

типовыми и соответствовать сложившейся инфраструктуре погрузо-разгрузочных терминалов. В ходе работ было рассмотрено несколько путей увеличения объема, а также различные их комбинации. Объем, удовлетворяющий заданной грузоподъемности, был получен за счет изменения угла наклона торцевых стен, увеличения длины бункеров, высоты кузова и длины его консольных частей.

На третьем этапе на основании выполненного обследования погрузочных и разгрузочных терминалов выбраны форма, размеры и количество загрузочных и разгрузочных люков. По результатам обследования установлено, что вагон должен иметь стандартный шаг расположения люков, привод разгрузочных люков должен быть механическим и открываться усилием одного человека, разгрузка должна осуществляться в межрельсовое пространство. Все перечисленные ограничения учтены и внедрены при разработке вагона.

На четвертом этапе были разработаны специальные профили из алюминиевого сплава, которые позволили упростить конструкцию узлов соединения несущих элементов кузова при обеспечении их прочности. При выборе параметров несущих элементов конструкции важными условиями являлись: собираемость (обеспечение нахлесточных соединений), технологичность изготовления (все профили незамкнутые), минимальная номенклатура профилей.

На заключительном этапе выполнен выбор параметров таких элементов кузова, как боковая и торцевая стена, бункеры, крыша и др. Для каждого элемента были определены критерии оптимизации, ограничения и варьируемые параметры. Рассматривались такие критерии, как прочность, устойчивость, усталостная прочность, масса и минимальная трудоемкость при изготовлении. На основе расчета исследуемых характеристик с построением зависимостей осуществлялся выбор наиболее рационального варианта конструктивного исполнения элемента кузова при удовлетворении всех установленных допускаемых значений и ограничений. После выбора параметров всех элементов оценивалось соответствие конструкции кузова в целом требованиям прочности, устойчивости и усталостной прочности.

Таким образом, по разработанному алгоритму, учитывающему особенности проектирования вагона с кузовом из алюминиевых сплавов, были выбраны основные параметры и создан уникальный вагон, который позволит значительно увеличить эффективность перевозки зерновых грузов железнодорожным транспортом.

УДК 621.891:629.4.077-592.59

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ СМАЗЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РЕЖИМЕ «ПУСК – СТОП»

*П. Н. БОГДАНОВИЧ, С. В. ЛАШЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из важных эксплуатационных факторов, влияющих на износостойкость и долговечность узлов трения подвижного состава, является эксплуатация их в режиме «пуск-стоп». Переход от статического к динамическому контакту сопровождается возникновением вибраций, скачкообразным изменением коэффициента трения и высокой интенсивностью изнашивания деталей, которые существенно снижают долговечность узла трения [1, 2]. На наш взгляд это характерно для трибосопряжений, температура которых поддерживается постоянной. Поэтому представляет интерес выявить закономерности влияния длительности статического контакта, режимов нагружения, температуры сопрягаемых деталей и способности смазочного материала образовывать прочные граничные слои на трение и изнашивание деталей неохлаждаемых узлов.

Испытания проводились на машине трения СМТ – 1 по схеме «ролик – вкладыш». Ролик был изготовлен из стали 45, а вкладыш – из бронзы БрОФ10-1. В качестве смазочного материала использовалось индустриальное масло И-8А селективной очистки. Скорость скольжения соответствовала 0,5 и 1,0 м/с, а нормальная нагрузка изменялась от 0,3 до 2,5 МПа. Продолжительность динамического контакта  $t_d$  составляла 15 и 5 минут, а статического  $t_s$  – 2 и 5 минут. Общее время динамического контакта составляло 120 минут. Интенсивность изнашивания определялась взвешиванием по потере

массы образца, а толщина смазочного слоя – с помощью устройства, принцип действия которого основан на использовании 4-проводной электрической схемы. Принудительное охлаждение трущихся тел и масла отсутствовало.

Триботехнические испытания показали, что независимо от вида нагружения узла трения увеличение нормальной нагрузки (контактного давления  $P$ ) вызывает рост коэффициента трения  $f$  бронзы по стали (рисунок 1). Причина в том, что с повышением  $P$  уменьшается толщина смазочного слоя  $d$  и в непосредственный контакт вступает большее число выступов сопрягаемых тел. При этом образуются мостики сварки с высоким сопротивлением сдвигу. В области высоких нагрузок зависимость  $f(P)$  более существенна, т.к. повышение нагрузки сопровождается ростом температуры ( $T$ ) в зоне трения и снижением по этой причине межмолекулярного взаимодействия и вязкости смазочного материала. Смазочный слой становится более тонким и оказывает меньшее сопротивление разрушению между выступами. В результате происходит переход от полужидкостного к граничному трению.

При непрерывном динамическом контакте среднее значение  $f$ , начиная с  $P = 1,2$  МПа, выше, чем при периодическом трении. Это объясняется более высоким нагревом трущихся тел и масла при непрерывном трении. Периодический, с различным временем отдыха режим характеризуется более низким средним значением  $f$ , т.к. в течение  $t_s$  поверхностные слои сопрягаемых тел и масло охлаждаются. Изложенное подтверждается результатами измерений температуры в зоне трения. Так, при непрерывном трении и  $P = 2$  МПа температура масла повышается до  $75^\circ\text{C}$ . Для периодического трения

характерна более низкая температура: при  $t_d = 15$  мин и  $t_s = \text{мин}$  –  $T = 40^\circ\text{C}$ ;  $t_d = 15$  мин и  $t_s = 2$  мин –  $T = 35^\circ\text{C}$ ;  $t_d = 5$  мин и  $t_s = 2$  мин –  $T = 37^\circ\text{C}$ . Некоторое снижение  $f$  в области  $P < 1,5$  МПа обусловлено тем, что фактическая площадь пятен контакта и касательная нагрузка увеличиваются медленнее, чем вызывающая это увеличение нормальная нагрузка.

Влияние скорости скольжения  $v$  на трение бронзы по стали неоднозначно: при малых нагрузках увеличение  $v$  вызывает снижение  $f$ , а при больших – увеличение. Это обусловлено конкуренцией двух факторов. С одной стороны, при увеличении  $v$  образуется более толстый смазочный слой, полностью разделяющий выступы поверхностей сопрягаемых тел, по-

скольку ролик подает в зазор между сопрягаемыми телами большее количество смазочного материала и создает более высокое гидродинамическое давление. С другой стороны – в зоне трения возрастает температура, которая способствует падению вязкости смазочного материала и  $f$ .

Увеличение контактного давления вызывает повышение интенсивности изнашивания  $I_h$  бронзы (рисунок 2), т.к. при этом уменьшается толщина смазочного слоя  $d$ . Так, установлено, что увеличение  $P$  от 0,3 до 2,5 МПа и  $T$  от  $30$  до  $70^\circ\text{C}$  приводит к падению контактного электрического сопротивления  $R_c$  на один – два порядка. В итоге увеличиваются число и размеры пятен фактического контакта, и возрастает сопротивление мостиков сварки срезам. Соответственно возрастает число и размеры адгезионных повреждений. Это вызвано изменением таких факторов как температура контактируемых поверхностей и уменьшение вязкости смазывающего материала. В области высоких нагрузок зависимость  $I_h(P)$  более ярко выражена по причине снижения вязкости смазочного материала с ростом

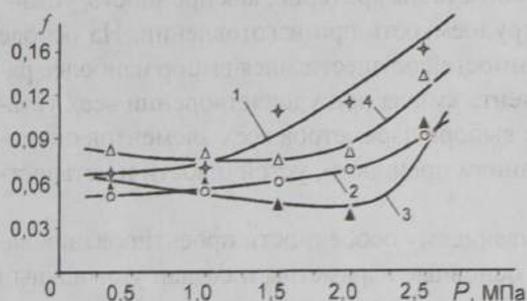


Рисунок 1 – Зависимости коэффициента трения от нагрузки при  $v = 0,5$  м/с: 1 – динамический контакт; 2 –  $t_d = 15$  мин,  $t_s = 5$  мин; 3 –  $t_d = 15$  мин,  $t_s = 2$  мин; 4 –  $t_d = 5$  мин,  $t_s = 2$  мин

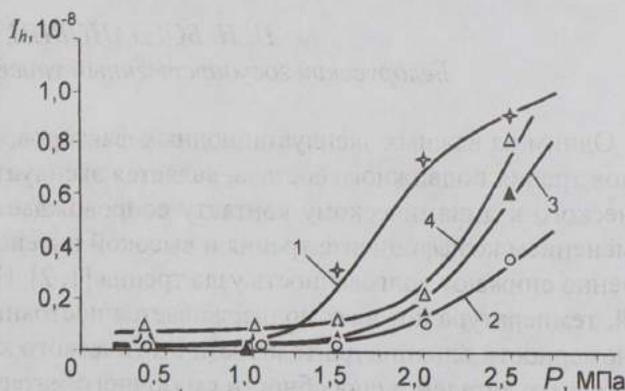


Рисунок 2 – Зависимости интенсивности изнашивания вкладыша от нагрузки при  $v = 0,5$  м/с: 1 – динамический контакт; 2 –  $t_d = 15$  мин,  $t_s = 5$  мин; 3 –  $t_d = 15$  мин,  $t_s = 2$  мин; 4 –  $t_d = 5$  мин,  $t_s = 2$  мин

температуры. Адгезионное разрушение поверхности трения становится ведущим видом изнашивания вкладыша, а усталостное и абразивное – переходят в разряд сопутствующих видов.

При непрерывном режиме вкладыш изнашивается более интенсивно, чем при режиме «пуск – стоп». В первую очередь это связано с тем, что при режиме «пуск – стоп» в период  $t_s$  температура сопрягаемых деталей и масла снижается.

Таким образом, существующее представление о том, что при периодическом нагружении смазываемого узла трения сопрягаемые детали изнашиваются интенсивнее, чем при непрерывном трении, справедливо только для случая, когда температура деталей и смазочного материала в зоне трения поддерживается постоянной.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Богданович, П. Н. Трение, смазка и износ в машинах. / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак, С. П. Богданович. – Минск: Технология, 2011. – 527 с.

2 Богданович, П. Н. Предварительное смещение в металлополимерном фрикционном контакте. / П. Н. Богданович // Доклады Академии наук Беларуси. – 2005. – № 6. – С. 115–118.

УДК 656.2.08

## БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕЕЗДАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ

В. В. БУРЧЕНКОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Повышение интенсивности движения на автомобильных дорогах за последние годы вызвало значительное возрастание транспортных происшествий на железнодорожных переездах. В высокоразвитых странах мира, Великобритании, США, Японии, Италии, Нидерландах, Германии и др., разрабатываются и реализуются специальные программы по замене и модернизации железнодорожных переездов, направленные на обеспечение высокого уровня безопасности движения поездов. Для этого переезды оборудуют различными видами устройств, информирующих водителей транспортных средств о наличии и отсутствии поездов на участках перед переездом.

Согласно данным статистики, большинство аварий на переездах происходит по вине водителей транспортных средств, грубо нарушающих правила проезда железнодорожных переездов, установленные Правилами дорожного движения. Объективной предпосылкой появления нарушителей правил проезда ж.-д. переездов является то, что переездная сигнализация включается при вступлении поезда на участок приближения к переезду, длина которого определяется из расчета движения наиболее скоростного поезда, в то время как основная масса поездов движется со скоростью в два – три раза меньшей. Вследствие этого закрытие переезда происходит за 90–150 секунд до прохода поезда, что для автомобильного транспорта является достаточно длительным временем ожидания. Другой существенной предпосылкой нарушения правил проезда является отсутствие эффективных средств документирования этих событий для последующего расследования и наказания водителей транспортных средств, совершивших такие нарушения.

В этих условиях необходим новый подход к организации безаварийной эксплуатации переездов. Мощным средством повышения эффективности профилактической работы на переездах является внедрение автоматической системы видеоконтроля и регистрации аварийных ситуаций (АСВК), разработанной в БелГУТе. Система предназначена для выявления и идентификации транспортных средств и крупногабаритных предметов в зоне переезда при вступлении поезда на участок приближения. Фиксация аварийных ситуаций обеспечивается видеокамерами в автоматическом режиме, без постоянного подключения оператора. При этом контролируется свобода и занятость участка рельсового пути на переезде и двух участков автомобильной дороги в зоне переезда, находящихся в секторах обзора видеокамер. Регистрация даты и времени, фиксируемого видеокамерами нарушения, производится для соблюдения специальных формальностей при доказательстве вины нарушителя.

Система АСВК состоит из двух видеокамер, четырех оптоэлектронных датчиков наличия и движения автотранспортных средств, микроконтроллера и модема-маршрутизатора. Фиксирующая