

станции для пропуска, по рассматриваемой железнодорожной линии, планируемого поездопотока.

Разработанная имитационная модель может быть унифицирована для различных технических станций, дополнена в части увеличения количества подходов и категорий поездов, обслуживаемых в парке, а также взаимодействием с другими парками и элементами станций.

Литература:

1. Козлов П.А., Осокин О.В. Разработка модели автоматизированного расчета схемы оборота поездных локомотивов // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 4. – С. 58-61.
2. Хомич Д. И., Тимченко В. С., Костенко В.В. Программа оптимизации распределения локомотивного парка при производстве путевых работ // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 66–69.
3. Левин Д.Ю. Очереди на железной дороге // Мир транспорта. – 2014. – №2. – С. 132-141.
4. Романова Б., Муковнина Н.А., Цыганов С.А Влияние емкости станционных путей на простои вагона с переработкой // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 5 (47). – С. 78-82.
5. Долгорук Д.С., Каликина Т.Н. Формирование системы прогнозирования подвода грузов к портам // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 2 (32). – С. 39-43.
6. Тушин Н.А., Сурин А.В. Оценка увеличения пропускной способности припортовой сортировочной станции в условиях согласованной работы железнодорожного направления порта // УрГУПС. URL: https://www.usurt.ru/uploads/data/index5/files/8_11/114_5_8_11.doc
7. Козлов П. А., Колокольников В. С., Сорокин В. И. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 3-8.
8. Лукинский В. В., Малевич Ю. В. Проблемы оценки эффективности функционирования транспортно-логистических центров // Журнал университета водных коммуникаций. – 212. – № 1. – С. 216-220.
9. Козлов П.А., Осокин О.В., Тушин Н.А. От оперативных баз данных к интеллектуальной информационной среде // Вестник РГУПС. – 2011. – № 4 (44). – С. 138–144.
10. Ковалев К.Е., Тимченко В.С. Оценка длительностей занятия приемо-отправочных путей технической станции методом имитационного моделирования // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – №3. – С. 43-46.



Тимченко В.С., ООО «Транс Сити Групп Центр», г. Санкт-Петербург
Хомич Д.И., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Система поддержки принятия решений при определении длительности отвлечения локомотивов для ремонта железнодорожного пути

Введение

Для развития и реконструкции инфраструктуры железных дорог используются высокопроизводительные железнодорожно-строительные машины. Современный парк путевых машин насчитывает свыше ста различных видов, из которых формируется более 50 вариантов комплексов с различными условиями их транспортировки и работы в «окно». В настоящее время разрабатываются и совершенствуются технологии производства путевых работ. Разнообразие путевых машин, их комплексов, а также дальность транспортировки и большое количество реализуемых «окон» ставят сложные задачи перед оперативным диспетчерским персоналом. Эффективное использование техники требует четкой координации всех участников процесса.

Одним из перспективных направлений развития транспорта является внедрение новых информационных технологий, связанных с эксплуатацией железнодорожного транспорта. Это обеспечивает эффективность использования имеющихся ресурсов, а также прозрачность процессов, происходящих в режиме реального времени.

Низкая эффективность существующей технологии выделения локомотивов для хозяйственных нужд вызвана большим количеством участников процесса (до 20 специалистов) и сложностью согласования всеми участниками процесса в ограниченных временных рамках.

Организация эффективной работы маневровых и магистральных локомотивов вышла на первый план,

т.к. компания несет существенные затраты на обслуживание и содержание локомотивного парка при низкой отдаче, обусловленной их низкой загрузкой.

Распределение локомотивного парка по заявкам на локомотивы возложено на оперативных работников дирекции тяги (дежурный по локомотивному депо). Однако в большинстве случаев распределение парка для хозяйственных нужд перекладывается на диспетчерский аппарат. Локомотивный и поездный диспетчеры при взаимодействии с региональным диспетчером инфраструктуры совместно принимают решение о выделении локомотивов для исключения срыва путевых работ. Распределение локомотивов для заявки на один регион (20-30 локомотивов) требуется до 2 часов, что соответствует примерно 16% всего рабочего времени.

Для облегчения труда оперативного персонала были реализованы и внедрены программные продукты, основанные на среднестатистических данных характерных для железных дорог, без учёта особенностей транспортировки и работы путевых машин. Использование данных программных комплексов является не актуальным т.к. имеются существенные разногласия не только в потребном количестве, но и в типе локомотивов.

Для решения проблемы была разработана программа [1-5] способная автоматически распределять имеющийся парк локомотивов как по техническим, так и по технологическим критериям путевых машин и их комплексов с учётом специфики работы, возможности использования локомотивов на последующих этапах работы.

Программа рассчитывает потребность по каждому типу локомотивов, а также их количество, которое можно отправить со станций назначения сразу после прибытия, и количество, которое требуется подослать для выполнения технологических операций.

Для определения потребного количества локомотивов и их распределения по мощности весь объем путевых работ делится на:

- подготовительные (транспортировка материалов и техники к месту проведения работ);
- технологические (формирование хозяйственных поездов на станции);
- работу в «окно».

Как правило, при формировании заявки на выделение локомотива для хозяйственных работ рассматривается 5 типов локомотивов: маневровый локомотив, вывозной локомотив (2М62), пассажирский локомотив, грузовой электровоз и грузовой тепловоз.

Однако, кроме определения количества локомотивов, требуемых для производства путевых работ необходимо оценить длительность их отвлечения.

Поэтому развитием программы является решение задачи определения длительности отвлечения локомотивов по категориям для ремонта железнодорожного

пути. Программа призвана выступить в роли системы поддержки принятия решений (СППР) в помощь локомотивному диспетчеру, освобождая его от многочисленных расчетов, которые требуется проводить в оперативном порядке в условиях острого дефицита времени.

Длительность отвлечения i -го локомотива для нужд ремонтных работ определяется по формуле:

$$t_o^i = t_{m.m.}^i + t_{\phi}^i + t_{p.o.}^i + t_{m.o.}^i,$$

где $t_{m.m.}^i$ – время работы i -го локомотива по транспортировке путевой техники к месту проведения ремонтных работ;

t_{ϕ}^i – время на формирование хозяйственных поездов на станции;

$t_{p.o.}^i$ – время производства путевых работ;

$t_{m.o.}^i$ – время работы по транспортировке путевой техники от места проведения ремонтных работ к месту дислокации путевой техники.

Следует отметить, что потребность в локомотивах при формировании и производстве путевой техники значительно ниже, чем при транспортировке техники к месту производства путевых работ, поэтому для лишних локомотивов длительность отвлечения i -го локомотива для нужд ремонтных работ определяется по формуле:

$$t_o^i = t_{m.m.}^i + t_{m.o.}^i.$$

По этой же формуле определяется длительность отвлечения i -го локомотива для нужд ремонтных работ для локомотивов, привлекаемых впоследствии для транспортировки техники с мест проведения ремонтных работ к месту дислокации путевой техники.

Основной сложностью при определении длительности отвлечения i -го локомотива для нужд ремонтных работ, является определение момента времени окончания ремонтных работ для каждого вида путевых машин, который не может быть определен аналитически, а требует разработки графиков предоставления ремонтных работ, алгоритм разработки которых подробно описан в работе [6].

Рассмотрим этот момент более подробно на примере модернизации железнодорожного пути.

Модернизация кроме капитального ремонта пути на новых материалах включает работы по всей железнодорожной инфраструктуре (СЦБ, связь, электроэнергетика и т.д.).

Подготовительные и заключительные (отделочные) работы выполняются в технологические «окна».

Возможность частичного выполнения срезки земляного полотна в технологические «окна» затрудняет расчет потребного количества «окон» при составлении графиков ремонтных работ. Поэтому на основе опыта специалистов, для срезки земляного полотна на ремонтируемых участках длиной менее 12 км дополнительно выделяются 3 восьмичасовых или 2 десятичасовых «окна». При длине участка

более 12 км эта работа выполняется только в технологические и при совмещении с основными видами ремонтных работ без выделения отдельных «окон».

При модернизации железнодорожного пути к основным видам ремонтных работ [7] относятся:

1. Сохранение длинномерных рельсовых плетей;
2. Укладка новой рельсошпальной решетки (РШР);
3. Смена инвентарных рельсов на длинномерные плети (См);
4. Глубокая очистка балласта (ГО);
5. Чистовая выправка и динамическая стабилизация пути (ЧВ).

В последнее время длинномерные рельсовые плети не сохраняют, что сокращает количество предоставляемых «окон». Рельсовые плети разрезают на части по 25 м и увозят вместе со старой рельсошпальной решеткой, а на ее место укладывают новую рельсошпальную решетку с инвентарными рельсами, поэтому не станем рассматривать этот вид работ.

Для сокращения количества «окон» часть работ выполняется путем совмещения ремонтных работ в разных местах ремонтируемого участка в течение одного «окна».

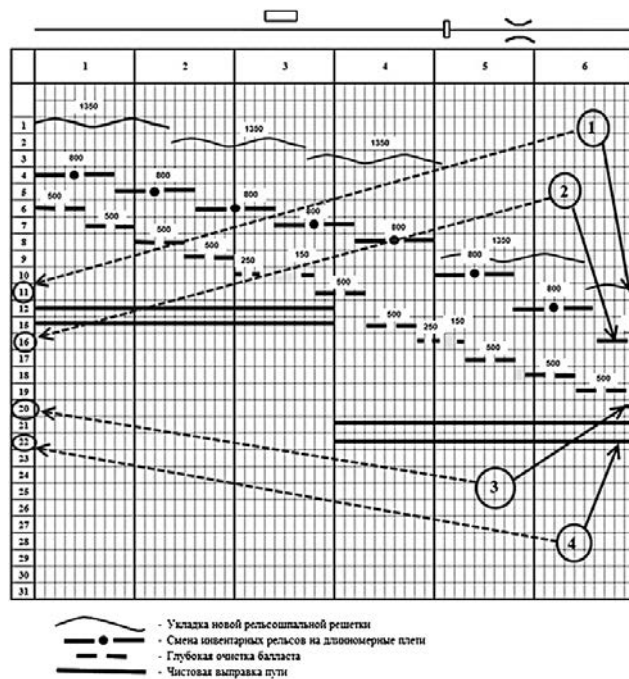


Рис. 1. Фрагмент графика работ по модернизации железнодорожного пути в восьмичасовые «окна» с указанием моментов времени окончания каждого вида работ

Возможность совмещения работ в течение одного «окна» [8-9] возникает, когда впереди идущий комплекс обеспечит протяженность участка работ (...) следующему за ним комплексу, достаточную для работы этого комплекса без задержек ($l_{к2}t_{ок}$), где $l_{к2}$ – часовая производительность второго комплекса, $t_{ок}$ – продолжительность ремонтных работ и $l_{б3}$ – расстояние, обеспечивающее безопасное выполнение работ, что выражается неравенством:

$$L_{к1} \geq l_{к2}t_{ок} + l_{б3}$$

Фрагмент графика работ по модернизации железнодорожного пути в восьмичасовые «окна» с указанием моментов времени окончания каждого вида работ представлен на рис. 1.

Расчет времени продолжительности видов ремонтных работ при модернизации железнодорожного пути является трудоемким и однообразным процессом, поэтому использование предлагаемой СППР, реализованной в имитационной среде Anylogic [10], для расчета длительности отвлечения i -го локомотива для нужд ремонтных работ позволяет значительно облегчить работу локомотивных диспетчеров. Вид окна ввода данных программы расчета времени окончания времени выполнения видов работ при ремонте железнодорожного пути представлен на рис 2.

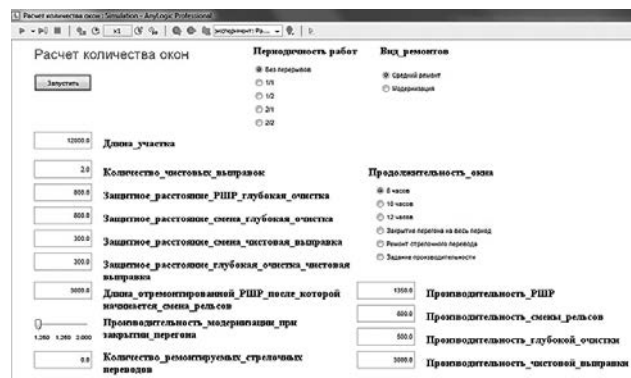


Рис. 2. Вид окна ввода данных программы расчета времени окончания времени выполнения видов работ при ремонте железнодорожного пути

Ремонт железнодорожного пути длиной 12 км проводится в восьмичасовые ежедневно-предоставляемые «окна». Прочие исходные данные представлены на рис. 2.

Вид экрана результатов расчета времени окончания времени выполнения видов работ при ремонте железнодорожного пути представлено на рис. 3.

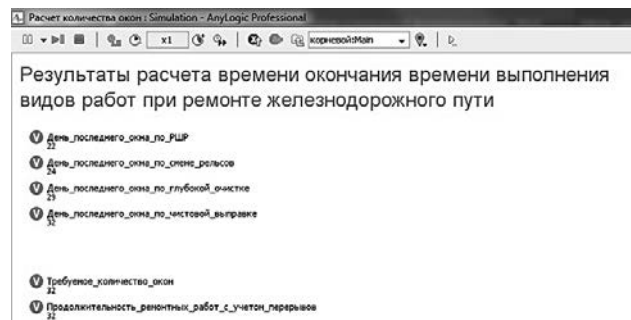


Рис. 3. Результаты расчета времени окончания времени выполнения видов работ при ремонте железнодорожного пути

На время окончания времени выполнения видов работ при ремонте железнодорожного пути влияет периодичность предоставления «окон». Результаты расчетов для различных условий ремонта 12 километрового участка представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты окончания времени выполнения видов работ для различных условий ремонта 12 километрового участка, дней

Периодичность ремонтных работ	Продолжительность «окна»		
	8 ч.	10 ч.	12 ч.
Без перерывов	РШР – 22 См – 24 ГО – 29 ЧВ – 32	РШР – 16 См – 18 ГО – 23 ЧВ – 26	РШР – 14 См – 15 ГО – 19 ЧВ – 23
1/1	РШР – 43 См – 47 ГО – 57 ЧВ – 63	РШР – 31 См – 35 ГО – 45 ЧВ – 51	РШР – 27 См – 29 ГО – 37 ЧВ – 45
1/2	РШР – 64 См – 70 ГО – 85 ЧВ – 94	РШР – 46 См – 52 ГО – 67 ЧВ – 76	РШР – 40 См – 43 ГО – 55 ЧВ – 67
2/1	РШР – 32 См – 35 ГО – 43 ЧВ – 47	РШР – 23 См – 26 ГО – 34 ЧВ – 38	РШР – 20 См – 22 ГО – 28 ЧВ – 34
2/2	РШР – 43 См – 47 ГО – 57 ЧВ – 63	РШР – 31 См – 35 ГО – 45 ЧВ – 51	РШР – 27 См – 29 ГО – 37 ЧВ – 45

Представленные в табл. 1 результаты позволяют определить время окончания занятости путевой техники на ремонтных работах и суммарное время отвлечения локомотивов по типам для всего цикла работ, а также моменты времени подсылки локомотивов для транспортировки техники с места проведения ремонтных работ к местам ее постоянной дислокации.

Следует отметить, что особенности проведения модернизации железнодорожного пути в местных условиях могут вызвать определенные расхождения с расчетными данными, поэтому на первом этапе в качестве эталонного значения расчетных величин времени окончания видов работ, после которых путевые машины не используются в процессе ремонта для модернизации железнодорожного пути для проведения расчетов были приняты следующие допущения:

1. Подготовительные работы заканчиваются на каждом из фронтов работ за сутки до начала укладки новой РШР;
2. Уборка старой РШР на каждом из фронтов работ, выполняется на каждом из фронтов работ в то же «окно», что и Укладка новой РШР;
3. Выгрузка длинномерных рельсов и сварка плетей выполняются в «окна» «Смена инвентарных рельсов на длинномерные плети», представленные на графике (рис. 1);
4. Выправочно-отделочные работы выполняется на каждом из фронтов работ в то же «окно», что и Глубокая очистка балласта;
5. Балластировка пути выполняется на каждом из фронтов работ в то же «окно», что и Чистовая выправка пути;

6. Прочие нюансы, вызванные местными условиями ремонта железнодорожных участков на данном этапе работы, не учитываются.

Для расчета времени отвлечения локомотивов по типам для производства путевых работ ($t_{p.o}^i$) все путевые машины распределены по видам работ, после которых они не требуются на ремонтируемом участке (табл. 2), что позволяет исходя из привязки локомотивов к определенной машине рассчитать время их занятости на работах. Для каждого этапа работ формируются хозяйственные поезда с материалами и отдельные комплексы машин. Порядок их отправления представлен в табл. 2 для каждого этапа работ.

Пример расчета времени окончания работ всех наименования техники при модернизации железнодорожного пути в условиях модернизации железнодорожного участка в восьмичасовые «окна» с периодичностью ремонтных работ 1/1 представлен на рис. 4.

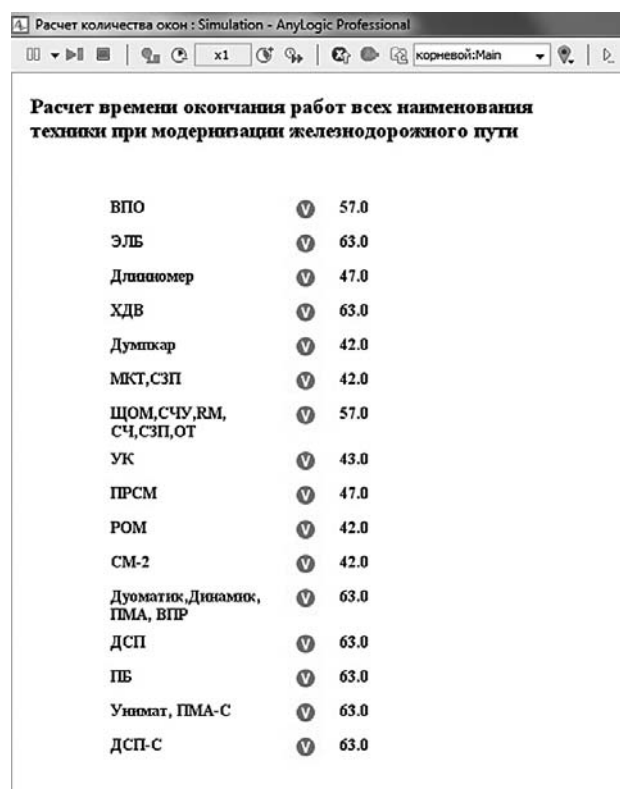


Рис. 4. Пример расчета времени окончания работ всех наименования техники при модернизации железнодорожного пути с использованием авторской СППР

Как видно из рис. 4. СППР позволяет локомотивным диспетчерам в оперативных условиях получить автоматизированный расчет времени окончания работ всех наименования техники при модернизации железнодорожного пути, что будет способствовать более эффективному распределению локомотивов для хозяйственных нужд и увеличению их загрузки.

Таблица 2. Распределение путевых машин по видам работ, после которого они не используются в процессе ремонта для модернизации железнодорожного пути

Наименование машины / этап работ	Подготовительные работы	Уборка старой РШР	Укладка новой РШР	Выгрузка длинномеров	Смена плетей	Сварка плетей	Глубокая очистка щебня	Выправочно-отделочные работы	Балластировка пути	Чистовая выправка пути
ВПО								+		
ЭЛБ									+	
Длинномер выгрузка плетей				+						
Длинномер смена плетей					+					
ХДВ										+
Думпка	+									
МКТ,СЗП	+									
ЩОМ,СЧУ,РМ,СЧ,СЗП,ОТ (на выбор один комплекс)							+			
УК (для стрелочных переводов отдельный комплекс) погрузка РШР		+								
УК (для стрелочных переводов отдельный комплекс) выгрузка РШР			+							
ПРСМ						+				
РОМ	+									
СМ-2	+									
Дуоматик,Динамик, ПМА, ВПР (одна машина на выбор)										+
ДСП										+
ПБ										+
Унимат всех наименований, ПМА-С (одна машина на выбор) работа на стрелочных переводах										+
ДСП-С) работа на стрелочных переводах										+

Заключение

Использование авторской СППР позволяет рассчитать время отвлечения локомотивов для каждого типа при производстве ремонтных работ. Определяет время подсылки локомотивов для транспортировки техники с места проведения ремонтных работ к местам ее постоянной дислокации, что позволяет оперативному персоналу распределить локомотивы во всех видах движения

с наибольшей их эффективностью и обеспечить минимальный простой техники при ее транспортировке. Данная программа позволит в том числе повысить производительность локомотивов и выработку техники за счёт их оптимального распределения по видам движения.

Литература:

1. Хомич Д. И., Тимченко В. С., Костенко В.В. Программа оптимизации распределения локомотивного парка при производстве путевых работ // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 66–69.
2. Костенко В. В., Хомич Д. И., Тимченко В. С. Разработка программы оптимизации распределения локомотивного парка при производстве путевых работ // Транспорт России: проблемы и перспективы 2016. Том 2 – 2016. – С. 325-329.
3. Тимченко В.С., Хомич Д. И. Система поддержки принятия решений при оптимизации распределения локомотивного парка для нужд путевых работ // Интеллектуальные и информационные системы. – 2016. – С. 33-37.
4. Хомич Д. И., Тимченко. В. С. Алгоритмизация процесса распределения локомотивов в хозяйственном движении // Транспорт Урала. 2016. № 1(48). С. 57–60.
5. Хомич Д.В., Тимченко В. С. Модель распределения локомотивов в хозяйственном движении // Образование, наука и транспорт в XXI веке: опыт, перспективы, инновации. – 2016. – С. 38-42.
6. Тимченко В.С. Метод оценки пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования. дисс. канд. техн. наук: 05.22.08.– СПб, 2016. – 207 с.
7. Кокурин И.М., Катцын Д.В., Тимченко В.С. Определение параметров «окон» при оценке перевозочных перспектив // Мир транспорта. – 2015. – №2. – С. 142-153.
8. Тимченко В.С. Алгоритмы расчета графиков проведения ремонтных работ железнодорожного пути на перспективу// Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – №3. – С. 127.
9. Тимченко В. С. Оценка перспективной пропускной способности железнодорожных участков с учетом предоставления длительных «окон», на основе применения имитационного моделирования процессов перевозок // Теоретические и практические проблемы развития современной науки. – 2015. – №1. – С. 85-87.
10. Тимченко В.С., Ковалев К.Е., Хомич Д.И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте: монография / Саарбрюккен, Германия: LAP. LAMBERT Academic Publishing, 2017. ISBN 978-3-330-04025-0 – 172 с.