

УДК 622. 6; 622.68



В. В. ГОВОРУХА,
канд. техн. наук
(ИГТМ им. Н. С. Полякова
НАН Украины)

Изложены результаты исследований и направления усовершенствования рельсового пути, стрелочных переводов и съездов подземного транспорта.

Из многочисленных задач, стоящих перед рельсовым транспортом горных предприятий, одна из основных – совершенствование действующих и создание новых конструкций рельсового пути и стрелочных переводов, соответствующих применяемому и перспективному подвижному составу. При значительном возрастании нагрузки от локомотивов, вагонов и секционных поездов, вызванной увеличением весовых показателей и скорости движения, такие характеристики, как несущая способность, показатели прочности и надежности подземного рельсового пути и стрелочных переводов существенно не изменились. Наличие указанного несоответствия приводит к снижению производительности рельсового транспорта, нарушениям правил безопасности, повышению расходов на ремонт, текущее содержание пути и стрелочных переводов, а также к возникновению аварийных ситуаций и простоев.

Протяженность действующих рельсовых путей основных выработок (без учета второстепенных участков и шахтной поверхности)

шахт Украины составляет более 2500 км, причем более 60 % общего объема грузовых перевозок осуществляется локомотивным транспортом [1; 2]. Эти данные свидетельствуют, что определяющим для обеспечения высокоэффективной работы шахт является правильный выбор конструкции шахтного рельсового пути, стрелочных переводов и подвижного состава с оптимальными конструктивными параметрами.

Работоспособность всех средств шахтного рельсового транспорта, включая рельсовый путь, стрелочные переводы, локомотивы, вагоны, секционные поезда, функционально связана. Технический уровень развития каждого изделия определяет эффективность и производительность транспортной системы в целом. Поэтому несущая способность элементов рельсового пути и стрелочных переводов, определяющая реализацию возможностей подвижного состава, – важная составляющая при выборе весовых норм поездов, производительности транспортных участков, технических характеристик локомотивов и вагонов. Изменение конструкции локомотивов, вагонов, секционных поездов, скорости движения или грузонапряженности участков влечет необходимость изменения конструкций рельсового пути, стрелочных переводов и их составных частей.

Достижения в области совершенствования действующих и создания новых локомотивов, вагонов

и секционных поездов [1 – 11] показывают, что за последние 50 лет в подвижном составе произошли заметные изменения. Увеличены масса локомотива до 14 т (вместо 7 – 10 т) и вместимость вагонов до 7 м³ (вместо 3,5 м³). Созданы поезда с секциями вместимостью 1,5; 3,5 и 7 м³. При этом грузоподъемность транспортных средств возросла в 2 – 3 раза. В секционных поездах, кроме того, конструктивно повышена в 2 раза нагрузка на колесную пару по сравнению с двухосными вагонами. Эксплуатационная скорость поездов увеличена до 5 – 7 м/с [7 – 11].

Однако за указанный период в путевом хозяйстве не произошло существенных изменений. Например, ГОСТ 7477–55 и ГОСТ 8413–57 по требованиям к стрелочным переводам и съездам горной промышленности существуют без изменений более 60 лет. Ряд применяемых стандартов на элементы рельсового пути и стрелочных переводов (ГОСТ 7638–55, ГОСТ 818–41, ГОСТ 7633–55, ГОСТ 3280–46, ГОСТ 78–40, ГОСТ 6726–53) не имеют значительных отличий от существующих нормативных документов.

Здесь проявилось несоответствие используемых параметров и материалов основных элементов конструкций новым техническим требованиям. К явным недостаткам относятся: использование уменьшенной длины остриков, крестовин, контррельсов; применение крутых марок крестовин, малых

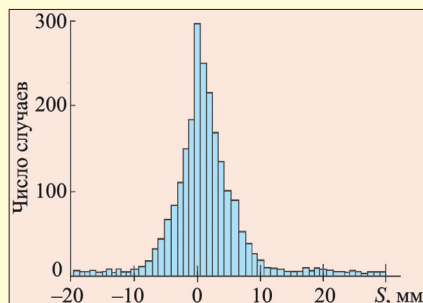


Рис. 1. Гистограмма изменений ширины S рельсовой колеи.

радиусов кривых (4 – 20 м) и больших углов удара в острия, контррельсы и усовики крестовин (4 – 10°); изготовление крестовин из чугуна или низкопрочных сталей; отсутствие специальных профилей проката для остряков и контррельсов; применение сокращенных съездов с конструктивной ненадежностью; малая прочность деревянных и железобетонных шпал; недостаточная прочность узлов промежуточного скрепления рельсов, шпал, брусьев и др. В связи с этим срок службы стрелочных переводов и съездов равен одному – трем годам, вместо требуемых 6 – 8 лет, а срок службы шпал и брусьев составляет один – три года. Межремонтные сроки пути соответствуют 3 – 12 мес [9].

Такое состояние конструкций рельсового пути и стрелочных переводов увеличивает затраты на эксплуатацию и замену разрушенных и изношенных изделий, а также приводит к травматизму и нарушениям безопасности работ на шахтном рельсовом транспорте [4, 5, 6, 8, 9]. Так, на шахтный рельсовый транспорт приходится около 80 % несчастных случаев и большинство из них (около 60 %) связано с техническими причинами, вызванными устаревшими и несовершенными средствами, не обеспечивающими безопасную работу транспорта. Эти данные определяют актуальность работ, направленных

на повышение прочности, надежности, экономичности и безопасности шахтного рельсового пути и стрелочных переводов, на устранение несоответствия их технического уровня действующему и перспективному подвижному составу, а также на необходимость разработки нормативно-технической документации.

Цель настоящей работы – оценка технического состояния рельсового пути и стрелочных переводов от влияния воздействия подвижного состава. К основным задачам относятся: разработка нормативно-технического обеспечения путевого хозяйства подземного рельсового транспорта горнодобывающих предприятий; создание средств путевого хозяйства шахтного транспорта нового технического уровня, особенно рельсового пути, стрелочных переводов и съездов.

Наиболее важными выходными параметрами, характеризующими состояние рельсового пути, стрелочных переводов и съездов, могут быть приняты: ширина колеи и ее относительное изменение по сравнению с номинальными значениями, предусмотренными стандартами и Правилами безопасности; параметры неровностей рельсовых нитей и стыковых зазоров; износ основных рабочих поверхностей рельсов, крестовин, контррельсов, шпал и брусьев; износ и накопление остаточных деформаций в узлах, соединениях рельсов и подрельсового основания, металлических деталей стрелочных переводов со стрелочными брусьями (промежуточные рельсовые скрепления); разрушения составных деталей рельсового пути, стрелочных переводов и съездов от нагрузок ходовой части подвижного состава, значительно превышающих допустимые значения несущей спо-

собности и прочность конструкции.

Отмеченные выходные параметры, характеризующие качественное состояние рельсового пути, стрелочных переводов и съездов, формируют работоспособность средств рельсового транспорта.

При несоответствии показателей работоспособности и несущей способности воздействию нагрузочных режимов от подвижного состава и влияния окружающей среды формируются отказы и наблюдаются аварийные ситуации, сопровождающиеся травматизмом, ограничением производительности рельсового транспорта и большими расходами на текущее содержание и ремонт.

Анализ фактического состояния рельсового пути, стрелочных переводов и съездов выполнен ИГТМ НАН Украины по результатам замеров на шахтах Донецкого, Львовско-Волынского и других угольных бассейнов при системном обследовании на протяжении полного периода их эксплуатации с 1970 г. [9, 11].

Параметры ширины колеи рельсового пути, стрелочных переводов и съездов нормируются номинальными значениями 900 и 600 мм с допусками + 4 ... – 2 мм на строительство и текущее содержание. На рис. 1 представлены выборочные результаты статистической обработки отклонений параметров ширины колеи для отдельных групп замеров шахтных стрелочных переводов и рельсового пути.

По совокупности таких гистограмм построены зависимости изменений ширины колеи рельсового пути и стрелочных переводов с деревянными шпалами от грузонапряженности участков и скорости движения поездов, а также зависимости изменений ширины рельсо-

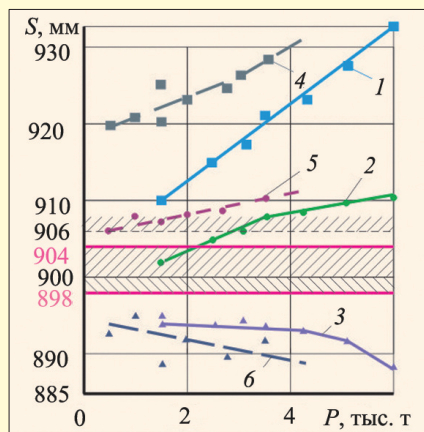


Рис. 2. Зависимость ширины S колеи с деревянными шпалами от грузонапряженности P участков и скорости движения поездов: 1, 2 и 3 – максимальные, средние и минимальные значения ширины колеи при скорости движения поездов 1 – 3 м/с; 4, 5 и 6 – то же, 3 – 6 м/с.

вой колеи от наработанного тоннажа и скорости движения поездов.

Из рис. 2 следует, что максимальные, средние и минимальные значения ширины колеи находятся за пределами допустимых значений с отклонениями, превышающими 7 – 8-кратные значения допусков, а минимальные и максимальные показатели ширины колеи достигают пределов 892 – 932 мм при номинальном значении 900 мм. Такие показатели ширины колеи чрезвычайно нежелательны для работоспособности и безопасности движения на рельсовом транспорте.

Как показывают исследования динамических процессов взаимодействия подвижного состава и путевой структуры [9, 11], если ширина колеи более 26 мм относительно номинального значения, то возникает аварийная ситуация со сходом подвижных единиц во внутреннюю часть колеи (учитываются износ бандажей колес, головок рельсов, а также упругое отжатие рельса в поперечном сечении пути). Превышение допусков по ширине колеи и наличие неровно-

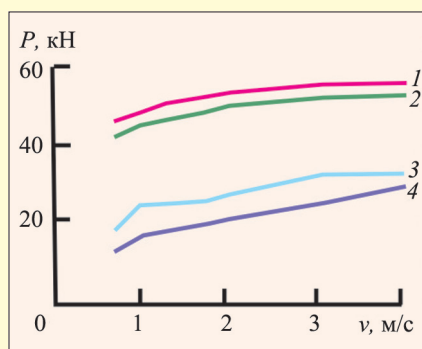
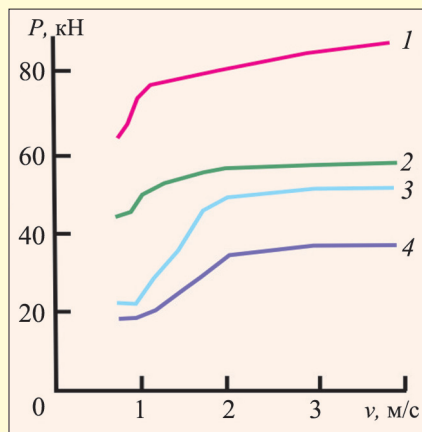


Рис. 3. Зависимости нагрузок, действующих на элементы конструкций стрелочных переводов, от скорости движения состава: а, б и в – вертикальных на острия, крестовины, наружные рельсы кривой; г – поперечных на острия и криволинейные участки; 1 – электровоз типа К-14 массой 14 т; 2 – неамортизированный вагон типа ВГ 3,3 массой 6,5 т; 3 – вагон типа ВДК 3,3 массой 6,3 т с амортизацией ходовой части; 4 – неамортизированный вагон типа ВГ 3,3 не нагруженный массой 2 т.

стей на рельсовых нитях способствуют увеличению поперечных и вертикальных динамических нагрузок от ходовой части подвижного состава.

Исходя из зависимостей, показанных на рис. 2, прослеживается модель формирования постепенного накопления изменений ширины колеи [9, 10]. Ширина колеи изменяется вследствие накопления остаточных деформаций в элементах узлов промежуточных скреплений и износа контактирующих рабочих поверхностей при взаимодействии колеса и рельса. Интенсивность накопления остаточных деформаций и износ зависят

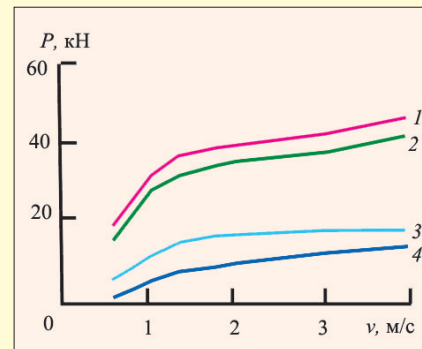
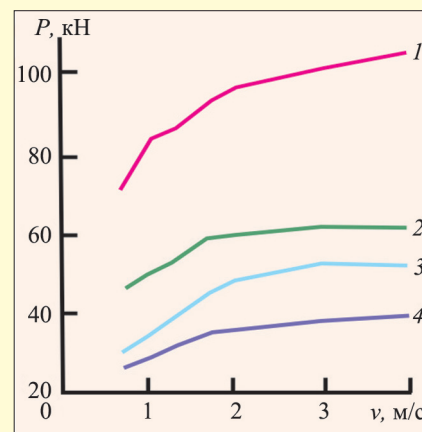


Рис. 3. Зависимости нагрузок, действующих на элементы конструкций стрелочных переводов, от скорости движения состава: а, б и в – вертикальных на острия, крестовины, наружные рельсы кривой; г – поперечных на острия и криволинейные участки; 1 – электровоз типа К-14 массой 14 т; 2 – неамортизированный вагон типа ВГ 3,3 массой 6,5 т; 3 – вагон типа ВДК 3,3 массой 6,3 т с амортизацией ходовой части; 4 – неамортизированный вагон типа ВГ 3,3 не нагруженный массой 2 т.

от нагрузочных режимов, массы подвижных единиц, скорости движения поездов и наработки тоннажа (перевезенный груз). Это видно из рис. 2, где интенсивность изменения ширины колеи при скоростях 3 – 6 м/с в 1,4 – 1,7 раза больше, чем при скоростях 1 – 3 м/с.

Такое увеличение ширины колеи и образование неровностей рельсовых нитей на пути, стрелочных переводах и съездах отрицательно влияют на условия эксплуатации шахтного рельсового транспорта и на динамическое воздействие от подвижного состава.

На рис. 3 представлены значения максимальных нагрузок на эле-

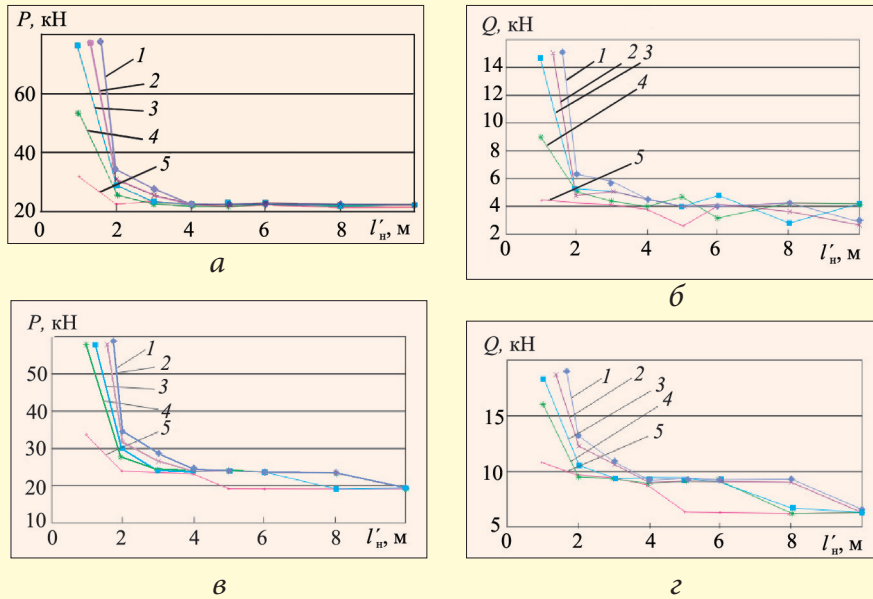
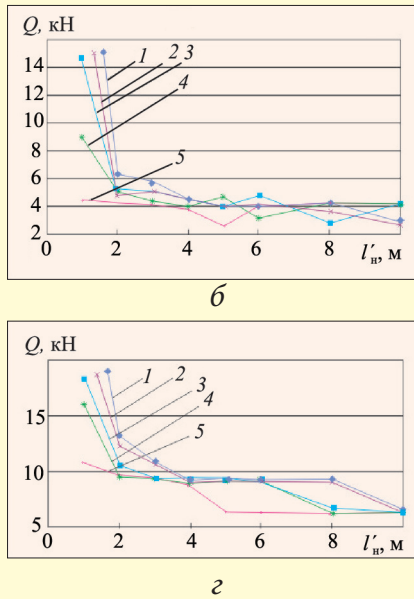


Рис. 4. Зависимости максимальных вертикальных P и поперечных Q сил между колесом вагона типа ВГ 3,3-900 и рельсом от длины $l'_н$ вертикальных неровностей на участках пути: а, б – прямолинейном; в, г – криволинейном ($R = 30$ м); 1 – 5 – глубина неровностей $A'_н$, равная 0,025; 0,020; 0,015; 0,010 и 0,005 м.

менты стрелочных переводов типа ПО 933-1/5-20, экспериментально полученные в шахтных условиях [9], из рассмотрения которых следует, что с увеличением скорости движения опытного состава от 1 до 4 м/с нагрузка на элементы конструкции увеличивается в 1,3 – 1,5 раза для локомотивов и амортизированных вагонов и в 1,5 – 2,5 раза – для неамортизированных вагонов.

На нагрузку рельсового пути, стрелочных переводов, съездов и безопасность движения поездов существенно влияет прочность и несущая способность элементов конструкции, а также текущее состояние путевой структуры, определяемое показателями вертикальных и горизонтальных, плавных и ступенчатых неровностей [9, 11].

Как видно из рис. 4, короткие вертикальные неровности длиной до 2 м значительно влияют на нагрузку путевой структуры от подвижного состава. Кульминационный момент нагрузки формируется



при неровностях длиной около 0,5 – 1 м, если глубина вертикальных неровностей в пределах 0,015 – 0,025 м. Нагрузки при этом в 1,5 – 4 раза превышают базовые, образованные вертикальными неровно-

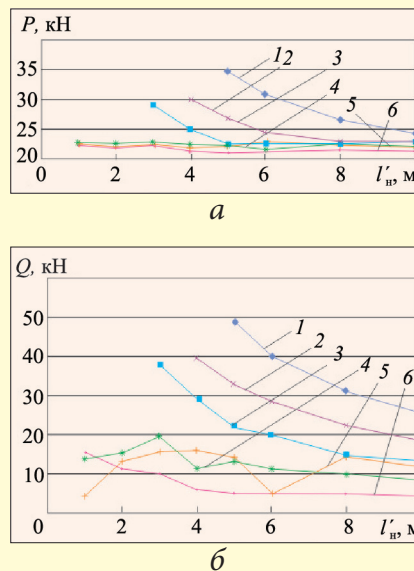


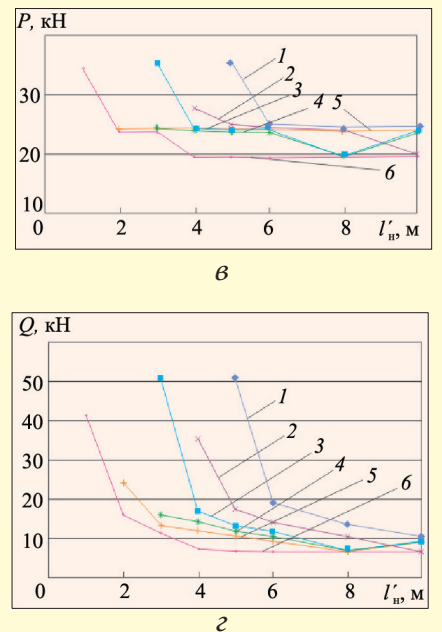
Рис. 5. Зависимости наибольших вертикальных P и поперечных Q сил между колесом вагона и рельсом от длины $l'_н$ поперечных неровностей на участках пути: а, б – прямолинейных; в, г – криволинейных; 1 – 5 – глубина неровностей $A'_н$, равная 0,050; 0,030; 0,020; 0,015; 0,010 и 0,005 м.

стями длиной 2 – 10 м и глубиной 0,005 м.

С увеличением глубины $A'_н$ и уменьшением длины $l'_н$ поперечных неровностей интенсивно возрастают вертикальные P и горизонтальные Q нагрузки между колесом вагона и рельсом, которые могут в 2 – 10 раз превышать нагрузки, вызванные базовыми малыми глубинами $A'_н$ и большими длинами $l'_н$ неровностей рельсовых нитей (рис. 5).

Полученные результаты исследований (см. рис. 1 – 5) подтверждают необходимость регламентирования допусков на содержание рельсового пути по критериям изменения ширины колеи, отклонениям от линейности в плане и профиле рельсовых нитей [9, 11].

Показатели безопасности – важные характеристики работоспособности путевой структуры, зависящие от устойчивости движения поездов: допустимый коэффициент устойчивости от вкатывания



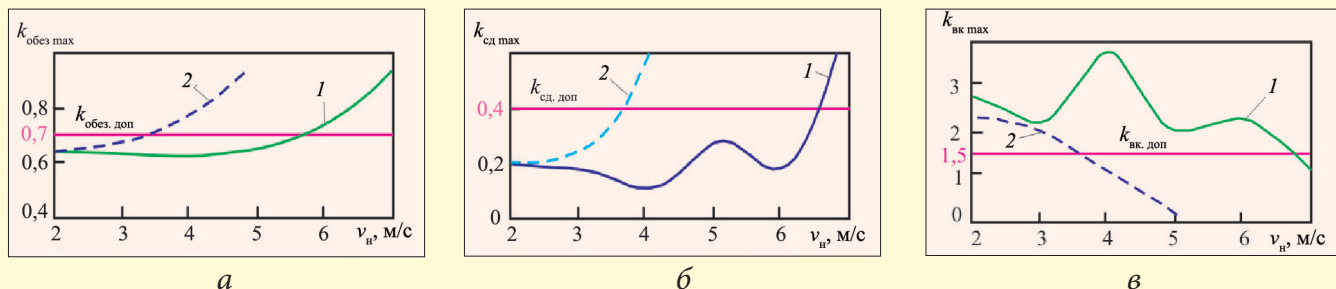


Рис. 6. Зависимости коэффициентов $k_{об\ max}$ (а), $k_{сд\ max}$ (б) и $k_{вк\ min}$ (в) от скорости v движения шахтных поездов для участков пути: 1 – прямолинейных; 2 – криволинейных ($R = 30$ м) при глубине вертикальных ($A_H = 0,01$ м) и поперечных ($A'_H = 0,015$ м) неровностей.

колес на рельсы $k_{вк, доп} \geq 1,5$; допустимый коэффициент обезгруживания колес $k_{об, доп} \geq 0,7$ и допустимый коэффициент устойчивости сдвига рельсошпальной решетки или элементов конструкции $k_{сд, доп} \geq 0,4$. При скорости более 3,5 м/с на криволинейных участках пути все показатели безопасности движения поездов и устойчивости пути превышены (рис. 6). Для прямолинейных участков с принятыми неровностями коэффициенты обезгруживания колес, устойчивости от вкатывания колес на рельсы и коэффициенты устойчивости от сдвига пути достигают в интервале скоростей 6 – 7 м/с предельно допустимых значений. В случае увеличения параметров глубины и уменьшения длины вертикальных и горизонтальных неровностей эти результаты имеют худшие показатели безопасности работы рельсового транспорта.

Приведенный анализ характера нагрузки на элементы путевой структуры и подвижного состава, а также показателей безопасности работы рельсового транспорта свидетельствует о степени важности нормирования допусков на содержание рельсового пути и стрелочных переводов по параметрам ширины колеи, неровностей рельсового пути в вертикальной и поперечной плоскостях для обеспечения работоспособности и без-

опасности средств шахтного транспорта. В настоящее время такие требования отсутствуют.

Износ и разрушение элементов рельсового пути, стрелочных переводов и съездов – фактор, влияющий на работоспособность, ресурс и безопасность путевой структуры. Износ контактирующих поверхностей вызывает увеличение ширины колеи, ширины желобов крестовин, контррельсов и корневых устройств, стрелочных переводов и съездов.

Применение остряков из специального профиля ОР43 с повышенной прочностью стали позволило в 20 – 30 раз повысить их износостойкость и ресурс работы (рис. 7). Использование крестовин из высокомарганцовистой стали марки ст. 110Г13Л в 5 раз увеличило изно-

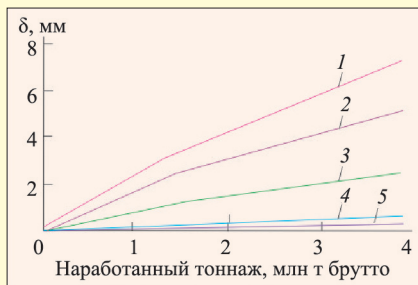


Рис. 7. Зависимость износа элементов стрелочных переводов и съездов от наработанного тоннажа: 1, 3 и 4 – крестовина соответственно из чугуна ВЧ-45, сталей марки ст. 35Г2Л и ст. 110Г13Л; 2 – остряки из рельсов Р24 и Р33; 5 – остряки из рельсов ОР43.

состоять и ресурс работы по сравнению с крестовинами из стали марки ст. 35 Г2Л и чугуна ВЧ-45.

На рис. 8 показаны средние значения изменений ширины колеи, полученные по результатам статистической обработки эксплуатационных измерений, представленных рельсами типа Р33 и шпалами разных конструкций. Сравнительный анализ графиков интенсивности изменения ширины колеи с различ-

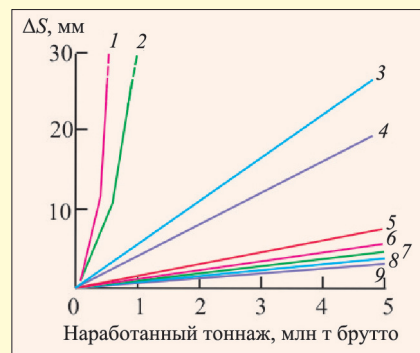


Рис. 8. Изменение ширины колеи для рельсового пути различных конструкций: 1 и 2 – железобетонные шпалы с костыльно-дюбельными крепежителями при скорости состава 3 – 6 и 1 – 3 м/с; 3 и 4 – деревянные шпалы с костыльными крепежителями при скорости состава 3 – 6 и 1 – 3 м/с; 5 и 6 – опытная партия струнбетонных шпал с шурупными крепежителями и полиамидными дюбелями при скорости состава 3 – 6 и 1 – 3 м/с; 7 и 8 – опытная партия струнбетонных шпал с закладными болтовыми крепежителями при скорости состава 3 – 6 и 1 – 3 м/с; 9 – опытная партия струнбетонных шпал с анкерными крепежителями при скорости состава 2 – 5 м/с.

ной конструкцией шпал и скрепленных показывает, что ненапряженные железобетонные шпалы с костыльными прикрепителями характеризуются низкими показателями наработки тоннажа до 1 млн т брутто при средней наработке на отказ $T_{ср} \leq 2$ лет. Рельсовый путь с деревянными шпалами и костыльными прикрепителями имеет наработку тоннажа до 5 млн т брутто при $T_{ср} \leq 3$ лет, опытные участки пути с предварительно напряженными железобетонными шпалами с шурупными, болтовыми и анкерными прикрепителями имеют наработку тоннажа до 50 млн т брутто при $T_{ср} \leq 15$ лет. Конструкция элементов рельсового пути разработана ИГТМ НАН Украины в 1977 – 1990 гг. [11].

Выводы. Существующие нормативные документы на конструкции рельсового пути, стрелочные переводы, съезды и их составные элементы для подземного рельсового транспорта, а также на строительство и эксплуатацию устарели в связи с отсутствием современных научно-технических разработок на протяжении последних 20 лет.

На базе результатов проведенных ИГТМ НАН Украины комплексных исследований необходимо разработать нормативные документы, рабочую документацию

(включая технические условия), типажные ряды, руководства на проектирование, строительство и эксплуатацию рельсового пути, стрелочных переводов, съездов, промежуточных рельсовых скреплений, шпал, брусьев стационарных и временных конструкций путевой структуры.

Технический уровень создаваемых средств путевой структуры следует повысить посредством применения новых конструктивных разработок с использованием высокопрочных материалов для крестовин, остряжков, шпал, скреплений, специальных профилей проката остряжковых и контррельсовых рельсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будишевский В. А. Обоснование менеджмента качества шахтных локомотивов / В. А. Будишевский, С. А. Мельников // Уголь Украины. – 2005. – № 4. – С. 15 – 17.
2. Мельников С. А. Совершенствование действующих и создание новых шахтных локомотивов / С. А. Мельников, В. А. Будишевский, В. И. Бережинский // Уголь Украины. – 2009. – № 5. – С. 12 – 15.
3. Мельников С. А. Обоснование направлений развития колесного транспорта / С. А. Мельников, В. И. Бережинский, А. И. Самойлов // Уголь Украины. – 2012. – № 8. – С. 34 – 37.

4. Палант Г. Я. Рельсовый транспорт на шахтах Великобритании / Г. Я. Палант // Уголь Украины. – 1989. – № 4. – С. 50 – 56.

5. Дебелый В. Л. Модернизация шахтных локомотивов в целях их надежности и безаварийности / В. Л. Дебелый // Уголь Украины. – 2009. – № 4. – С. 4 – 6.

6. Бережинский В. И. Новые разработки для повышения безопасности работ на шахтном транспорте и подъеме / В. И. Бережинский, С. В. Бабаков // Уголь Украины. – 2012. – № 6. – С. 17 – 20.

7. Палант Г. Я. Рельсовый транспорт в угольной промышленности Донбасса / Г. Я. Палант, С. Ф. Шибалов, В. А. Химченко // Уголь Украины. – 1990. – № 11. – С. 26 – 29.

8. Иванов О. И. Оценка профессионального риска травмирования шахтеров / О. И. Иванов // Уголь Украины. – 1999. – № 11. – С. 46 – 47.

9. Говоруха В. В. Физико-технические основы создания элементов рельсового транспорта шахт и карьеров / В. В. Говоруха. – К.: Наук. думка, 1992. – 200 с.

10. Поляков Н. С. Улучшение конструкции рельсового пути / Н. С. Поляков, В. В. Говоруха, Е. Е. Новиков // Уголь Украины. – 1970. – № 2. – С. 33 – 35.

11. Говоруха В. В. Механика взаимодействия рельсового пути, подвижных транспортных средств и смежных устройств / В. В. Говоруха: моногр. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 448 с.