sup>3</sup>/ч, работающие до сих пор, уже достигли предела, и их производительность стала недостаточной.

Потребовались новые пути повышения производительности. Поэтому в 1980-х гг. специалисты компании разработали проект балластоочистительной машины, обеспечивший прирост производительности почти на 100%. Главной особенностью этой конструкции было использование сдвоенного блока сортировки. Этой же цели — повышению производительности — соответствовали устройство и характеристики всех основных узлов и агрегатов машины, в частности размеры и скорость передвижения баровой (выгребной) цепи.

### Блок вырезки балласта

В современных мощных балластоочистительных машинах (рис. 1 и 2) балластный материал не перемещается баровой цепью через направляющие прямо в блок сортировки, как это имело место в машинах прежних конструкций, а сначала через ленточный конвейер подается в накопительный бункер, откуда равномерно поступает в сдвоенный блок сортировки.

Очень важной характеристикой процесса является состояние образующейся при вырезке бал-

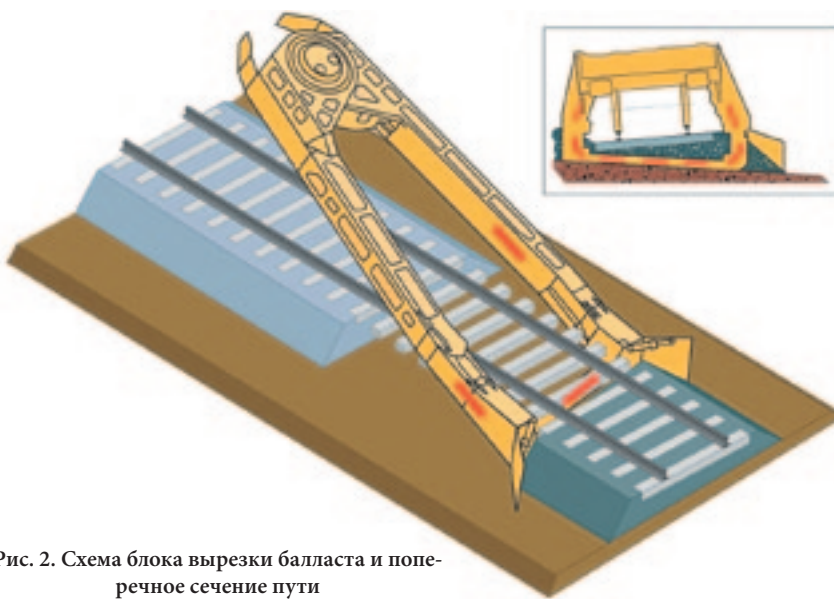


Рис. 2. Схема блока вырезки балласта и поперечное сечение пути

ласта верхней постели основания пути. На ее поверхности не должно быть «водяных мешков» как в продольном, так и в поперечном направлении, поперечное сечение должно быть правильной формы и обеспечивать пропуск воды сверху и отвод ее в сторону от путевой структуры.

Производительность балластоочистительной машины зависит прежде всего от скорости движения и высоты расположения баровой цепи, или, иначе говоря, от глубины вырезки балластного материала. Производительность машины по объему определяется как произведение скорости движения цепи на площадь поперечного сечения выемки. При обычных глубинах вырезки объем перерабатываемого материала составляет около 2 м<sup>3</sup> на 1 м пути. Производительность машины во времени определяется шириной захвата блока вырезки, размерами скребков цепи, расстоянием между ними и скоростью движения цепи. Достигнутая максимальная производительность находится в пределах 1000 м<sup>3</sup>/ч.

Однако при высокой скорости движения баровой цепи, помимо повышения уровня шума, возникает ряд проблем:

- непропорционально увеличивается износ деталей цепи (рис. 3). Так, рост скорости движения це-

пи на 10% приводит к ускорению износа на 15–20%. Для смягчения этой проблемы детали цепи изготавливают из упрочненной износостойчивой марганцовистой стали — путем изменения содержания легирующих компонентов за последние несколько лет долговечность деталей удалось значительно повысить. Срок службы деталей цепи можно также продлить за счет использования специальных конструктивных решений, когда, например, упрочненные валики устанавливаются во втулки, запрессованные в соединяемые звенья цепи, что позволяет при необходимости заменять их.

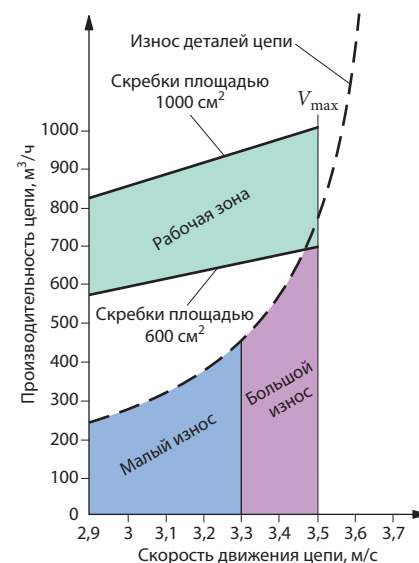


Рис. 3. Зависимость износа деталей баровой цепи от скорости ее движения





Рис. 4. Детали баровой цепи, выполненные с возможностью быстрой замены

В конструкции крепления пальцев выгребных скребков также предусмотрена возможность их быстрой замены (рис. 4);

- балластный материал может проваливаться обратно на путь, не достигая накопительного бункера, из-за чего требуется его повторная выемка.

Поэтому с учетом имеющегося опыта максимальная скорость перемещения цепи, как правило, не превышает той, которая соответствует производительности 3,5 м<sup>3</sup>/с.

### Блок сортировки балластного материала

Чем выше качество просеянного материала, тем реже возникает впоследствии необходимость

в очистке и уплотнении балласта. Отсюда жесткие требования к количественным и качественным характеристикам узла сортировки. Современные балластоочистительные машины оснащают двоянными блоками сортировки просеиванием, производительность которых соответствует производительности блоков вырезки и достигает 1000 м<sup>3</sup>/ч и более при общей производительности машины 500 м/ч и более.

Оптимизация блоков сортировки балластоочистительных машин в отношении производительности и качества осуществляется по следующим параметрам.

**Площадь поверхности сит.** Величина этого параметра должна быть достаточной для легкого

разделения балластного материала и загрязнителей с обеспечением тем самым высокого качества возвращаемого в путь материала. При очистке балласта для достижения полного эффекта на сита должен подаваться весь извлеченный материал. Несмотря на то что использование предварительной очистки может повысить производительность машины, эффективность ее работы может ухудшиться, как если бы материал разделялся без обработки.

Площадь сит в большой степени ограничивается габаритными размерами машины и углом наклона сит.

Блоки сортировки балластоочистительных машин компании Plasser & Theurer (рис. 5) имеют следующую производительность по очистке:

- у машины RM 80 с одним просеивающим блоком с площадью сит 30 м<sup>2</sup> — 550 — 600 м<sup>3</sup>/ч;
- у машин RM 801, RM 900 и RM 2002 со двоянным просеивающим блоком с площадью сит 2×23 м<sup>2</sup> — 1000 м<sup>3</sup>/ч (рис. 6);
- у машины RM 800 со двоянным просеивающим блоком с площадью сит 2×25 м<sup>2</sup> — 1000–1200 м<sup>3</sup>/ч.

**Число сит.** Балластоочистительные машины компании Plasser & Theurer оснащены очистными блоками с тремя ситами, верхнее из которых предназначено для отбора крупноразмерных частиц балластного материала. Средне- и мелко-размерные частицы отсортировываются и очищаются от загрязнителей на ситах среднего и нижнего уровней. Прохождение балластного материала через все три сита гаран-

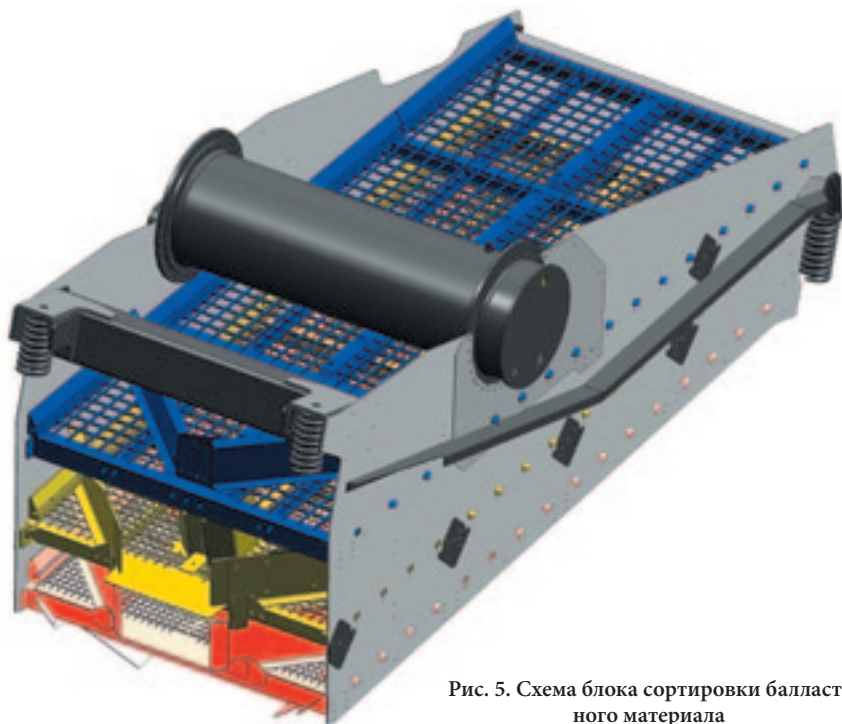


Рис. 5. Схема блока сортировки балластного материала

тирует отделение изъятых из пути балласта от загрязнителей и его подготовку к повторной укладке в путь. В результате после очистки с использованием современных высокопроизводительных машин доля мелких частиц в обработанном балластном материале может быть даже меньше, чем в новом, что повышает качество балласта.

**Размер ячеек.** Для достижения зернистости балластного материала, соответствующей первому классу, стандартный размер ячеек трех сит (сверху вниз) составляет 80, 50 и 30 мм.

**Направление и частота вибрации сит.** Эти параметры являются важными для обеспечения хорошей очистки балластного материала. Вибрирующие сита более эффективны, поскольку вследствие пульсирующих ускорений частиц балласта загрязнители лучше соскальзывают с них. Вибрация также способствует равномерному распределению материала на ситах и полному разделению балласта и загрязнителей (рис. 7).

Вибрация создается:

- линейными вибраторами, которые с помощью противоположно движущихся центробежных грузов обуславливают возвратно-поступательные колебания сит с амплитудой 10–14 мм. Направление (угол) вибрации можно установить с достаточной степенью точности;
- эксцентриковыми вибраторами, которые обуславливают постоянное круговое колебательное движение сит с частотой 800–1000 Гц. Поскольку эта колебательная система работает независимо от нагрузки, она предопределяет высокую производительность и при неравномерной подаче балластного материала. Кроме того, блоки сортировки с эксцентриковыми генераторами обладают высокими возможностями самоочистки. Эксцентриковый привод с противовесами обеспечивает полное уравнивание масс при работе и благодаря этому оказывает низкие динамические



Рис. 6. Сдвоенный блок сортировки (машина RM 2002, фото: Plasser & Theurer)

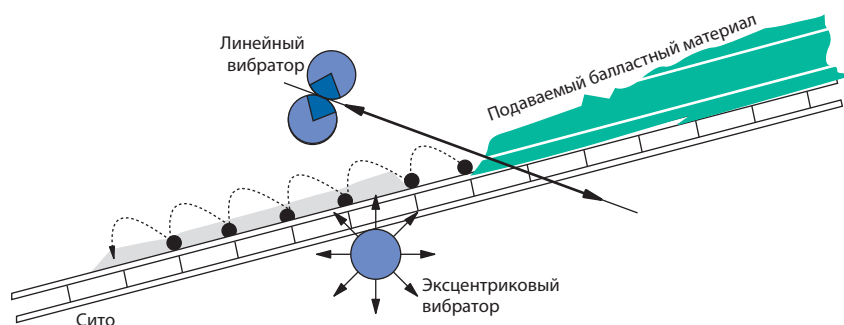


Рис. 7. Механизм вибрации сит

ческие нагрузки на конструкцию машины.

На производительность очистки оказывает влияние частота вибрации. При частоте 30 Гц и средней длительности контакта балластного материала с поверхностью сит около 3 с материал испытывает примерно 100 импульсов ускорения. За счет этого достигается отличный очищающий эффект.

Абсолютно необходимо, чтобы все агрегаты балластоочистительной машины по производительности соответствовали друг другу. Недопустимо повышение производительности ценой снижения качества очистки (когда машину с низкой расчетной производительностью вынуждают работать в режиме более высокой интенсивности вибраций, производительность повышается, но контактное время пребывания балластного материала на поверхности сит существенно

уменьшается, что приводит к значительному снижению очищающего эффекта).

**Угол наклона сит.** На балластоочистительных машинах компании Plasser & Theurer угол наклона сит находится в диапазоне от 10 до 20 град. Сита, подвергающиеся эксцентриковым колебаниям, устанавливаются под немного большим углом, и их производительность несколько выше. Однако качество очистки тем выше, чем ближе к горизонтали установлены сита. Другими словами, круто наклоненные сита обеспечивают более высокую производительность, но только при худших показателях качества очистки. На рис. 8 показана зависимость между углом наклона сит и производительностью по очистке на единицу площади их поверхности.

Внедренная недавно технология позволяет повысить как произво-

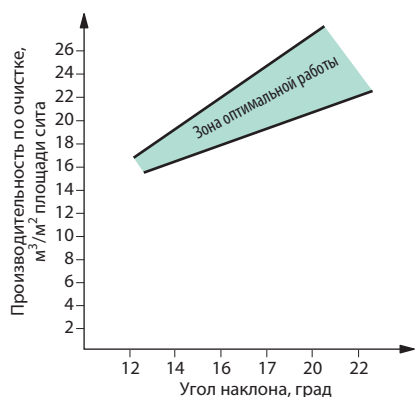


Рис. 8. Зависимость производительности сит от угла их наклона

дительность, так и качество очистки за счет использования сетчатой структуры сит, в которой они выполнены в виде решеток из металлических стержней, располагающихся по каскадной схеме (рис. 9). Подлежащий очистке материал подвергается дополнительному колебательному воздействию как на стержнях одной решетки, так и при переходе с одной решетки на другую, и эта реверберация (так называемый камертонный эффект) со-

здает дополнительное очищающее воздействие.

**Подача материала на блок сортировки.** На балластоочистительных машинах первого поколения, оснащенных одиночными блоками сортировки, изъятый из пути балластный материал подавался на сита непосредственно с баровой цепи с помощью цепного конвейера. На современных высокопроизводительных машинах, оснащенных двоянными блоками, материал сначала поступает в промежуточный накопительный бункер и уже оттуда по ленточному конвейеру на сита блоков.

Использование накопительно-го бункера способствует хорошему заполнению ленты конвейера и равномерной подаче балластного материала на сита. Тем самым достигается высокая эффективность блока сортировки, так как полезно используется вся поверхность сит. Кроме того, за ситами устанавливаются дополнительный бункер, предназначенный для того, чтобы при вы-

ключении двигателя машины, когда сита еще остаются в движении в течение нескольких секунд, находящийся на них материал можно было собрать и использовать вновь.

Ленточные конвейеры высокопроизводительных балластоочистительных машин должны иметь прочную конструкцию. Фрикционный привод конвейеров недопустим, в них (как, впрочем, и в остальных рабочих органах машины) используется гидравлический привод, лучше приспособленный к работе с частыми остановками и пусками. Когда при очистке балласта машина останавливается, например, из-за наличия на пути крупноразмерного предмета в толще балластной призмы, продвижение находящегося внутри машины балластного материала должно прекратиться, иначе говоря, все ленточные конвейеры и сита также должны остановиться. При этом материал остается в бункерах и на лентах. В противном случае могут возникать скопления материала, и при возобновлении работы следующие участки технологической цепи будут перегружены или недогружены.

Гидравлический привод и конструкция ленточных конвейеров доказали свою надежность при многочисленных повторных пусках. В работающей машине постоянно находится около 12 м³ балластного материала, в состав которого в зависимости от степени загрязнения входит (примерно) 4 м³ загрязнителей и 8 м³ балласта для повторного использования. После остановки машины все системы с гидравлическим приводом при перезапуске вновь вступают в работу, а в случае электрического привода это не всегда гарантировано.

### Модульная конструкция балластоочистительных машин

Балластоочистительные машины первого поколения компании Plasser & Theurer имели компакт-

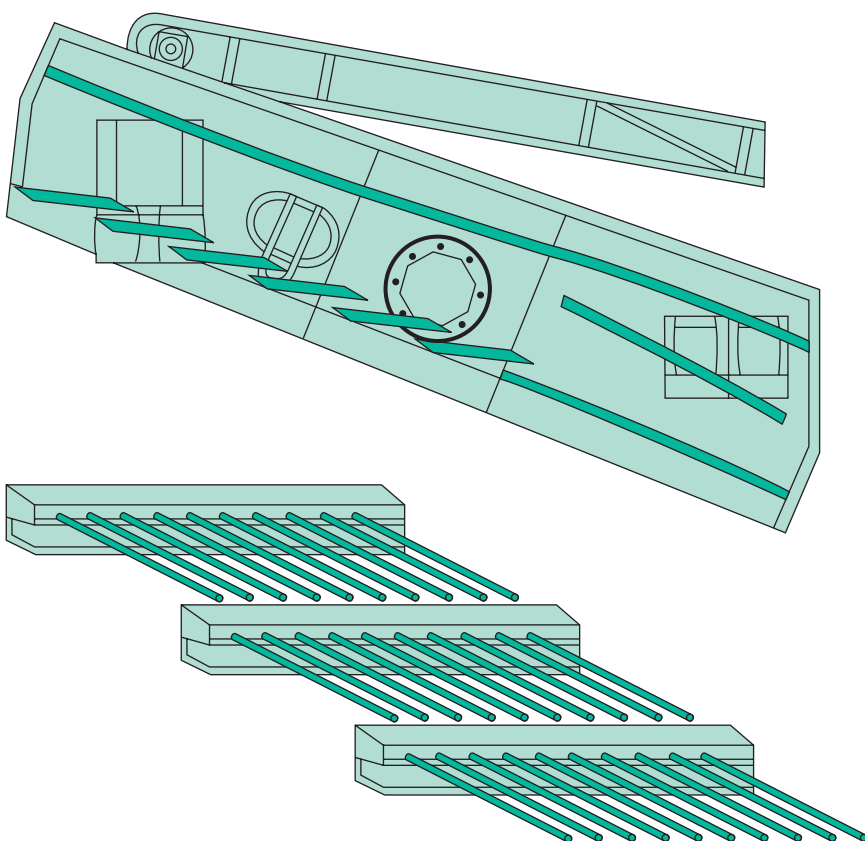


Рис. 9. Каскадная схема расположения сит



ную конструкцию с длинным (порядка 10 м) поворотным ленточным конвейером, с помощью которого осуществляется отвал материала, для перевозки которого требовались прицепные вагоны.

Необходимость повышения производительности повлекла за собой удлинение и укрупнение балластоочистительных машин с переходом к многосекционной конструкции. Возросла также общая масса машин, за последние 20 лет достигшая 220–280 т и даже более при числе осей от 10 до 17 (машина типа RM 900 (рис. 10), имеет массу 345 т и длину более 100 м), а требуемая энерговооруженность, соответствующая высокой производительности, достигла 1500 кВт.

Балластоочистительные машины последних разработок имеют модульную конструкцию, состоящую из секций вырезки балласта и просеивания балластного материала, обычно с отдельными приводами. Компоновка машин, за единственным исключением (машина типа RM 802), предусматривает перемещение загрязнителей в голову. Если в процессе перемещения часть загрязнителей проваливается на путь, машина подбирает их и очищает вновь. В некоторых машинах с хвостовой части может быть подан новый балластный материал и уложен в путь как отдельно, так и в смеси с очищенным старым, что дает возможность точно установить путь по уровню.

Преимуществом модульной конструкции балластоочистительных машин является возможность включения в технологический процесс дополнительных операций путем интеграции в общую конструкцию машины вспомогательных рабочих органов. Можно, например, смонтировать установку для промывки балластного материала под высоким давлением с системой замкнутого оборота воды, дробильную установку для образования частиц балластного материала с острыми краями, а также применить другие технологии и технические

средства для еще более эффективной очистки.

Применение мокрого способа очистки балласта позволяет пустить в дело значительные объемы считавшегося ранее непригодным балластного материала. На рис. 11 показана зависимость между влажностью просеянного балластного материала и возможной производительностью по очистке. Видно, что при наличии большого количества глины или суглинка производительность машины по очистке резко снижается даже при относительно небольшой (от 5 до 10%) влажности, а при высокой влажности эффективность очистки вновь возрастает.

Для снижения пылеобразования в зоне разработки балласта некоторые балластоочистительные машины снабжают цистернами с распылительными устройствами и пылеуловителями. Иногда балластоочистительные машины оснащают блоками уплотнения балласта, с помощью которых балластный материал перемещают к концам шпал, обеспечивая устойчивое положение пути на очищенной балластной призме. Можно также установить приспособления для сметания избыточного балласта со шпал, а также оборудование для укладки гео-



Рис. 10. Балластоочистительная машина типа RM 900

текстиля, другого рулонного материала или изолирующих плит.

### Измерительная аппаратура

Работу оборудования для вырезки балласта в балластоочистительных машинах необходимо контролировать в продольном направлении для обеспечения должного качества балласта. Аналогично геометрически правильной должна быть поверхность подбалластной постели основания пути, чтобы гарантировать отвод всех поверхностных вод. Контролю подлежит также глубина вырезки балласта, чтобы не оставалось ни одного загрязненного слоя, поскольку в ином случае будет затруднен дренаж. Увлажненные слои размягчают осно-

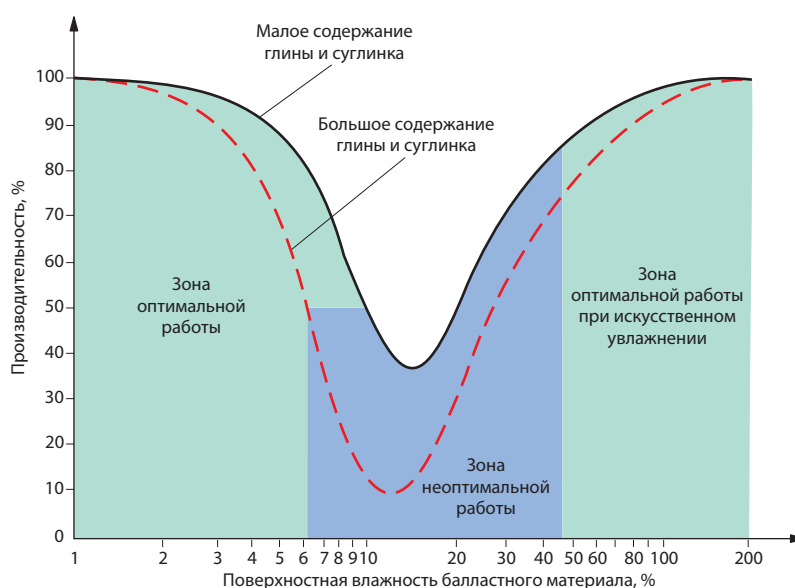


Рис. 11. Зависимость производительности по очистке от влажности балластного материала



Рис. 12. Состав из хопперно-конвейерных модулей типа MFS 80

вание пути и тем самым снижают его несущую способность.

Вследствие этого современные балластоочистительные машины оснащают компьютеризованными измерительными и регулирующими системами, которые в тяжелых условиях работы путевых машин позволяют автоматически контролировать глубину вырезки балласта и другие параметры.

Для контроля требуемых параметров на машинах монтируют тензометры, датчики фазового сдвига, электронные маятники и т. п. Глубину вырезки балласта можно также контролировать с помощью внешних лазерных реперных плоскостей.

Для контроля качества выполненных работ используются электронные регистраторы-графопостроители, фиксирующие до шести параметров, в том числе глубину вырезки, создаваемый поперечный профиль и изменение уровня пути.

Соотношение стоимость/производительность свидетельствует в пользу высокотехнологичного оборудования, обеспечивающего высококачественные результаты и в значительной степени исключая необходимость в последующих путевых работах. Многие крупные железные дороги установили в ка-

честве стандарта при оздоровлении пути требование, чтобы сразу после очистки балласта можно было возобновлять движение поездов со скоростью 70 км/ч.

### Логистика при удалении загрязнителей

При работе современных высокопроизводительных балластоочистительных машин образуются большие объемы загрязнителей, которые подлежат замене новым балластом. В зависимости от степени загрязнения балласта может накапливаться до 350 м<sup>3</sup> загрязнителей в час. В современных условиях очень редко можно оставлять загрязнители на обочинах пути, в большинстве случаев их необходимо удалять, особенно на территории станций, в узких выемках и тоннелях.

Для перемещения загрязнителей идеальным дополнением к балластоочистительным (и другим путевым) машинам, работа которых связана с образованием отходов, могут служить вагоны-хопперы, соединенные ленточными конвейерами. Компания Plasser & Theurer выпускает такой подвижной состав под типовым названием MFS. Все операции по перемещению матери-

ала при путевых работах выполняются без прекращения работы основных машин. Поскольку сочетание хопперов и конвейеров функционирует как вид непрерывного транспорта, их загрузка осуществляется также непрерывно, причем складирование начинается с последних по счету хопперов. Число используемых хопперно-конвейерных модулей можно изменять с учетом условий места работ и производительности основных машин, и составы из них могут иметь любую требуемую длину (рис. 12).

Когда крайние хопперно-конвейерные модули заполнены, их отцепляют от основной машины и отводят в удобное место для разгрузки. Разгрузку ведут с помощью поворотных ленточных конвейеров; в зависимости от конструкции модулей разгрузка каждого из них занимает примерно 3–5 мин. В то же время продолжается загрузка оставшихся модулей. По возвращении опорожненных модулей они опять прицепляются к машинному комплексу, в них вновь перегружается материал из ближайших к машине модулей, и т. д. В результате основная машина может продолжать работу без перерывов.

Если балластоочистительная машина оснащена блоком выгрузки балласта на путь, новый балластный материал к ней можно подвозить тоже с помощью хопперно-конвейерных модулей. Все эти операции выполняются непрерывно, не мешая работе машины. В зависимости от логистического обеспечения места работ новый балластный материал может непосредственно укладываться в путь из специально переоборудованных хопперно-конвейерных модулей, которые, в отличие от вагонов для перевозки балласта, могут точно дозировать количество выгружаемого материала.