

УДК 621.81

Оценка факторов отказа деталей привода путевых подбивочных машин

Зелинский В.В.

В статье устанавливается связь между усталостными повреждениями деталей привода путевых подбивочных машин и условиями их нагружения в процессе выполнения регламентных работ. Исходя из характера разрушений показано, что их причиной может быть малоцикловая усталость, вызванная повторяющимися перегрузками кратковременного действия. На основе математического моделирования получены расчетные формулы, по которым произведена оценка влияния отдельных технологических факторов на силы сопротивления передвижению машины. Выявлены узлы машины, создающие наибольшие силы сопротивления и нагрузки в деталях привода. Произведена относительная сравнительная оценка нагрузок с учетом влияния главных технологических факторов – высота подъема рельсового пути при подбивке и коэффициента трения в контакте роликовых захватов с рельсом. Сформулированы рекомендации конструкторского и технологического характера по уменьшению нагрузок в деталях привода и снижению вероятности развития усталостных разрушений.

Ключевые слова: повреждение, усталость, деталь, сопротивление, нагрузка, фактор, коэффициент трения, роликовый захват.

Failure factor evaluation of linkages for railway tamping machines

Zelinskiy V.V.

The paper deals with the relationship between fatigue damages of railway tamping machine linkages and provisions for their loading while performing regular operations. The damages may be accounted for low cycle fatigue caused by multiple short-term overloads. Mathematical modeling lets us obtain calculation formulas to estimate the effect of specific technological factors on forces resisting the machine movement. Machine components creating the largest resistance forces and loads in the linkage have been detected. The paper gives comparative load evaluation under the main technological factors such as the lift height of the railway when tamping and constant of friction in the roller grips contact with the rail. Technological and design recommendations have been given to reduce loads in the linkages and probable development of fatigue damages.

Keywords: damage, fatigue, part, resistance, load, factor, constant of friction, roller grip.

Введение

В практике ремонта железнодорожного полотна в последние годы широко используются специальные путевые машины для проведения разнообразных технологических операций по подбивке и выправке щебеночного настила, требующих больших механических усилий.

Опыт эксплуатации и ремонта таких путевых машин показал, что происходящие преждевременные отказы вызваны повреждениями усталостного характера у деталей привода ходовых колес. Этими деталями являются:

а) зубчатые колеса и шлицевые соедине-

ния, которые воспринимают высокие сосредоточенные нагрузки и испытывают высокие переменные и изгибные напряжения,

б) валы промежуточных опор, которые также испытывают нагрузки с явно выраженным циклическим изменением напряжений по знакопеременному асимметричному циклу, реализующиеся при передаче высоких крутящих моментов.

Цель работы – исследование нагрузочных условий деталей привода путевых подбивочных машин и расчетная оценка основных факторов их отказа.

Математическое моделирование нагрузочных условий

Низкая долговечность из-за усталостных поломок (зубчатые колеса, валы) и поврежденной поверхности (зубчатые колеса, шлицевые соединения), не соответствующая нормативам по техническим условиям, указывает на природу разрушений, основанную на малоцикловой усталости. Исходя из этого, с высокой степенью вероятности можно предполагать, что причиной отказов являются систематически повторяющиеся «пиковые» нагрузки кратковременного действия. То есть нагрузки такого уровня, которые для данной конкретной ситуации обуславливают «перегрузку». Известно [1, 2], что у низколегированных и углеродистых сталей (в рассматриваемом случае – валы) циклически повторяющиеся напряжения, составляющие 0,7...0,8 разрушающего напряжения (предела выносливости), а у высоколегированных сталей (в рассматриваемом случае – зубчатые колеса) – составляющие 0,4...0,6 разрушающего напряжения, уже приводят к резкому расширению явлений сдвига внутри зерен материала. При этом сдвиги интенсивно разрастаются, превращаясь в усталостную трещину при ограниченном числе циклов, которое может составлять не более 25% от общего ресурса детали. Традиционно повышение надежности и долговечности деталей стремятся обеспечить повышением запаса прочности. Однако требуемый уровень запаса прочности может быть обеспечен, в том числе, и путем уменьшения действующих (рабочих) напряжений за счет снижения нагрузок при осуществлении регламентных работ. Поэтому проводилось изучение всего многообразия условий нагружения деталей привода ходовых колес нагрузками различного происхождения.

Изучение особенностей работы машины показало, что наиболее опасным по малоцикловому разрушению является пуск при передвижении машины в условиях приподнятого

участка пути (рабочий режим) специальными роликовыми захватами (РЗ). РЗ в количестве четырех штук закреплены на раме машины между второй и третьей колесными парами четырехосной платформы и могут поднимать рельсовый путь на высоту до 100 мм. Передвижение машины в рабочем режиме представляет собой циклически повторяющиеся пуск (разгон) – движение с постоянной скоростью – торможение (замедление). Кратковременные «пиковые» нагрузки на детали привода ходовых колес в период пуска возникают из-за преодоления сопротивления от трения во всех трущихся сопряжениях, а также преодоления сопротивления от сил инерции, приводимых в движение масс.

Анализ сил сопротивления в механизме привода ходовых колес показал, что при пуске преодолевается общая сила сопротивления $W_{общ}$, структура которой может быть представлена выражением

$$W_{общ} = W_{хкм} + W_{рз} + W_{ин}, \quad (1)$$

где: $W_{хкм}$ – сила сопротивления в ходовых колесах машины, $W_{рз}$ – сила сопротивления в роликовых захватах, $W_{ин}$ – сила сопротивления инерционной нагрузке от приводимых в движение масс.

Представление сил сопротивления в аналитической форме и их детальный анализ показал, что наиболее значимой, изменяющейся в широком диапазоне и зависимой от технологии выполняемых работ является сила сопротивления в роликовых захватах $W_{рз}$. Было установлено, что вертикальная нагрузка в них, определяющая уровень $W_{рз}$ через коэффициент трения, оказывает аналогичное влияние и на величину $W_{хкм}$.

Использование основных теоретических положений механики машин и механизмов позволило получить аналитическое выражение для $W_{рз}$ в следующем виде

$$W_{рз} = G_1 \left[\frac{tg(\alpha + arctg f_{ск})}{\cos \gamma} + \frac{f_{кач} d_n}{d_{ср}} \right], \quad (2)$$

где G_1 - полная вертикальная нагрузка на РЗ от приподнятого участка пути, α - угол наклона приподнятого участка относительно горизонта, γ - угол наклона нижней поверхности головки рельса, d_{cp} - средний диаметр опорного пояса ролика в РЗ, $f_{ск}$ - коэффициент трения скольжения между роликом и рельсом, $f_{кач}$ - коэффициент трения в подшипниках качения оси роликов, d_n - диаметр цапфы оси роликов РЗ.

С учетом уравнения упругой линии, удельного веса рельса и шпал, геометрических размеров РЗ было получено выражение для определения полной вертикальной нагрузки G_1 на роликовые захваты в виде

$$G_1 = 4(A + 2P_0 z + 4lq)y, \quad (3)$$

где: y - высота подъема пути, P_0 - собственный вес одной шпалы с подкладками, крепежными скобами и болтами, l - длина поднимаемого участка пути, z - количество шпал в поднимаемом участке пути, q - погонный вес рельса, A - постоянный коэффициент, учитывающий модуль упругости рельсовой стали, момент инерции сечения рельса, длину поднимаемого участка пути и расстояние между роликовыми захватами вдоль рельса.

Расчетная оценка влияния основных факторов

Факторов, влияющих на уровень сопротивлений и, соответственно, нагрузок в деталях привода ходовых колес путевых машин, достаточно много. Для данной путевой машины к главным следует отнести переменные технологические факторы (условия эксплуатации), определяемые уровнями внешних воздействий. Они относятся к трудно учитываемым при конструировании факторам. Это обстоятельство часто и обуславливает преждевременные отказы деталей. Учет этих факторов, как факторов отказа, обычно осу-

ществляется после длительного опыта эксплуатации машин. Но на основе математического моделирования влияние переменных факторов отказа можно оценить уже при первичных отказах с установленной физической причиной.

Анализ выражений (1), (2) и (3) показывает, что переменными технологическими факторами отказа, оказывающими наибольшее влияние на W'_{pz} , являются - а) высота подъема пути y и - б) коэффициент трения скольжения $f_{ск}$. Оба фактора влияют на силу сопротивления в роликовых захватах в одном направлении. Расчеты применительно к рельсу Р65 с креплением на бетонных шпалах позволили произвести оценку влияния высоты подъема пути y на изменение относительных значений составляющих W'_{pz} , $W'_{хкм}$ и $W'_{ин}$ при пуске в зависимости от величины коэффициента трения в РЗ (рис. 1).

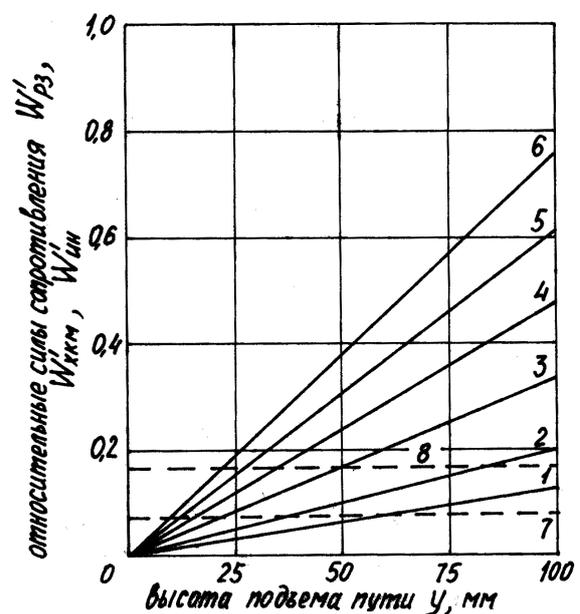


Рис 1. Влияние высоты подъема пути на относительные силы сопротивления: в роликовых захватах W'_{pz} (1 - при $f_{ск} = 0,05$; 2 - 0,1; 3 - 0,2; 4 - 0,3; 5 - 0,4; 6 - 0,5), в ходовых колесах машины $W'_{хкм}$ (7 - при всех значениях $f_{ск}$), от сил инерции $W'_{ин}$ (8 - при всех значениях $f_{ск}$)

Расчеты показали, что при пуске общая сила сопротивлений передвигению (пропорциональная нагрузке в деталях привода) и относительная доля сопротивлений РЗ в общей сумме сопротивлений в значительной мере определяются величиной коэффициента трения в контакте роликов РЗ с рельсом. При этом, если учесть, что при пуске $f_{ск} = 0,4...0,5$, то относительная величина $W'_{рз}$ составляет 60...70%. Оценка также показала, что наиболее значимым из переменных факторов отказа является $f_{ск}$. Наиболее предпочтительно поддержание его величины при всех значениях u в диапазоне $f_{ск} \leq 0,1$. В этом случае доля $W'_{рз}$ в общей сумме сопротивлений не превышает сопротивлений в ходовых колесах и сопротивлений от сил инерции, уровень которых минимизирован на этапе конструирования и изготовления машины.

Целенаправленно влиять фактором u на $W_{общ}$ не представляется возможным, так как его уровень не связан с конструкцией машины, а определяется степенью «изношенности» (просадки) железнодорожного полотна. Поэтому роль фактора $f_{ск}$ в уровне $W_{рз}$ и $W_{общ}$, задаваемого конструкцией машины и технологией производства работ, является важнейшей. Расчетная оценка показала, что возможное конструкторское или технологическое уменьшение $f_{ск}$ в роликовых захватах обеспечит снижение нагрузки в деталях привода примерно в 2 раза.

Статья поступила в редакцию 25 ноября 2012 г.

Зелинский Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». E-mail: selvik46@yandex.ru

Zelinskiy Viktor Vasiljevich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University. E-mail: selvik46@yandex.ru

Заключение

Проведенные исследования позволяют наметить способы повышения надежности деталей привода ходовых колес путевых машин, основанные на снижении трения в контакте роликов с рельсом в роликовых захватах:

а) улучшением триботехнических свойств рабочих поверхностей роликов (снижением коэффициента трения),

б) правильной организацией смазки контакта (например, применением твердых смазочных материалов)

в) заменой трения скольжения на трение качения (изменением конструкции роликового захвата).

Литература

1. *Орлов П.И.* Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн.1/ Под ред. П.Н. Усачева. Изд. 3-е, испр. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.

2. *Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М.* Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие. Изд. 3-е / под ред. С.В. Серенсена. – М.: Машиностроение, 1975.

References

1. *Orlov P.I.* Design Basics: Reference Manual. In 2 books. Book 1 / Ed. P.N. Usachov. 3rd ed. – Moscow: Mashinostroenie, 1988. – 560 p.

2. *Sorensen S.V., Kogaev V.P., Shneyderovich R.M.* Bearing capacity and settlement of machine parts for durability. Guide and reference manual. 3rd ed. – Moscow: Mashinostroenie, 1975.