

Автоматизация рудовозной железной дороги

На предприятии El Teniente в предгорьях Анд (Чили) в 2001 г. было выплавлено 350 тыс. т чистой меди. Рост мирового спроса на медь побудил тогда чилийскую государственную рудную компанию Codelco приступить к реализации крупной инвестиционной программы с целью увеличения объемов производства до 480 тыс. т. В начале 2006 г. на частной железной дороге, обслуживающей горнорудный комплекс, уже начато движение в автоматическом режиме поездов повышенной массы и длины.

Основу проекта железнодорожной части горнорудного комплекса составила реконструкция однопутной линии нормальной колеи длиной около 12 км, электрифицированной на постоянном токе напряжением 650 В. Устройства погрузки руды в вагоны находятся в шахте, первые 7 км линии проходят под землей, последние 4 км подходят по поверхности к разгрузочному комплексу и предприятию по переработке руды и выплавке меди.

Аудит проекта реконструкции линии с точки зрения обеспечения максимального прироста провозной способности с приемлемыми затратами выполнила приглашенная Codelco компания Interfleet. Ежесуточный объем перевозок уже увеличен с 78 тыс. до 120 тыс. т медной руды, в опытным порядке доказана возможность перевозить 126 тыс. т руды в день. За счет автоматизации управления движением поездов и ряда других мероприятий рассчитывали решить основную задачу реконструкции — довести ежесуточный объем перевозок до 131 тыс. т.

Утяжеление поездов

Сразу же было понятно, что увеличение числа поездов даст небольшой эффект в силу ограничений, накладываемых инфраструктурой

однопутной линии. Строительство второго тоннеля или расширение существующего под второй путь нереальны, поэтому оставался путь максимально возможного увеличения массы каждого поезда.

До реконструкции на линии циклически обращались пять поездов из 15 или 16 вагонов. Рабочих перевозили в электропоездах. Кроме того, имелись несколько тепловозов для тяги рабочих поездов и служебный подвижной состав, включая снегоочиститель и путевые машины.

Рудовозные поезда формировались как челночные. Электровозы, которые ставились со стороны шахты, тянули порожние составы на подъем и подталкивали груженные к перерабатывающему комплексу. До реконструкции в хвостовом вагоне каждого поезда со стороны перерабатывающего комплекса находился специальный работник — кондуктор, передававший машинисту по радиосвязи информацию о показаниях сигналов и применявший в случае необходимости экстренное торможение.

На железной дороге работают вагоны двух типов. Руду более мелкой фракции перевозят в вагонах массой брутто 100 т с донной разгрузкой, крупнокусковую — в 80-тонных с боковой разгрузкой. В рамках реконструкции приобрете-

ны еще шесть вагонов второго типа для увеличения составности поездов до максимально возможной, а именно до 18 вагонов, что можно реализовать без дорогостоящих работ по удлинению тоннелей в пунктах погрузки.

Однако более значимыми, чем увеличение длины поездов, были модификация вагонов под автоматизированную разгрузку и организация мониторинга за состоянием колес. На всех вагонах установлены компьютеры для управления открытием крышек люков и обмена данными с локомотивными устройствами системы АТР (автоматического ограждения поезда), а также ускоренеры для обнаружения схода с рельсов, связанные с тормозной системой локомотива. Система мониторинга целостности состава предотвращает выдачу сигнала о свободности маршрута за разъединившимся поездом, что позволяет отказаться от вагонов с площадкой для кондуктора и обеспечивает большую эксплуатационную гибкость.

Для тяги более тяжелых поездов взамен старых электровозов у компании Schalker Eisenhütte (Германия) были заказаны новые четырехосные электровозы (рисунк), рассчитанные на работу в условиях шахты с высоким содержанием пыли и влаги в воздухе. Масса локомотивов с помощью балласта была увеличена для получения требуемого сцепления. В преобразователях тягового привода трехфазного переменного тока применены IGBT-транзисторы в герметизированном исполнении. Управление и контроль за работой электрообо-



Новый электровоз производства компании Schalker Eisenhütte

Технические характеристики новых электровозов	
Ширина колеи, мм	1435
Осевая формула	$B_0 - B_0$
Длина по сцепкам, мм	15 640
Ширина, мм	2900
Высота над УГР, мм	4000
Масса, т	130
Номинальная мощность, кВт	8×200
Максимальная скорость, км/ч	60

рудования осуществляется с помощью микропроцессорной системы Siemens S7.

Поезда без машинистов

Во время перерывов между сменами, длительность которых составляет 45 мин, железная дорога ранее также не работала и все поезда выводились на поверхность. По мнению Codelco, переход на непрерывную работу, дающий существенный прирост производительности, возможен за счет автоматизации. С целью высвобождения необходимой для этого пропускной способности для перевозки рабочих задействовали автобусы, но электропоезда сохранили и оснастили системой АТР для использования в случае экстренной эвакуации.

После успешных испытаний системы автоматизированного управления движением (АТО) поезда стали обращаться без машинистов. Вмешательство человека теперь требуется только во время погрузки, когда поездами дистанционно управляет диспетчер из центра управления с помощью замкнутой системы теленаблюдения (ССТV). Все перемещения поездов централизованно контролируются с двух рабочих мест с тремя экранами, одно из которых находится в рабочем состоянии, второе — в горячем резерве. На двух экранах отображается состояние железнодорожной сети, на третьем — возникновение экстренных ситуаций.

Поезда могут курсировать в режиме «по требованию» (в зависи-

мости от объемов добычи руды) или по графику. С помощью мыши компьютера оператор задает пункты отправления и назначения, после чего программное обеспечение автоматически оптимизирует маршрут, исключая конфликтные ситуации.

Систему сигнализации Microlok компании US&S заменили на систему Interflow компании Bombardier, разработанную специально для промышленного транспорта и базирующуюся на тех же принципах, что и европейская система управления движением поездов ETCS уровня 3. Рельсовые цепи заменены путевыми приемопередатчиками, которые сообщают на поезд точные данные о его местоположении, уточняемые по показаниям одометров, установленных на осях. Эта информация по радиосвязи передается на пост централизации. На наземном участке используются обычные антенны, на подземных используются дублированные и перекрывающие друг друга кабели-излучатели, проложенные между пунктами повторения сигналов.

Пост централизации контролирует все поездные передвижения и дает разрешение на движение в обратном направлении. Система АТР вмешивается в случае необходимости снизить скорость или применить экстренное торможение, если поезд превышает заданную скорость или выходит за пределы разрешенной зоны.

Повышение массы и скорости движения поездов привело к увеличению в 4 раза общей нагрузки на путь, что потребовало реконструкции инфраструктуры. Для этого в критических местах уложены рельсы массой 67 кг/м на шпалах из твердых пород дерева, в стрелочных переводах применены рельсы с закаленной головкой. С учетом увеличенного потребления электроэнергии в контактной сети подвешены провода большего сечения, на тяговых подстанциях установлено более мощное оборудование.

Потребовал изменений и режим текущего содержания пути. Часто-

та ультразвукового контроля рельсов увеличена с одного до четырех раз в год, организовано ежемесячное инспектирование пути, расширен парк соответствующих технических средств.

Требования безопасности

Рост спроса на медь диктовал проведение программы реконструкции без остановки работы железной дороги: из руды, доставленной одним поездом, можно выплавить меди на 70 тыс. дол. США. Весь объем работ предстояло выполнять в дневные окна, обычно используемые для работ по текущему содержанию, что первоначально вызвало крупные проблемы из-за несоблюдения продолжительности выделенных окон. Введение постоянного мониторинга хода работ дало нужный результат, в том числе и в плане безопасности.

С автоматизацией управления движением поездов появились новые риски. Раньше шахтеры практически свободно перемещались по рабочему пространству, и машинисты сигналами предупреждали оказавшихся на путях об опасности. Отказ от машинистов в поездах потребовал иного подхода к обеспечению безопасности, а именно установки барьеров, ограждений, предупреждающих надписей и разработки специальных процедур, определяющих действия при выполнении срочных ремонтных работ и выводе неисправных поездов.

Наиболее опасным с точки зрения возникновения угрожающих ситуаций был период перехода на вождение поездов в автоматическом режиме, поэтому в это время в поездах находились локомотивные бригады. Машинист располагал стандартным интерфейсом ETCS, отражающим фактическую и заданную скорость движения, а также оставшееся до места назначения расстояние.

Администрация Codelco разъяснила персоналу, что переход на

автоматизированный режим вождения не преследует цель увольнения работников, и это гарантировало благоприятное отношение и содействие поездных бригад в период отработки технологии. Члены поездных бригад были направлены на переподготовку по иным профессиям, связанным с обслуживанием и ремонтом технических средств железной дороги, а также оставлены в резерве на случай отказа системы автоматизации. Компания признает важным сохранение коллективного эксплуатационного опыта.

Раньше обслуживание и ремонт технических средств железной дороги выполнялись своими силами, но данная модель неприемлема при новых внедренных технологиях. Поэтому с компаниями-поставщиками, в частности с Schalker и Bombardier, заключены соответствующие контракты на фирменный сервис, в том числе на обучение персонала, поставку запасных частей и в перспективе — модернизацию.

Предложения Interfleet

После реконструкции железная дорога работает 21 ч в сутки, окна на техническое обслуживание ежедневно выделяются с 11 до 14 ч, в наименее производительную смену. Среднесуточный объем перевозок по-прежнему составляет 120 тыс. т руды, но можно вывозить до 131 тыс. т, причем автоматизация перевозочно-го процесса обеспечивает снижение эксплуатационных расходов.

Еще до завершения реконструкции обсуждался вопрос о повышении порога до 150 тыс. т. Это превышает текущие размеры добычи, но подобные прогнозные исследования необходимы для решения дилеммы: что строить — вторую линию или конвейерную систему — в том случае, если действующая железная дорога полностью исчерпала свои возможности.

К компании Interfleet обратились с просьбой выявить узкие места

транспортной системы и рассчитать ее потенциальные резервы. Удлинение тоннелей оценили как слишком дорогой вариант, основное внимание сфокусировали на оптимизации эксплуатационных технологий, графике движения и путевом развитии в пункте разгрузки.

План добычи определяет объем перевозок и места разгрузки, а значит, маршруты и частоту движения поездов. Процессу добычи присущи колебания, к которым должна гибко адаптироваться транспортная система. Чтобы составить полную картину текущего эксплуатационного процесса, Interfleet изучила производственный план 2006 г. и рассчитала для него программу вывоза добытой руды. План 2006 г. предусматривает добычу 137 тыс. т руды ежедневно, из которой выходит 1512 т меди рыночной стоимостью 6 млн. дол.

Статистические данные взвешивания вагонов показали, что не все вагоны загружаются до максимальной возможной величины. Поэтому при ревизии планов реконструкции Interfleet исходила из загрузки каждого вагона 65 т, чтобы получить более реальную оценку.

Необходимо было оценить полный оборот поезда, включая движение на однопутном участке, простои под погрузкой и разгрузкой. Interfleet подготовила данные по всем поездным передвижениям, необходимые для понимания порядка выполнения текущих операций. Codelco со своей стороны предоставила статистику времени нахождения всех поездов под погрузкой и разгрузкой в течение 2 мес.

На базе реальных данных сначала моделировали работу данной системы и оптимизировали ее путем внесения серии последовательных изменений в эксплуатационный план. Выяснили, что оптимальный оборот равен 76 мин. В ряде случаев его удавалось улучшать, но в целом эффективность достигалась компромиссным путем, поскольку не было необходимости в постоянном регулировании, гаран-

тирующем соблюдение оптимального оборота всеми поездами.

Затем проанализировали другие лимитирующие факторы, влияющие на общий тоннаж, и подготовили рекомендации по некоторым дополнительным инфраструктурным работам, включая устройство участка с подвижной контактной сетью для пропуска прямых поездов на другие пункты разгрузки без необходимости в регулировке двух токоприемников.

Исходя из увеличения продолжительности окна для работ по техническому обслуживанию до 4 ч подготовлен эксплуатационный план на 20 ч, в который входят семь поездов, выполняющих 15 рейсов с оборотом 76 мин, и шесть поездов сокращенных маршрутов с уменьшенным до 60 мин оборотом. План детализировал точный порядок следования поездов, их передвижения и регулировки с обеспечением вывоза 55,8 тыс. т руды мелкой фракции двумя поездами, один из которых выполнял 15 рейсов, второй — 16 рейсов в сутки, а еще пять поездов из 18 вагонов с боковой разгрузкой выполняли по 16 рейсов, доставляя 93,6 тыс. т крупнокусковой руды, что в итоге дало 149,4 тыс. т руды в день.

Установлено, что в идеальных условиях и при 4-часовом окне железная дорога может теоретически вывозить до 150 тыс. т руды в сутки существующим парком подвижного состава на действующей инфраструктуре. Учитывая возможные производственные осложнения, сбои в движении и прочие помехи, усредненную провозную способность в соответствии с требованиями плана 2006 г. Interfleet оценила в 137 тыс. т в сутки. Одновременно проведенный анализ позволил сделать вывод, что любое последующее увеличение объема перевозок потребует значительных инвестиций в большинство технических объектов железной дороги.