

Таблица 2 – Требования к стрелочным горловинам улучшенных эксплуатационных качеств, адаптированные к принятию оперативных решений

№ схемы	Описание схемы	Параметры схем путевого развития, обеспечивающие безопасность маневров с вагонами расчетных групп, м		
		массовых (ВМТ)	увеличенных размеров (ВУР)	
1	<b>Криволинейные участки пути</b>			
1.2	S-образные кривые без вставки	$R = 400$	$R = 450$	
1.3	S-образные кривые с прямой вставкой	$d = 12,5$	$d = 16,5$	
2	<b>Расположение стрелочных переводов</b>			
2.2	Встречная разносторонняя укладка стрелочных переводов 1/11, 1/9 (схема № 1)	Не ограничивается	$d = 4,5$	
2.5	Схемы укладки № 4 и № 5 стрелочных переводов марки 1/9 (модификации)		$d = 12,5$	
2.8	Схема № 4 навстречу торцами крестовин стрелочных переводов марки 1/6			
2.7	Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6			
2.6	Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6	$d = 12,5$	$d = 15$	
3	<b>Взаимное расположение стрелочных переводов и кривых (s-образное расположение)</b>			
3.1	Без вставки	1/11	Не ограничивается	$R = 350$
		1/9, 1/6	Не обеспечивается	
3.2	С прямой вставкой	1/11	Не ограничивается	$d = 12,5$
		1/9, 1/6	$d = 12,5$	$d = 15$

В таблице 2 общее количество позиций сокращено почти в 5 раз по сравнению с первоначальными рекомендациями [2], при этом дополнительное резервирование ограничений составило в среднем около 50 %. С одной стороны, это обеспечивает повышенную безопасность маневров, а с другой – дополнительно ужесточает ограничения по ряду позиций. Поэтому при разработке проектов строительства или реконструкции с целью минимизации капитальных вложений целесообразно использовать первоначальные требования [2], при разработке технологических ограничений для маневровой работы можно воспользоваться таблицей 1, а для принципиальной оценки ситуации в оперативном режиме следует ориентироваться на данные таблицы 2.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 22235 – 2010. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. – М. : Стандартинформ, 2011. – 19 с.
- 2 Филатов, Е. А. Обоснование технической совместимости горловин железнодорожных станций и подвижного состава / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепров. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2020. – Вып. 19. – С. 25–36.
- 3 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм / М-во путей сообщения Российской Федерации. – М. : Техноинформ, 2001. – 255 с.

УДК 629.4.016.15

## СОКРАЩЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСХОДОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО – РЕЛЬС»

Г. В. ЧИГРАЙ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Важнейшей проблемой работы железнодорожного транспорта является сокращение потребления энергоресурсов на тягу поездов. Решение данной проблемы во многом зависит от состояния подвижного состава. Поэтому важным вопросом современной практики и теории эксплуатации подвижного состава является выбор оптимального уровня износа гребня колеса. Для поиска оптимального уровня износа гребня с учетом энергетических потерь в работе разрабатывается экономико-математическая модель.

В настоящее время состояние многих отечественных транспортных средств подходит к критическому уровню. Очевидно, что в сложившейся обстановке создание энергосберегающего подвиж-

ного состава нового поколения следует признать единственно правильным перспективным направлением технического перевооружения железных дорог.

Согласно концепции развития железнодорожного грузового подвижного состава затраты могут быть снижены на его жизненный цикл на 25 % за счет создания грузовых вагонов нового поколения. Этого можно достичь несколькими путями, в том числе за счет:

- изготовления более прочных грузовых вагонов путем усиления конструкции кузова и удобных для ремонта вследствие применения унифицированных блоков, стандартных узлов и модулей;
- совершенствования технологического процесса ремонта вагонов и сокращения числа вагонных депо на 50 % в результате создания безремонтных конструкций и увеличения межремонтных сроков;
- снижения сопротивления движению вагонов, в том числе за счет внедрения оптимального профиля катания железнодорожного колеса и соответствующего ему типа рельс. Это, в свою очередь, позволит снизить износ гребней колесных пар и затрат на движение поездов.

Согласно исследованиям, выполненным Ассоциацией американских железных дорог и ВНИИЖТа, износ профиля колеса можно разделить на три последовательные фазы: приработка, умеренный износ и интенсивный износ. Новые колеса в начале эксплуатации по изношенным рельсам имеют малую площадь контакта с ними, в результате чего происходит кратковременный интенсивный износ – приработка. В конце фазы приработки широкая зона контакта между колесом и рельсом обеспечивает снижение напряжений и уменьшение износа, то есть наступает фаза умеренного износа. В дальнейшем происходит постоянное увеличение бокового смещения колесной пары и одновременно увеличение разницы диаметров колес. Интенсивность износа возрастает, и профиль поверхностей катания колес не обеспечивает центрирование колесной пары относительно рельсов. При этом уменьшается свобода ее перемещения, резко увеличиваются силы взаимодействия колес и пути, существенно возрастает расход энергии на тягу поездов. Выполненные научные исследования показали, что при износе колесной пары в 10–50 % происходит увеличение расхода топливно-энергетических ресурсов на 10–35 %, а иногда и до 40–45 %.

В настоящее время выполнено много научных работ, касающихся снижения износа поверхности катания колес, предложено несколько вариантов их профиля, рассчитан их износ в контакте с разными типами рельсов. Однако до сих пор отсутствует методика выбора рационального профиля поверхности катания железнодорожных колес.

К сожалению, указанные исследования не могут пока привести к оптимальному варианту «колесо – рельс». Кроме того, ни в одной работе оптимизация профиля колеса или его замена не рассматриваются комплексно, с учетом всех энергетических и экономических факторов.

Новый взгляд на проблему поиска рационального профиля и срока службы колес позволяет объяснить большое количество изобретений, касающихся их конструкции (более 2000 за пятьдесят лет). Изобретатели и ученые, меняя конструкцию колеса, думали не только о безопасности движения, сокращении затрат на ремонты, но интуитивно понимали, что изменение профиля его поверхности катания приведет к сокращению энергетических затрат на тягу поездов. Однако экономически оценить все затраты на жизненный цикл колес они не смогли.

Улучшение технико-экономических показателей работы железнодорожного транспорта требует совершенствования методов прогнозирования и рассмотрения более сложных совокупностей взаимосвязанных факторов. В реальной железнодорожной транспортной системе обычно нет тесной связи ни во времени, ни в пространстве. Совершенно очевидно, что попытка использовать для прогнозов элементарных (чаще) линейные уравнения обречена на неудачу, так как простые соотношения справедливы только для простых детерминированных законов.

Вычислительная техника открыла практически безграничные возможности для использования в прогнозных моделях большого числа факторов. Однако правильнее описывать изменения в рассматриваемой системе меньшим числом факторов, так как ошибка прогноза в этом случае будет минимальной. Такой подход объясняется следующими причинами:

- увеличение числа факторов при неизменном объеме выборки приводит к уменьшению устойчивости коэффициентов прогнозных уравнений и искажению характера связи между прогнозируемой величиной и фактором;
- факторы, используемые в прогнозных моделях, могут сильно коррелировать друг с другом, и чем слабее их связь с прогнозируемой величиной, чем теснее они связаны друг с другом, тем сильнее уменьшается устойчивость коэффициентов. В таких случаях прогнозная модель может исказить исследуемый процесс.

Наиболее наглядным и эффективным способом задания функции зависимости расходов на тягу поездов от уровня износа гребня колесной пары является аналитическим. Для этих целей используется метод наименьших квадратов.

В ряде практических задач возникает ситуация, когда достаточно надежный прогноз исследуемой величины может быть получен при использовании линейной зависимости типа

$$y_i = a_0 + a_1 x_i, \quad (1)$$

где  $b_0$ ,  $b_1$  – неизвестные коэффициенты;  $x_i$  – фактор, от которого зависит прогнозная величина, в данном случае – уровень износа гребня колесной пары.

К таким зависимостям с помощью преобразований могут быть сведены другие нелинейные модели, в частности парабола и экспонента.

Задача заключается в определении коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  по имеющимся статистическим данным. Согласно методу наименьших квадратов уравнение (1) будет наилучшим образом аппроксимировать статистические данные, если сумма квадратов отклонения эмпирических значений  $y_i$  от значений  $y_{i,n}$ , вычисленных по уравнению (1), будет минимальной:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i,n})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $n$  – количество наблюдений.

Необходимым условием минимума  $S(a_0, a_1)$  является выполнение равенств

$$\frac{dS}{da_0} = 0 \text{ и } \frac{dS}{da_1} = 0. \quad (3)$$

С использованием экспериментальных данных была установлена аналитическая прогнозная зависимость между износом гребней колесных пар и увеличением расхода энергии на тягу поездов. Выбор вида исследуемой зависимости уровня расхода топлива на тягу поездов от уровня износа гребней колесных пар осуществляется с помощью программного обеспечения STATGRAPHICS Centurion XVIII.

Уравнение имеет вид

$$y_i = 0,9875e^{0,0056x_i}. \quad (4)$$

Важным вопросом современной практики и теории эксплуатации подвижного состава является выбор оптимального уровня износа гребней колесных пар. Данный подход позволяет сократить расход дизельного топлива и электроэнергии на тягу поездов, повысить безопасность перевозочного процесса. Кроме того, будут снижены общие приведенные расходы. Решение поставленной задачи заключается в определении оптимального значения уровня износа гребней колесной пары, при котором общие приведенные расходы будут стремиться к минимуму, то есть  $E_{пр} \rightarrow \min$  при  $x \rightarrow \text{opt}$ .

Исследования показали, что в диапазоне изменения стоимости колесной пары от 1300 до 2000 долларов США величина износа  $x_0$  изменяется от 0 до 50 %. Для наиболее вероятных значений стоимости колесной пары  $x_0$  лежит в пределах от 20 до 30 %. Особое влияние на выбор энергосберегающих решений оказывает интенсивность эксплуатации подвижного состава, в частности, среднесуточный пробег вагона. Исследования показали, что при более высоком уровне организации перевозочного процесса (увеличение среднесуточного пробега вагона) износ гребней колесной пары уменьшается.

УДК 658.345

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОФИЛАКТИКИ ТРАВМАТИЗМА НА ОБЪЕКТАХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*С. Н. ШАТИЛО, С. В. ДОРОШКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Охрана труда является неотъемлемой частью организации труда и производства. Организация работы и ответственность за состояние охраны труда, соблюдение правил и норм по этим вопросам возложены на руководителей железных дорог, отделений дорог, предприятий, организаций и других подразделений железнодорожного транспорта.