

На примере существующих проблем при устройстве тонкослойных покрытий из асфальтобетона на основании из цементогрунта, когда низкая сдвигоустойчивость на границе раздела слоёв (между асфальтом и укрепленным грунтом) приводит сначала к разрушению покрытия, а следом – основания [3]. Низкая сдвигоустойчивость связана с отсутствием достаточных сил сцепления между разнородными материалами, поскольку битумные вяжущие по физико-химическим свойствам разнородны с минеральными веществами, применяемыми для укрепления грунтов, а сами грунты являются многокомпонентной системой, которая плохо адсорбирует битум [4]. Из этого можно сделать вывод, что слои основания и слои покрытия необходимо выполнять из однородных и близких по свойствам материалов, что будет способствовать увеличению сил трения на границе раздела, за счёт двух типов связей – кристаллизационного и коагуляционного молекулярного.

Основание дорожной одежды целесообразно выполнять толщиной 20–30 см из местного грунта путём его стабилизации, применяя количество портландцемента марки 400 не более 2 % от массы грунта. Покрытие также необходимо выполнить из местного грунта, но толщиной не более 10 см путём укрепления портландцементом марки 400, в количестве не менее 20 % от массы грунта. При этом общее количество цемента, в сравнении с традиционной технологией, уменьшится. С введением такого количества портландцемента прочность и гидрофобность верхнего слоя значительно увеличится, а при толщине не более 10 см покрытие будет более гибким, при этом его не надо армировать. С введением в смесь покрытия, пластификатора ЛСТ (лигносульфонат технический) в сухом состоянии до 1 % от массы грунта, ещё снизится водонасыщение готового покрытия с 0,8 до 0,3 % по массе грунта. Предложенная дорожная одежда лесовозной дороги с 2-скатным поперечным профилем и уклонами не менее 20 % оптимальна для целей транспортировки древесины.

#### Список литературы

1 Чудинов, С. А. Укрепление грунтов портландцементом с добавлением комплексной добавки, продлевающей строительный период / С. А. Чудинов, Н. В. Ладейщиков // Инновационный транспорт. – 2022. – № 4 (46). – С. 48–51. – DOI : org/10.20291/2311-164X-2022-4-48-51.

2 Вдовин, Е. А. Исследование долговечности модифицированного цементогрунта дорожного назначения / Е. А. Вдовин, Л. Ф. Мавлиев // Промышленное и гражданское строительство [Электронный ресурс]. – 2014. – № 11. – С. 76–79. – Режим доступа : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22657495>. – Дата доступа : 30.09.2022.

3 Шубин, А. А. Влияние структуры армирования бетона на напряженно-деформированное состояние конструкций / А. А. Шубин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 8. – С. 232–234.

4 Строительство дорожных одежд низкой стоимости с основаниями из укрепленных грунтов и тонкослойными покрытиями. Обзорная информация [Электронный ресурс]. – Вып. 1. – 2003. – Режим доступа : <https://rags.ru/stroyka/text/56232/?ysclid=lm2vbt71f5854681598>. – Дата доступа : 03.09.2023.

УДК 625.04

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ КОЛЕСО – РЕЛЬС В КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

*Д. С. ШАБАН*

*Белорусская железная дорога, г. Барановичи*

*М. Ю. НИКИТЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приоритетным направлением путевого хозяйства является обеспечение безопасного и бесперебойного движения поездов с установленными скоростями и нагрузками от колесной пары на рельсы, а также эффективность использования подвижного состава. Насущным требованием в настоящее время является сокращение продолжительности поездок пассажиров и доставки грузов, во многом определяющей качество транспортного обслуживания. Износ колес и рельсов, поверхностные и внутренние дефекты контактно-усталостного происхождения и сходы подвижного состава – все это влияет на качество перевозок.

При движении подвижного состава в криволинейном участке, даже при постоянной скорости, движение отдельных его частей происходит с ускорением, направленным по нормали к кривой. Это ускорение возникает под действием внешних сил – поперечных реакций рельсов на колесные пары. Такие силы, особенно в кривых малого радиуса, могут в несколько раз превосходить силы, возникающие при боковых колебаниях подвижного состава на прямых участках пути. К тому же на прямых участках пути эти силы достигают больших значений лишь на коротких отрезках пути, где гребни колес набегают на рельсы. В кривых с радиусом менее 600 м гребни колес при их движении могут быть прижаты на всем протяжении кривой, поэтому основными зонами выхода из строя рельсов и колесных пар являются кривые участки пути, особенно малого радиуса.

По оценкам исследователей, количество факторов, влияющих на интенсивность износов в системе «колесо – рельс», исчисляется десятками. Специалисты выделяют около 20 различных факторов, однако не все они имеют существенное значение. Из анализов результатов наблюдений следует, что на участках, где преобладают кривые радиусом 350–400 м, интенсивность бокового износа в 2,5 раза выше, чем на участках, где преобладают кривые радиусом 550–600 м. Как показали исследования, основным фактором, определяющим интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава, является затрудненное вписывание экипажей в кривые малого радиуса. В работах И. А. Осташко [1] и Н. И. Карпущенко [2] установлено, что по мере роста непогашенного центростремительного ускорения и скорости движения поездов интенсивность износа повышается, а по мере увеличения возвышения наружного рельса – понижается. При снижении непогашенного ускорения на  $0,3 \text{ м/с}^2$  интенсивность бокового износа рельсов уменьшается на 10 %. Падение непогашенного ускорения на  $0,3 \text{ м/с}^2$  достигается увеличением возвышения наружного рельса на 50 мм или снижением скорости движения поездов на 34 км/ч в кривых радиусом 300 м.

В работе О. М. Соколова [3] представлены данные, показывающие разницу в зависимостях интенсивности бокового износа рельсов, уложенных на участках пути радиусом  $R \leq 350$  м от пропущенного тоннажа с различными промежуточными рельсовыми скреплениями – АРС-4, КБ-65, ЖБР-65ПШМ и ЖБР-65ПШР. Эти данные показывают, что наибольшая интенсивность бокового износа рельсов ДТ350 производства АО «ЕВРАЗ» в кривых участках  $R \leq 350$  м имеет место, где рельсы закреплены промежуточными скреплениями АРС-4. За ними по нисходящей следуют КБ-65, ЖБР-65ПШМ и ЖБР-65ПШР. В работе профессора Н. И. Карпущенко [4] на основе эксплуатационных наблюдений за интенсивностью бокового износа в разных условиях эксплуатации в кривых радиусами более 350 м определено влияние ряда факторов – смазки, подуклонки, радиуса кривой, уровня непогашенного ускорения на износ рельсов.

Первая гипотеза о причинах возникновения и развития контактно-усталостных повреждений рельсов была высказана и опубликована профессором Г. М. Шахунянцем [5]. В ней высказывалось предположение, что в процессе остывания рельсовой стали в головках рельсов возникают неоднородности в виде ликваций и газовых пузырей, а также шлаковин, плен и других загрязнителей металла. Влияние неметаллических включений на образование дефектов контактно-усталостного характера рассмотрено в работе [6]. Исследования А. Д. Конюхова по остаточным напряжениям в образцах рельсов, изъятых из эксплуатации, показали, что на глубине 4–5 мм сжимающие напряжения могут переходить в растягивающие остаточные напряжения. Им же был изучен вопрос о зависимости вида контактно-усталостного повреждения или дефекта рельса от глубины его залегания по отношению к поверхности катания рельса.

Требования к химическому составу и механическим свойствам рельсовой стали отработаны многолетней практикой эксплуатации железных дорог и совершенствованием технологии производства рельсового проката на металлургических комбинатах [7].

Д. П. Марков анализирует природу напряжений, ответственных за появление контактно-усталостного разрушения, и гипотезы такого разрушения: критерий максимальных сжимающих контактных напряжений; критерий исчерпания пластичности (предельной деформации); критерий максимальных касательных контактных напряжений, действующих на глубине и зависящих от величины сил трения.

Одним из объяснений образования контактно-усталостных трещин может быть развитие значительных пластических деформаций, особенно если превзойден так называемый предел приспособляемости материала, введенный К. Л. Джонсоном. Согласно его исследованиям, после некоторого

числа повторных контактных нагрузок при перекачивании цилиндра по упруго-пластичному основанию рост пластических деформаций практически прекращается и наступает как бы новое упругое состояние.

В работах В. Е. Громова методами оптической, сканирующей, просвечивающей электронной дифракционной микроскопии и измерения микротвердости и трибологических параметров установлены закономерности изменения структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры поверхностных слоев рельсов до 10 мм по центральной оси и выкружке после длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж – 500 и 1000 млн т брутто).

На основании приведенных исследований можно выделить следующие факторы, влияющие на интенсивность износа рельсов: радиус круговой кривой, конструкция экипажных частей подвижного состава, осевая нагрузка, категория качества рельсов, непогашенное ускорение, скорость движения поездов, недостаток или избыток возвышения наружного рельса, продольный профиль пути, масса поезда.

#### Список литературы

1 **Осташко, И. А.** Влияние параметров рельсовой колеи на износ рельсов в кривых : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / И. А. Осташко; Сибирская академия путей сообщения. – Новосибирск, 1997. – 17 с.

2 Исследование бокового износа рельсов в кривых на перевальном участке / Н. И. Карпушенко [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 9. – С. 35–40.

3 **Соколов, О. М.** Оценка влияния типов конструкций рельсовых скреплений на износ рельсов разных категорий в кривых малого радиуса (менее 650 м) на участках с повышенными осевыми нагрузками для анализа возможности увеличения межремонтных сроков / О. М. Соколов // Улучшение качества и условий эксплуатации рельсов и рельсовых скреплений : сб. науч. докладов по материалам заседания некоммерческого партнерства «Рельсовая комиссия» (Анапа, 7–9 октября 2020 г.). – Екатеринбург: УИМ, 2021. – С. 101–128.

4 Влияние подуклонки и ширины колеи на износ рельсов [Электронный ресурс] / Н. И. Карпушенко [и др.]. – Режим доступа : <https://vunivere.ru/work65439?screenshots=1>. – Дата доступа : 26.09.2023.

5 **Шахуняц, Г. М.** Механические характеристики рельсов Р65 / Г. М. Шахуняц // Труды МИИТ. – Вып. 543. – М., 1977. – С. 39–106.

6 **Шур, Е. А.** Повреждения рельсов / Е. А. Шур. – М. : Интекст, 2012. – 192 с.

7 **Шур, Е. А.** О выборе допускаемых напряжений при прочностных расчетах рельсов / Е. А. Шур // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 1977. – № 8. – С. 38–41.

УДК 624.157.2

## ВОЗВЕДЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ ОПУСКНОГО КОЛОДЦА

*М. А. ШАМОВА, С. Г. ДРОБОВ*  
*ОАО «ФэтСит», г. Гомель, Республика Беларусь*

В стеснённых условиях города подземное строительство осуществляют специальными способами, одним из которых (наряду с такими способами, например, как стена в грунте, щитовая проходка тоннелей, бестраншейная прокладка коммуникаций) является опускной колодец. При этом способе не требуется отрывать котлован с откосами, использовать мощные машины с большими динамическими нагрузками на расположенные рядом конструкции зданий и сооружений.

Наличие плотной сети подземных инженерных коммуникаций, действующих цехов предприятия также затрудняет производство работ традиционными способами. В этих случаях способ опускного колодца может стать единственно возможным для производства работ.

Опускные колодцы используют при устройстве фундаментов глубокого заложения и различного рода заглубленных сооружений.

По форме в плане опускные колодцы бывают круглые, эллиптические, прямоугольные, а по вертикали – цилиндрические и призматические, конические и ступенчатые. В нижней части колодец снабжен ножом, режущая кромка которого облицована стальными уголками или листами.

Сущность опускного колодца состоит в том, что конструкцию вначале устанавливают или бетонируют на поверхности земли, а затем внутри нее разрабатывают грунт в направлении от центра к ножу. Оболочка колодца, утрачивая опору грунта под ножом, под действием собственного веса опускается, выдавливая оставшийся грунт из-под ножа внутрь колодца.