

# Автоматизация планирования очистки балласта

В Германии Инженерное общество IVE разработало программное обеспечение для различных вариантов выполнения работ при очистке щебеночного балластного слоя (программный пакет SOG), в том числе на однопутных линиях. С его помощью определяется необходимая производительность выполнения работ в зависимости от заданной длительности окна. Полученные результаты позволяют проверить возможность применения выбранной технологии очистки.

Инженерное общество железнодорожного транспорта (IVE) было создано в 1998 г. Его основной целью является научное и программное сопровождение выполняемых клиентурой проектов на всех стадиях — от принятия идеи до ее реализации. Кроме того, на базе опыта, накопленного в области железнодорожного транспорта, общество разрабатывает перспективные концепции технических решений, которые значительно укрепляют позиции железнодорожного транспорта на мировом рынке перевозок.

При разработке своих проектов в различных областях железнодорожного транспорта IVE успешно кооперируется с транспортными научными и учебными институтами, железнодорожными строительными компаниями, консультационными фирмами. Среди них можно назвать Университет Лейбница в Ганновере, консультационные компании Rail Management Consultants, VTCon Verkehr TechnikConsult и др.

В области железнодорожной эксплуатации, подвижного состава и моделирования процессов общество IVE разработало ряд компьютерных программных пакетов, таких как Dispo, NEMO, Dynamis, RailSys. К разработкам в области

инфраструктуры и верхнего строения пути относятся программы SOG (оптимизация длительности окон для путевых работ), SimOBau (оптимизация планирования текущего содержания пути) и DWS (электронное проектирование стрелочных переводов и пересечений). Экологическому аспекту посвящена программа EcoTransIT, которая позволяет рассчитывать степень воздействия на окружающую среду процессов перевозки грузов в пределах Европы по железной дороге, автомобильным, водным транспортом (речным и морским), а также воздушным. Рассматриваемая здесь организация очистки балласта базируется на программном пакете SOG.

## Общие положения

Рельсошпальная решетка в классическом верхнем строении пути опирается на щебеночный балластный слой, который должен иметь достаточные стабильность и упругость. Это обеспечивается соответствующим гранулометрическим составом щебня (незначительная доля мелких частиц) и их взаимным сцеплением (острые грани частиц).

Под действием динамических эксплуатационных нагрузок этот

слой постепенно теряет свои положительные свойства. Высокое сжатие в сочетании с динамическими напряжениями ведет к износу и разрушению отдельных частиц щебня. Кроме того, щебень подвергается воздействию загрязнений, обусловленных движением поездов (пыль от износа тормозных колодок, остатки перевозимых грузов, стоки из туалетов незамкнутой системы) и факторами окружающей среды.

При ухудшении качества балластного слоя снижается безопасность движения, и приходится вводить некоторые ограничения, например понижать допустимую скорость. Для восстановления требуемых свойств щебень должен быть очищен или полностью заменен.

В процессе работ по очистке балласта на двухпутных линиях для доставки нового щебня и вывоза извлеченных загрязнителей по крайней мере временно можно использовать соседний путь. На однопутных линиях не везде есть свободный доступ сбоку к железнодорожному полотну, и транспортировка материалов при очистке или замене щебня в условиях длинной линии часто проблематична или вообще невозможна. В таких случаях необходимые материалы перевозят по обрабатываемому пути в течение выделяемых окон.

## Технологии очистки

На линиях, от которых требуется высокая эксплуатационная готовность, а значит, минимальная длительность предоставляемых окон, необходимо применять высокоэффективные технологии, предусматривающие использование высокопроизводительных путевых машин (рис. 1).

В принципе, требуется извлечь часть щебня, пригодную для дальнейшего использования, отделив ее грохочением, и вместе с необхо-



Рис. 1. Балластоочистительная машина RM 900 RT



Рис. 2. Вагоны MFS

димым количеством нового щебня снова уложить в балластный слой. В заключение путь должен быть приведен в требуемое положение путем подбивки шпал и надежно стабилизирован. Если требуется большое количество нового щебня, путь приводят в оптимальное положение в несколько этапов: последовательно несколько раз укладывают щебень и уплотняют его. Чтобы сваренные в бесстыковом пути рельсы не испытывали слишком больших нагрузок, их перед началом работ разрезают и соединяют накладками, а по окончании последней подбивки, выполняемой для достижения требуемого положения пути, снова сваривают.

В процессе очистки щебеночного балластного слоя сначала выполняют подготовительные рабочие операции:

- разметка положения пути в плане и профиле;
- резка рельсовых плетей;
- установка стыковых накладок.

Основные работы включают в себя:

- очистку щебеночного балластного слоя с погрузкой непригодного щебня;
- подбивку — выправку, первый проход;
- выгрузку нового щебня для второго прохода;
- подбивку — выправку, второй проход;

- выгрузку нового щебня для третьего прохода;
- подбивку — выправку, третий проход;
- сварку рельсов.

На однопутной линии доставленный материал размещают сзади щебнеочистительной машины.

Для вывоза загрязнителей и непригодного щебня предлагается использовать так называемые вагоны-бункеры (MFS), в которые отходы по ленточному транспортеру, смонтированному в полу вагона, поступают от щебнеочистительной машины, а затем поворотным транспортером перегружаются в следующий вагон MFS (рис. 2). Число таких вагонов, участвующих в работе, согласуется со скоростью движения машины, что позволяет полностью использовать ее возможности. Необходимо иметь такое количество MFS, при котором загруженные вагоны можно вывезти рабочим локомотивом, разгрузить в заданном месте и вернуть для очередной загрузки, до того как заполнятся вагоны, оставленные у щебнеочистительной машины.

Часовое количество отходов зависит не только от площади поперечного сечения балластной призмы и степени загрязнения снимаемого слоя, но также и от производительности машины. При определении объема отходов следует учитывать и степень разрыхления

щебня. Так как отходы вывозят в направлении движения путевой машины, это не влияет на следующие операции, если вагонов достаточно для их непрерывного опорожнения и возврата.

Для подвоза нового щебня предназначены саморазгружающиеся вагоны, число которых тоже согласуется с темпом работ; вагонов должно быть достаточно для участка, обрабатываемого в выделенное окно. В ходе укладки вагоны могут возвращаться, чтобы доставлять новые партии щебня. Кроме того, необходимо иметь в распоряжении путь, длина которого достаточна для установки балластного поезда и щебнеочистительной машины, чтобы можно было освободить место для следующего прохода. Решающим параметром для определения объема щебня за одну доставку является степень загрязнения балластного слоя. Требуемый объем щебня зависит также от длины обрабатываемого участка пути и, следовательно, от производительности машины или длительности окна.

Если число саморазгружающихся вагонов ограничено, их повторно используют для подвоза новых материалов. Лишь после последней доставки нового щебня подбивочно-рихтовочная машина может заходить на рабочий участок. Сюда также заходят балластный плуг

и динамический стабилизатор пути. Опыт показывает, что желательнее выполнять последнюю доставку материалов возможно большим числом вагонов и как можно быстрее.

Существующие щебнеочистительные машины обладают различной эффективностью, обусловленной их производительностью и функциональностью (сочетанием рабочих агрегатов).

Для приведенных в табл. 1 трех технологий очистки показаны различные варианты планирования работ и полученные результаты. При этом выбраны такие машины компании Plasser & Theurer, которые по производительности пригодны для использования на участках с ограниченной длительностью окон. Были выбраны технические средства для технологий со средней, высокой и очень высокой производительностью, а именно соответствующие щебнеочистительные машины, вагон-бункер, саморазгружающийся вагон для доставки нового щебня и механизированный поезд для сплошного ремонта, обеспечивающий правильное положение пути с его уплотнением и стабилизацией. Применение динамического стабилизатора должно было обеспечить возобновление пропуска поездов по очищенному участку пути с технической скоростью непосредственно после завершения работ.

### Постановка задачи

Необходимо было оценить, в какой степени предложенные технологии (см. табл. 1) пригодны для использования на практике.

Требовалось разработать долгосрочный план работ по техническому обслуживанию для одинаковых участков линий сети железных дорог, имеющих общую длину 1000 км.

Условия: по однопутным участкам широкой колеи следуют тяжёловесные поезда; щебеночный балластный слой сильно загряз-

нен, требуется частая выправка положения пути; сильно загрязнены также обгонные пути длиной около 200 км.

Для оздоровления пути с такой общей протяженностью в течение следующих 10 лет необходимо выполнить очистку балластного слоя, после чего максимальная скорость на этом участке должна составить 80 км/ч. Отходы балласта по обе стороны пути складировать нельзя. Кроме того, погодные условия не позволяют производить работы в течение двух месяцев в году. На очищенных участках выправка пути выполняется один раз в два года.

При решении поставленной задачи сумму отдельных участков можно рассматривать как один участок, так как для определения мест работы его все равно необходимо делить на отдельные отрезки.

Моделируемый участок имеет следующие параметры:

- длина — 1000 км однопутной линии и около 200 км станционных путей (на разъездах);
- 60 разъездов длиной по 2,5 км (в среднем через каждые 16,5 км);
- ширина колеи 1600 мм;
- максимальная участковая скорость движения 80 км/ч;
- ежедневный пропуск 8 поездов в каждом направлении, т. е. 16 поездов в сутки;
- осевая нагрузка 31,5 т.

В среднем на однопутных участках расстояние между разъездами принимается равным 16,5 км; при этом длина эталонной рабочей площадки по очистке щебня составляет 14 км.

Исходя из установленных сроков, можно определить необходимую годовую производительность работ по очистке: 100 км перегонных путей и 20 км станционных.

Если работы проводятся только в течение 10 мес в году, то за неделю требуется очищать 2,273 км перегонных путей. При семидневной рабочей неделе дневная выработка составляет минимум 325 м пути.

Дополнительно еженедельно необходимо очищать 500 м станционных путей, для которых не так важна длительность окон.

### Планирование работ

С помощью программного пакета SOG (оптимизация длительности окон при укладке пути) можно планировать ход работ, исходя из зависимости «время — расстояние» и учитывая различные граничные условия. При этом возможна любая степень детализации. Чем детальнее описаны отдельные операции, тем более точно можно отобразить ход работ. В соответствии с технологией, пригодной для большого диапазона участков, определяли не график выполнения работ, а возможную производительность или приемлемую длительность окон. При такой постановке вопроса было достаточно оценить решающие операции в ходе работ.

Очистка балластного слоя на пути длиной 1000 км планировалась на основе эталонной рабочей площадки, которая относилась как раз к отрезку пути между двумя разъездами.

Для планирования работ по очистке была выбрана степень детализации, при которой основные из них рассчитывали и представляли в виде соответствующих кривых «время — расстояние». Каждая такая кривая определяла время въезда на закрытый участок (начало работ), затраты времени на подготовку рабочих агрегатов, собственно на выполнение работ, а также на демонтаж агрегатов и вывод их из рабочей зоны. При использовании щебнеочистительной машины, например, учитывалось время, затрачиваемое на подготовку баровой цепи. Подготовительные работы можно было проводить в естественные перерывы между поездами непосредственно перед закрытием пути. Сварку рельсов осуществляли после по-

Таблица 1

Технические средства для трех технологий очистки балласта

Техническое средство	Характеристика технического средства для технологий с производительностью		
	Средней	Высокой	Очень высокой
Щебнеочистительная машина без уплотнителя	RM 76, 195 м/ч	RM 80, 230 м/ч	RM 2002, 350 м/ч,
Вагон-бункер для непрерывного удаления снятого материала	Вместимость 58 м <sup>3</sup> , масса груза около 100 т		
Саморазгружающийся вагон для доставки нового щебня	Вместимость 54 м <sup>3</sup> , масса груза около 80 т		
Агрегаты первого механизированного поезда для сплошного ремонта MDZ1	подбивочно-выправочная машина	09-32	09-3X
	балластный плуг	SSP 203	SSP110
	динамический стабилизатор	DSG62N	
Агрегаты второго механизированного поезда для сплошного ремонта MDZ2	подбивочно-выправочная машина	09-32	09-3X
	балластный плуг	SSP 203	SSP 110
	динамический стабилизатор	DSG62N	

следнего прохода механизированного поезда.

При разработке пригодных вариантов технологии работ необходимо было с помощью системного планирования рассчитать число требуемых окон. После этого варианты сопоставляли и выбирали оптимальный.

При выборе окон рассматривали следующие варианты:

- окна длительностью 3, 4 и 5 ч. При этом исходили из неравномерности частоты движения поездов в течение суток и окна выделяли в наименее загруженные интервалы;

- длительные окна в конце недели, которые при высокой занятости персонала позволяли работать посменно и непрерывно. Этот вариант основан на неравномерности частоты движения поездов в течение недели;

- два окна различной продолжительности (одно — для очистки при первом и втором проходах механизированного поезда, второе — для укладки нового щебня при его третьем проходе. В этом варианте можно реализовать длинные ночные перерывы в движении в сочетании с короткими окнами днем (или следующей ночью).

После установления граничных условий выполнялось плани-

рование хода работ. Оказалось, что в зависимости от конструкции машин требуются различные операции. Так, подбивка шпал могла выполняться одним из агрегатов щебнеочистительной машины, т. е. не требовалась специальная машина. Поскольку машина не имеет механизма для уплотнения балласта, использование его при планировании работ не предусматривалось ни одной из трех технологий.

Следующий параметр — число механизированных поездов. Для трех технологий запланировано два таких поезда различной производительности. Была проверена возможность выполнения подбивки шпал в три прохода, которые распределяются между двумя имеющимися в распоряжении поездами. Вследствие большой загрязненности подсыпка нового щебня проводится дважды, и для каждой из них требуется отдельный проход механизированного поезда с целью подбивки шпал. В связи с этим при втором и третьем проходах этот поезд мог въезжать на участок только после балластного поезда и затем возвращаться назад. При малой длине участка можно, конечно, доставить столько щебня, чтобы его было достаточно для второго прохода по этому отрезку участка и для треть-

его прохода по соседнему без промежуточного подвоза материала.

При относительной близости от зоны работы места, в которое вывозятся непригодный балласт и загрязнители, вагоны MFS затрачивают 20 мин на вывоз отходов, разгрузку (все они разгружаются одновременно) и возвращение назад. В соответствии с производительностью щебнеочистительной машины для загрузки вагона-бункера отходами с отрезка пути длиной 50 м требуется определенное время, по которому можно рассчитать необходимое число таких вагонов (табл. 2). При большей продолжительности вывоза отходов, например 30 мин, требуемое число вагонов-бункеров увеличивается.

В том случае, когда работы производят в несколько окон, начиная с третьего окна и кончая последним выполняют одинаковые операции. В течение последнего окна осуществляется второй проход машины для подбивки шпал на последнем очищаемом отрезке и третий такой же проход по предпоследнему и последнему отрезкам. В следующие окна для получения бесстыкового пути проводится сварка рельсов.

Длина отрезка, который может быть очищен в течение одного окна, постепенно уменьшается (до сере-

Таблица 2

Определение требуемого числа вагонов-бункеров

Тип щебнеочистительной машины	Производительность, м/ч	Число загрузок MFS		Время заполнения вагона, мин	Требуемое число вагонов при непрерывной работе машины и продолжительности вывоза	
		через 50 м	за 1 ч		20 мин	30 мин
RM 76	195	1	4	15	6	8
RM 80	230	1	5	13	7	10
RM 2002	350	1	7	9	16	24

дины участка), так как удлиняются маршруты доставки и вывоза балласта, а затем снова увеличивается по мере перемещения рабочей площадки к соседнему разъезду. В расчетах используют среднее значение длины отрезка, обрабатываемого в течение одного окна, однако этот метод недостаточно точен.

Сложности с доставкой нового щебня возникают при большой

длине участка, очищаемого в конце недели. В этом случае требуется большой объем щебня (средняя потребность – 1,5 т/м), который невозможно доставить за один раз. Разгруженные балластные поезда должны возвращаться назад для повторной загрузки, в то время как щебнеочистительная машина на пути продолжает работать. Это означает, что механизированный поезд или каждый

раз возвращается с балластным поездом на пройденную станцию, или начинает работать лишь после завершения вывоза материалов.

Если принять вместимость балластного вагона равной 80 т и расход балласта 0,75 т/м при двух проходах механизированного поезда, то для каждого прохода на 1000 м очищаемого пути требуется 800 т нового щебня, т. е. 10 вагонов. Что-

Таблица 3

Результаты стратегического планирования хода работ

Параметр	Число механизированных поездов	Продолжительность окна, ч	Значение параметра для технологии, использующей машину		
			RM 76	RM 80	RM 2002
Длина отрезка, очищаемого в течение одного окна (среднее значение), м	2	3	298	352	552
		4	488	580	901
		5	687	813	1266
		11+5	1673	2013	–
		11+7	–	–	3083
	3	11	1673	2013	3083
Число окон на очистку участка длиной 14 км (включая сварку рельсов)	2	3	59	42	28
		4	31	27	19
		5	23	20	14
		11+5	10	9	–
		11+7	–	–	5
	3	11	10	9	5
Суммарная продолжительность окон на обработку участка длиной 14 км (включая сварку рельсов)	2	3	147	120	84
		4	124	108	72
		5	115	100	70
		11+5	149	117	–
		11+7	–	–	82
	3	11	99	82	61
Продолжительность длительного перерыва (включая сварку рельсов)	2	Длительный перерыв	119	101	85
	3		82	77	50

бы минимизировать время доставки нового щебня, нужно иметь достаточное число балластных вагонов и соответствующий тяговый подвижной состав.

### Результаты планирования работ для эталонной рабочей площадки

Результаты исследований выполнения работ по трем рассмотренным вариантам технологии применительно к эталонной рабочей площадке длиной 14 км приведены в табл. 3. Для полноты сравнения представлен также вариант с длительным перерывом.

Суммарная длительность окон, как следует из табл. 3, уменьшается с увеличением продолжительности отдельных окон и достигает минимума при длительных перерывах, так как при этом минимизируется непроизводительное время на доставку и вывоз материалов, подготовку и демонтаж агрегатов.

В вариантах с длительностью окон 11+5 ч или 11+7 ч обеспечивается полная очистка щебня в первое окно, причем путь освобождается для эксплуатации, если использовать два механизированных поезда в течение 11 ч. Для завершения работы этих поездов требуется лишь относительно короткое окно. Оказалось, что второе (короткое) окно должно назначаться в зависимости от производительности очистки и провозной способности поезда. Оно должно быть достаточным, чтобы обеспечить на очищенном отрезке последнюю укладку нового щебня при замыкающем проходе балластного поезда. Для технологий с использованием машин RM 76 и RM80 длительность дополнительных окон составляет 5 ч, а при технологии с большими объемами очистки — 7 ч.

При наличии трех механизированных поездов эти дополнительные окна не требуются ни для одной из всех трех технологий. Третий поезд за 11-часовое окно мог бы привести уже обработанный участок в требуемое состояние, уплотнить его и стабилизировать, т. е. обеспечить возможность эксплуатации без ограничений.

Исследованием производительности щебнеочистительных машин установлено, что машина RM 76 при одноступенчатой технологии может в среднем очистить 300 м пути за 3-часовое окно. Если, как принято в расчете, иметь только два механизированных поезда, то ее производительности едва достаточно для того, чтобы обеспечить второй и третий проходы поезда в дополнительное окно. При технологии, предусматривающей использование машины типа RM 2002, требуемая производительность может быть достигнута только при одновременной подбивке трех шпал.

Для рассматриваемого однопутного участка общей длиной 1000 км можно исключить технологию средней производительности (см. табл. 1) с 3-часовыми окнами, поскольку в этом случае не достигается требуемая среднегодовая производительность очистки 325 м в день. Другие варианты в принципе обеспечивают решение поставленной задачи.

### Заключение

Стратегическое исследование очистки балласта на однопутной железнодорожной линии общей длиной 1000 км показало, что такое оздоровление с помощью базисных технологий возможно без прекращения движения поездов. В окно длительностью 3 и 4 ч можно достичь прием-

лемой производительности очистки. При частоте движения 16 поездов в день выделение таких окон возможно. Конечно, если имеются более длинные ночные перерывы и последующие короткие окна (варианты 11+5 ч или 11+7 ч), то им следует отдавать безусловное предпочтение: исключение непроизводительных операций по доставке и вывозу материалов с повторяющимися подготовкой и демонтажом агрегатов позволяет снизить общую стоимость работ.

Таким образом, 10-летний цикл очистки щебня на участке пути длиной 1000 км может быть осуществлен по различным технологиям; требуются лишь соответствующие машины. Конечно, таких циклов при хорошем содержании пути, как правило, не требуется даже в случае больших эксплуатационных нагрузок. При этом решающими являются конкретные граничные условия, влияющие на загрязнение балласта, — тип верхнего и нижнего строения пути, грузонапряженность и окружающая среда.

Обработка поставленной эталонной задачи показала большую возможную полезность таких стратегических исследований для принятия долгосрочных решений применительно к конструкции верхнего строения пути и планированию его текущего содержания в сочетании с эксплуатационными заданиями, обусловленными графиком движения. Наконец, такие исследования с использованием фактических параметров отдельных участков сети железных дорог позволяют оптимизировать планирование инвестиций и применение больших путовых машин.

*По материалам инженерного общества IVE и компании Plasser & Theurer.*