

## ПРОБЛЕМА КОЛЕСО/РЕЛЬС: НОВЫЙ ВЗГЛЯД

В. И. Сенько, Л. А. Сосновский

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Разработан новый подход к изучению системы колесо/рельс, связанный с представлением о “комплексном износоусталостном повреждении и разрушении силовых систем”, развиваемом в трибофатике. Изложены некоторые результаты таких исследований применительно к проблеме колесо/рельс.

“**В**заимодействие колеса и рельса является физической основой движения поездов по железным дорогам... На данных этапах развития железнодорожного транспорта... возникали проблемы, которые представляли серьезную угрозу функционированию железных дорог. К числу наиболее важных из них относятся:

- проблема схода подвижного состава с рельсов;
- проблема контактной усталости колес и рельсов;
- проблема повышенной интенсивности изнашивания колес и рельсов” [1].

Мы цитируем эту точку зрения, так как она является взвешенной, базируясь на огромном опыте эксплуатации и фундаментальных исследованиях в области трибологии, и широко распространенной, поскольку именно такие исследования стали модельными для изучения закономерностей и последствий взаимодействия колеса и рельса.

Таким образом, во-первых, проблему обеспечения эксплуатационной работоспособности системы колесо/рельс следует возвести в ранг одной из главных для железнодорожного транспорта: отказ одного из ее элементов (колеса или рельса) либо ее отказ как целого (и колеса, и рельса) есть прекращение функционирования.

Что касается угроз, то, по нашему мнению, в перечень, данный выше, необходимо добавить еще одну:

- проблема механической усталости рельсов.

Достаточно напомнить об их усталостных разрушениях поперечными трещинами [2], чтобы осознать обоснованность этой грозной “добавки”. Это значит, что фундаментальные исследования в области механики усталостного повреждения и разрушения тоже следует рассматривать как базовые для проблемы колесо/рельс; такие исследования, как и трибологические, хорошо известны.

Но далее, обобщая, следует понять, во-вторых, что в действительности существует только одна угроза работоспособности системы колесо/рельс, а именно:

– эксплуатационное повреждение и разрушение колес и рельсов под действием подвижной нагрузки.

В самом деле, “проблема сходов” в значительной мере обусловлена поврежденностью и/или разрушением системы, а проблемы “контактной усталости”, “изнашивания”, как и “механической усталости”, есть проявления хотя и важных, но отдельных видов (или типов) поверхностного и объемного повреждения и разрушения.

Колеса и рельсы работают при действии пространственной системы повторно-переменных нагрузок – и, естественно, повреждаются и разрушаются. Они, конечно, “не подозревают”, что специалисты разделили единый сложнейший процесс повреждения и разрушения на отдельные явления: контактная усталость, изнашивание, механическая усталость и др. Ученые и практики сделали это и хорошо, и правильно, так как обычный путь познания – от простого к сложному. Но... “современная западная цивилизация достигла необычайных высот в искусстве расчленения целого на части... Мы изрядно преуспели в этом искусстве, преуспели настолько, что нередко забываем собрать разъятые части в то целое, которое они некогда составляли” (О. Тоффлер). Применительно к проблеме эксплуатационного повреждения и разрушения системы колесо/рельс в этой фразе слово “забываем”, пожалуй, не совсем правильно; надо было бы сказать: “не умеем”. Однако за последние 15 лет появилось представление о “комплексном износоусталостном повреждении и разрушении силовых систем”, в том числе типа колесо/рельс; разработаны методы его экспериментального изучения и теоре-

тического анализа, установлены основные закономерности его проявления (возникновения и развития) [3–7 и др.]. И теперь специалисты в области трибофатики научились “собрать разъятые части в целое” – хотя бы в первом приближении. Это позволяет сформулировать новый – нетрадиционный взгляд на проблему колесо/рельс. Дадим его обоснование.

**Методология нового подхода.** Пусть мы имеем дело с механической системой колесо/рельс (рисунок 1). В трибологии ( $T$ ) эту систему рассматривают как пару трения. Тогда взаимодействие колеса и рельса на дорожке катания моделируют работой пары трения при качении (рисунок 1,  $T, a$ ). Обычно это два ролика, вращающиеся с определенной угловой скоростью  $\omega$  и прижимаемые друг к другу контактной нагрузкой  $F_N$ . Один из роликов моделирует поверхность катания рельса, другой – колесо. Контактная усталость – так называют основное повреждающее явление в данном случае. Предельное состояние достигается, главным образом, по двум признакам: 1) износ (одного или обоих тел) критической величины и 2) критическая плотность (или глубина) ямок выкрашивания на дорожках катания одного (или обоих) тел.

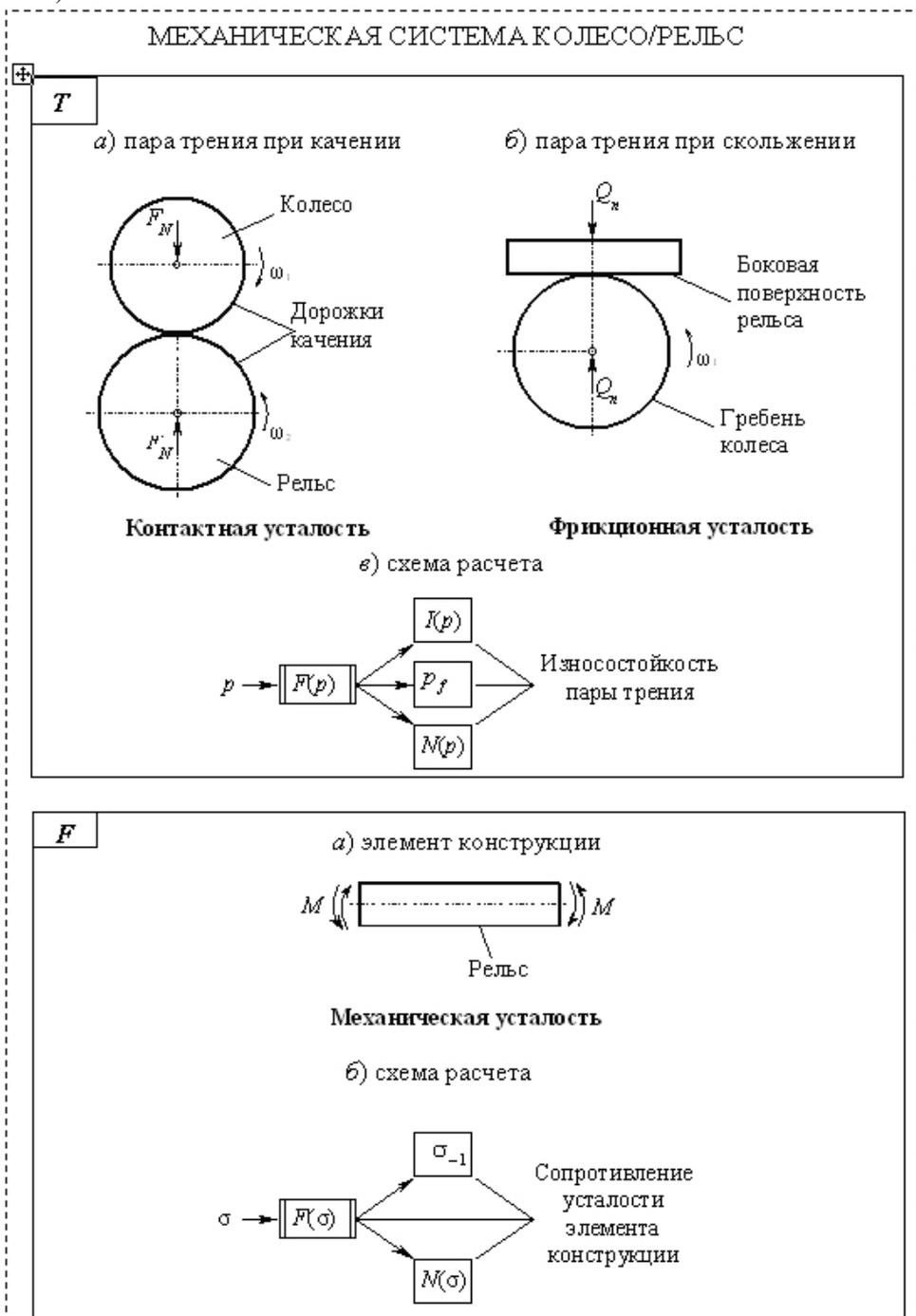


Рисунок 1 – Традиционный подход к анализу и расчету механической системы колесо/рельс

Другой вид взаимодействия – трение скольжения гребня колеса по боковой поверхности рельса. Его можно моделировать парой трения “вращающийся ролик – неподвижная пластина” (рисунок 1, *T, б*) при действии контактной нагрузки  $Q_n$ . Ролик имитирует гребень колеса, пластина – боковую поверхность рельса. Фрикционная усталость – так можно назвать основное повреждающее явление в этом случае. Предельное состояние достигается, главным образом, по одному признаку: критическая величина износа одного (или обоих) тел.

В этих двух случаях под работоспособностью пары трения понимают ее износостойкость, или, иначе, сопротивление поверхностному (усталостному) повреждению и разрушению. Его можно охарактеризовать тремя основными параметрами:  $I(p)$  – интенсивность изнашивания при действии контактного давления  $p$ ;  $N(p)$  – износосвая долговечность при действии  $p$ ;  $p_f$  – предельное давление. С точки зрения теории надежности достаточной характеристикой работоспособности пары трения является  $F(p)$  – вероятность отказа по критериям изнашивания за установленное время. Таким образом, обобщенную расчетную схему для пары трения можно представить так, как это показано на рисунке 1, *T, в*.

В сопротивлении материалов систему колесо/рельс рассматривают как отдельный элемент конструкции: рельс под действием циклических напряжений  $\sigma$  (рисунок 1, *F, а*). Механическая усталость ( $F$ ) – так называют повреждающее явление в данном случае. Предельное состояние достигается по двум признакам: 1) образование поперечной усталостной трещины критической длины и 2) разделение элемента конструкции на две части (объемное разрушение).

Под работоспособностью элемента конструкции понимают его прочность при действии повторно-переменной нагрузки, или, иначе, сопротивление (объемному) усталостному повреждению и разрушению. Его характеризуют двумя основными параметрами:  $N(\sigma)$  – усталостная долговечность при действии циклических напряжений  $\sigma$ ;  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости при заданном времени (базовом числе циклов) испытаний. С точки зрения теории надежности достаточной характеристикой работоспособности элемента конструкции является  $F(\sigma)$  – вероятность усталостного разрушения за установленное время. Таким образом, обобщенную расчетную схему для элемента конструкции можно представить так, как это показано на рисунке 1, *F, б*.

При традиционной оценке работоспособности данной механической системы по отдельным критериям (либо по износостойкости, либо по сопротивлению усталости) принимается, что связь между ее элементами или слаба (трибология: изучается только та или иная пара трения), или вовсе отсутствует (механика усталостного разрушения: изучается лишь отдельный элемент конструкции). На рисунке 1 это отражается пунктиром, который охватывает подходы  $T$  и  $F$ . В действительности же, с точки зрения трибофатики ( $TF$ ), мы имеем дело с силовой системой (рисунок 2), которая работает в условиях комплексного износоусталостного повреждения: трение качения + механическая усталость одновременно и/или трение скольжения + механическая усталость одновременно (рисунок 2, *TF, а*). Это означает, что между элементами системы имеет место силовое взаимодействие, обусловленное одновременным и совместным действием как контактного давления  $p$ , так и циклических напряжений  $\sigma$ . И тогда схема оценки работоспособности системы должна быть такой, как это представлено на рисунке 1, *TF, б*. Ее сопротивление комплексному износоусталостному повреждению и разрушению характеризуется следующими основными параметрами:  $N(\sigma, p)$  – долговечность системы при одновременном действии  $\sigma$  и  $p$ , обусловленная долговечностью либо колеса, либо рельса, либо обоих элементов одновременно;  $I_\sigma(p)$  – интенсивность изнашивания системы с учетом действия циклических напряжений;  $\sigma_{-1p}$  – предел выносливости рельса с учетом влияния контактного давления  $p$ ;  $p_{f\sigma}$  – предельное контактное давление с учетом влияния циклических напряжений  $\sigma$ . С точки зрения теории надежности достаточной характеристикой работоспособности является  $F(\sigma, p)$  – вероятность отказа системы, обусловленная вероятностью отказа либо колеса, либо рельса, либо обоих элементов одновременно при действии  $\sigma$  и  $p$ .

Влияние процессов трения и изнашивания на изменение характеристик сопротивления усталости называют прямым эффектом; следовательно, характеристика  $\sigma_{-1p}$  количественно описывает этот эф-

факт. Влияние циклических напряжений на изменение характеристик трения и изнашивания называют обратным эффектом; следовательно, характеристики  $I_{\sigma}(p)$  и  $p_{f\sigma}$  количественно описывают данный эффект. Заметим: циклические напряжения, возбуждаемые в одном из элементов системы (в рельсе) влияют на процессы изнашивания в обоих ее элементах (и в рельсе, и в колесе) – это убедительно подтверждено соответствующими экспериментами (см., например, [5]).

При прямом эффекте предельное состояние достигается по критериям сопротивления (объемной) усталости, тогда как повреждения вследствие трения являются сопутствующими. При обратном эффекте, наоборот, предельное состояние достигается по критериям износостойкости, тогда как усталостные повреждения оказываются сопутствующими.

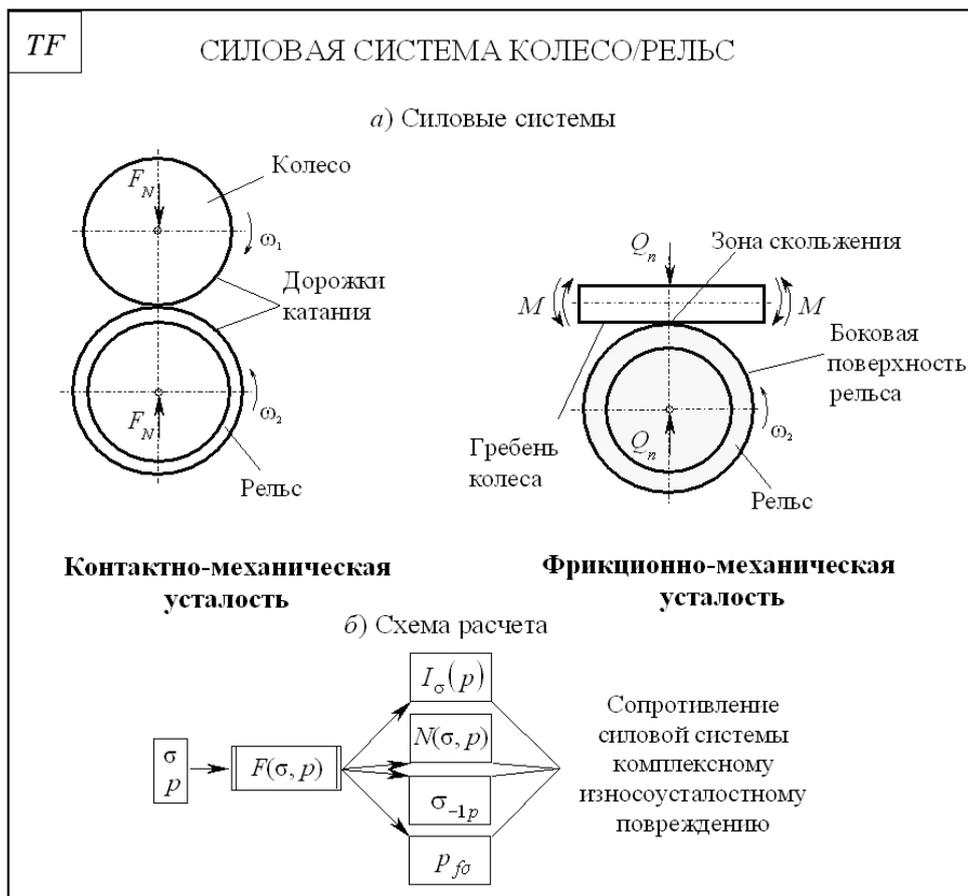


Рисунок 2 – К расчету силовой системы колесо/рельс

Из изложенного следует, что только силовая система действительно адекватна изучаемой реальной механической системе, тогда как пара трения или элемент конструкции представляют собой лишь частные ее схематизации. А показатели работоспособности изучаемого объекта, определяемые методами трибофатики, достаточно полно отражают реальные условия его работы, тогда как аналогичные показатели, определяемые методами трибологии или механики усталостного разрушения, описывают поведение системы колесо/рельс в идеализированных условиях.

Два основных типа комплексного износуусталостного повреждения силовой системы, описанные выше, получили специальные названия: контактно-механическая усталость (трение качения + объемное циклическое деформирование) и фрикционно-механическая усталость (трение скольжения + объемное циклическое деформирование) [8].

Мы не подвергаем ни малейшему сомнению важность и полезность традиционных методов изучения закономерностей и характера повреждений по отдельным критериям контактной (при трении качения), фрикционной (при трении скольжения) и механической усталости, поскольку о свойствах целого (комплексное износуусталостное повреждение и разрушение) в известной мере можно судить по свойствам составляющих его элементов (механическая, контактная, фрикционная усталость). Но

мы приходим к пониманию того, что не менее важным и более эффективным является иной, нетрадиционный подход: изучение целого, с возможностью его членения на части.

К настоящему времени, как уже отмечалось, разработаны методы исследования комплексного износоусталостного повреждения и разрушения силовых систем, изучены основные закономерности его возникновения и развития. Изложим, по данным работ [3–7], некоторые результаты таких исследований применительно к проблеме колесо/рельс.

**Методы испытаний.** Применительно к изучаемой проблеме был разработан комплекс унифицированных методов испытаний (см., например, [4, 5]), главная отличительная особенность которого состоит в том, что все характерные испытуемые элементы силовой системы имеют одинаковые типоразмеры (рисунок 3). Это позволяет осуществить как традиционные испытания на механическую (*в*), фрикционную (*з*) и контактную (*б*) усталость, так и комплексные испытания на контактно-механическую (*а*) и фрикционно-механическую (*д*) усталость; результаты всех таких испытаний можно корректно сравнивать.

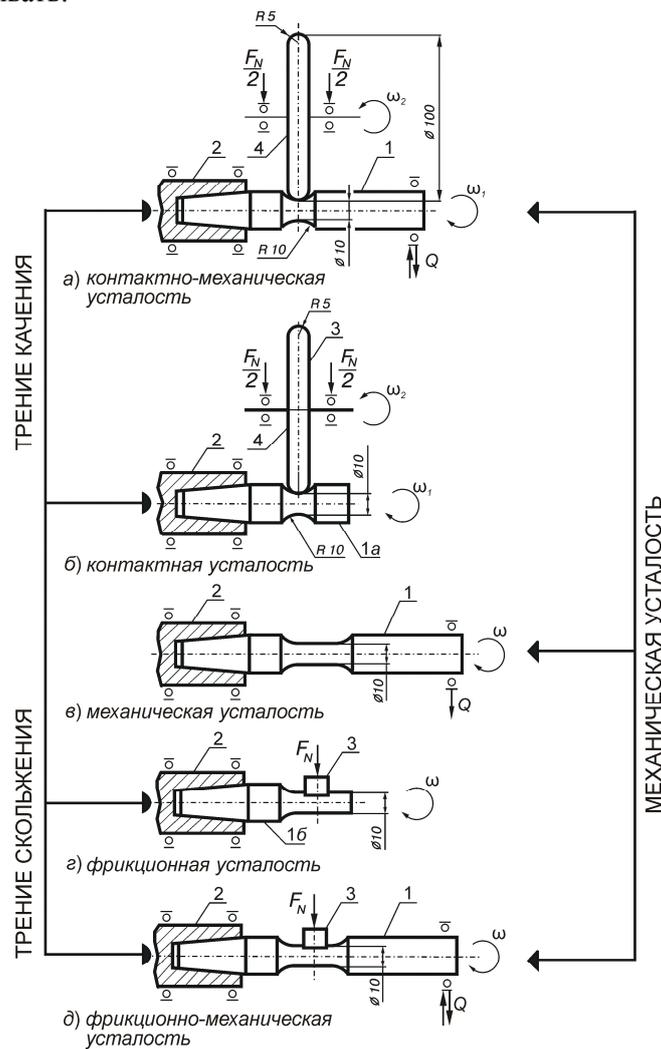


Рисунок 3 – Схемы испытания на механическую (*в*), фрикционную (*з*), контактную (*б*), контактно-механическую (*а*) и фрикционно-механическую (*д*) усталость

Для реализации указанных методов испытания созданы (см., например, [5]) универсальные машины типа СИ-03, оснащенные современной информационно-управляющей системой.

Методы и машины для износоусталостных испытаний эксплуатируются давно и имеют следующее принципиальное достоинство: они дают возможность проводить испытания моделей силовых систем на контактно-механическую и фрикционно-механическую усталость при любых соотношениях изгибающей ( $Q$ ) и контактной ( $F_N$ ) нагрузок, поскольку каждая из них задается независимо от другой. Это имеет особое значение для исследовательских целей. С практической точки зрения важно иметь

возможность возбуждать в элементах системы циклические ( $\sigma$ ) и контактные ( $p$ ) напряжения от единой (в литературе по железнодорожному транспорту ее называют осевой) нагрузки – как в реальном процессе эксплуатации и как это схематически представлено на рисунок 2, а (слева). В таком случае контактно-механическая усталость реализуется в условиях, весьма близких к эксплуатационным. Аналогичные заключения можно сделать и по рисунку 2, а (справа) – для условий фрикционно-механической усталости под действием боковой нагрузки  $Q_n$ . Эти новые методы испытаний предложены в 2004 г. и в настоящее время ускоренно обрабатываются.

**Управление процессами износоусталостного повреждения (ИУП).** Согласно общим положениям трибофатики и как следует из изложенного выше, борьба с износом, как и борьба с усталостными поломками в силовых системах типа колесо/рельс, базирующаяся только на представлении о поверхностных повреждениях (любого типа) при трении либо только на представлении об объемном разрушении при циклическом нагружении, не может быть безусловно успешной в принципе: надо учесть комплексный характер процессов повреждения и разрушения. В этой связи актуальность приобретают постановка и реализация задачи управления процессами ИУП (рисунок 4). Силовая система (СС) рассматривается как объект управления. Задача формирования оптимальной программы управления ставится как оптимизационная:  $F(\sigma, p) \Rightarrow \min, C_0 \Rightarrow \min$ , т. е. на основании технико-экономического расчета устанавливается параметр  $opt F$  оптимизации. При эксплуатации СС измеряется множество  $\{a_j\}$  параметров  $a_j$  ее состояния. По результатам измерений формируется текущая мера  $\omega_\Sigma(t)$  комплексного ИУП, которая является функцией времени  $t$  и частных мер поврежденности  $\omega_\sigma, \omega_p, \omega_{ch}, \omega_T$ , обусловленных циклическими напряжениями (индекс  $\sigma$ ), контактным давлением (индекс  $p$ ), процессами электрохимической коррозии (индекс  $ch$ ), температурой (индекс  $T$ ) в зоне контактного взаимодействия элементов СС. Состояние СС в любой момент эксплуатации оценивается по интегральному параметру  $F_t(\sigma, p, \omega_\Sigma(t))$ . Дальнейшая цель состоит в сопоставлении (сравнении) оптимального ( $opt F$ ) и текущего ( $F_t$ ) значений интегрального параметра  $F$ . На основании получаемого рассогласования  $\Delta F$  параметров  $opt F$  и  $F_t$  решается задача синтеза динамического или оптимального управления  $U = \varphi(\Delta F)$ . Физическую реализуемость управления СС обеспечивает исполнительный орган (ИО).

Конечно, задача управления ИУП является весьма сложной, но зато и очень практичной: речь идет об эффективном управлении эксплуатационной надежностью наиболее ответственных силовых систем машин и оборудования по важнейшим критериям работоспособности при одновременном снижении затрат труда, средств и материалов в сферах производства и эксплуатации.

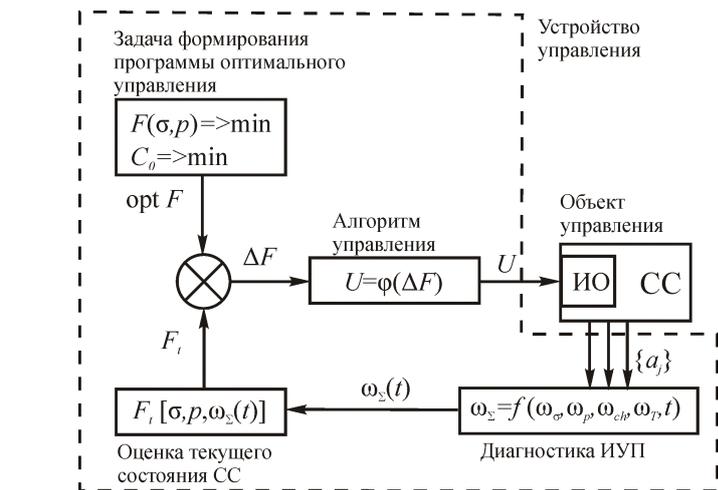
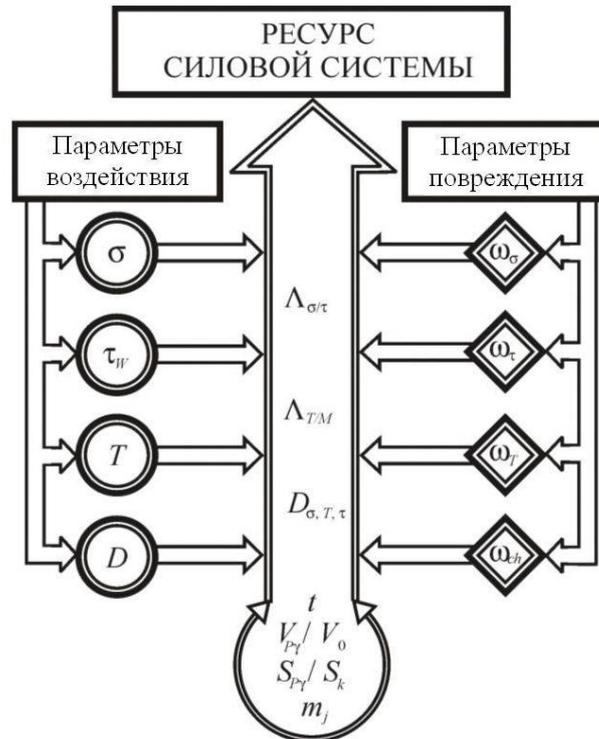


Рисунок 4 – Содержание задачи оптимизации (динамической) силовой системы

Основные  $tf$ -каналы (трибофатические) управления ИУП представлены на рисунке 5, к которым относятся: а) конструктивно-технологические параметры ( $V_{pT}/V_0, S_{pT}/S_k$ ); б) параметры  $m_j, j = 1, 2, \dots, n$  состава и строения (механо-физико-химических свойств) материалов; в) нагрузочные параметры ( $\sigma, T, \tau_w, D$ ); г) параметр времени ( $t$ ); д) параметры состояния (поврежденности) элементов ( $\omega_\sigma, \omega_\tau, \omega_T, \omega_{ch}$ ); е) параметры взаимодействия повреждений ( $R_{\sigma/\tau}, R_{T/M}, D_{\sigma,T,\tau}$ ) [5].

Рисунок 5 – Основные  $t$ -каналы управления ресурсом силовой системы

Сказанное выше вполне согласуется с общими направлениями широкого фронта НИР по обеспечению требуемой эксплуатационной надежности системы колесо/рельс [9 и др.]: совершенствуют конструкцию обоих элементов, особенно в зонах контактного взаимодействия, например, путем придания профилю сечения головки рельса той формы, которая обнаруживается в естественных условиях эксплуатации [10 и др.]; улучшают качество материалов и повышают требования к их механическим свойствам, например, путем увеличения твердости колеса и рельса до 370-400 НВ [11–13]; разрабатывают и внедряют специальные системы смазки с целью снижения износа рельсов и колес [13 и др.]; теоретически моделируют процессы контактирования, изнашивания и накопления повреждений в системе колесо/рельс [14 и др.] и т. д. Однако некоторые модели, выводы и рекомендации, которые разрабатываются на основе традиционного подхода к анализу работоспособности изучаемой системы по отдельным критериям (например, либо только контактной, либо только фрикционной усталости), оказываются, с точки зрения трибофатики, не вполне обоснованными. Так, известная и полезная модель процессов контактирования, изнашивания и накопления повреждений в сопряжении колесо/рельс [14] не учитывает усталостных повреждений, например, от повторно-переменного изгиба рельса и, следовательно, не принимает во внимание процессы взаимодействия повреждений, обусловленных контактными и циклическими напряжениями, а также их направленность (упрочнение – разупрочнение). По-видимому, требует экспериментального обоснования и предложение [10–12] о повышении твердости рельсовой и колесной сталей.

**О требованиях к механическим свойствам материалов для колеса и рельса.** С ростом эксплуатационных нагрузок обычно увеличивают размеры поперечного сечения рельсов (например, при переходе от Р65 к Р75), а также повышают механические свойства материала, интегральной характеристикой которых может служить твердость  $H$ . И тут возникает непростой вопрос: каким должен быть уровень и каковым – соотношением твердостей колеса ( $H_w$ ) и рельса ( $H_r$ ), чтобы обеспечить оптимальную эксплуатационную долговечность системы колесо/рельс?

Ответ на эти вопросы теоретически дать, по-видимому, пока нельзя. Очевидно лишь, что если твердость материала одного из элементов будет существенно меньше, чем твердость другого, то и несущая их способность будет соотноситься аналогично.

На рисунке 6 показаны результаты соответствующих экспериментов в условиях контактно-механической усталости. Если  $H_r \gg H_w$ , то на рельсе, при больших нагрузках, обнаруживаются остаточные волнообразные повреждения (рисунок 6, а), на дне которых могут сохраняться ямки выкрашивания, в то время как колесо оказывается практически неповрежденным. Если же наоборот,  $H_r \ll H_w$ , то волнообразные повреждения с ямками выкрашивания развиваются на колесе (рисунок 6, б-е), тогда как рельс оказывается практически неповрежденным. Отсюда можно сделать вывод, что неплохо иметь  $H_r = H_w$ . При этом, согласно традиционной точке зрения, чем больше твердость, тем выше долговечность.

Эта традиционная точка зрения принимает во внимание лишь обширные экспериментальные результаты испытаний на контактную усталость (рисунок 7, а). Зависимость  $p_f(H)$  прямолинейна и не обнаруживает каких-либо особенностей в исследованном интервале значений  $p_f$ . Однако сопротивление контактной усталости, как было показано выше, само по себе не может служить критерием работоспособности системы колесо/рельс. Если обратиться к другому традиционному критерию – сопротивлению механической усталости, то оказывается, что зависимость  $\sigma_{-1}(H)$  обнаруживает экстремум (максимум): существует некоторая критическая твердость  $H_*$ , превышение которой не приводит к соответствующему росту  $\sigma_{-1}$ . Более того, после экстремума возможно снижение  $\sigma_{-1}$  с ростом  $H$ . Поскольку рельс работает при комплексном нагружении, то по меньшей мере неясно, какова действительная связь твердости и работоспособности рельса, если последнюю оценивать обеими традиционными характеристиками ( $\sigma_{-1}$  и  $p_f$ ). Учитывая же, что в действительности рельс работает в условиях контактно-механической (и фрикционно-механической) усталости, становится ясным, что его работоспособность характеризуется по меньшей мере тремя (иными) параметрами:  $\sigma_{-1p}$ ,  $p_{f\sigma}$  и  $I_h(\sigma)$ . Поскольку связь этих параметров комплексного износоусталостного повреждения и разрушения с твердостью пока, по имеющимся сведениям, не известна, вопросы об оптимальном соотношении твердости материалов для колеса и рельса, как и об оптимальном уровне твердости для обоих элементов, представляются нерешенными. Совершенно аналогичные заключения справедливы и для условий фрикционно-механической усталости.

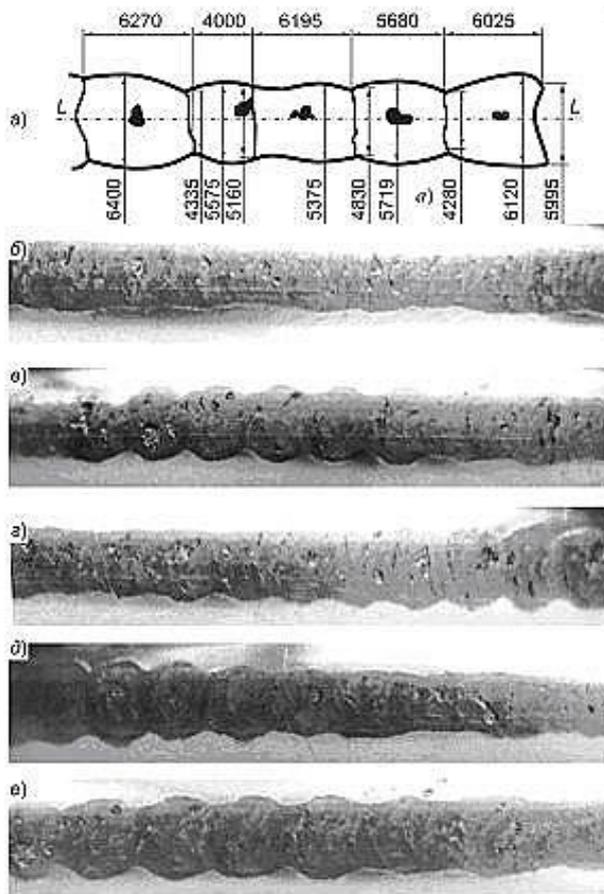


Рисунок 6 – Одна из форм запредельного состояния системы “образец (рельс) / ролик (колесо)”, обнаруженная при лабораторных испытаниях

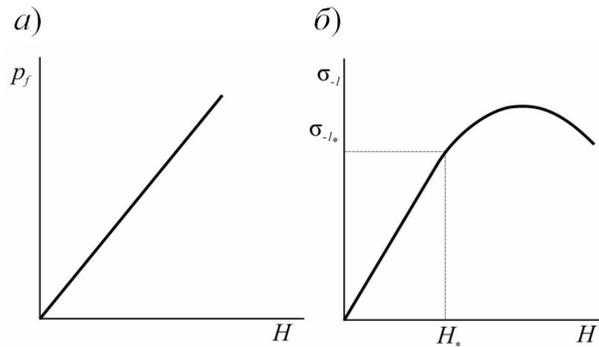


Рисунок 7 – Влияние твердости на сопротивление контактной (а) и механической (б) усталости

Опираясь на известные экспериментальные исследования комплексного износоусталостного повреждения и разрушения [3–7 и др.], можно сделать предварительный прогноз, графическая интерпретация которого дана на рисунках 8 и 9. Как при прямом (рисунок 8, а), так и при обратном (рисунок 8, б) эффектах, как в условиях контактно-механической (КМУ), так и в условиях фрикционно-механической (ФМУ) усталости несущая способность системы может существенно изменяться (быть меньше или больше) в зависимости от соотношения  $H_w \cong H_r$ , при этом и износ сильно зависит от этого соотношения (рисунок 9). К сожалению, даже предварительно не удается пока идентифицировать, к какой именно из трех кривых относится данное из трех соотношений  $H_w \cong H_r$ . Но теперь все это можно прояснить экспериментально, поскольку разработаны соответствующие методы комплексных износоусталостных испытаний системы типа колесо/рельс на лабораторных моделях.

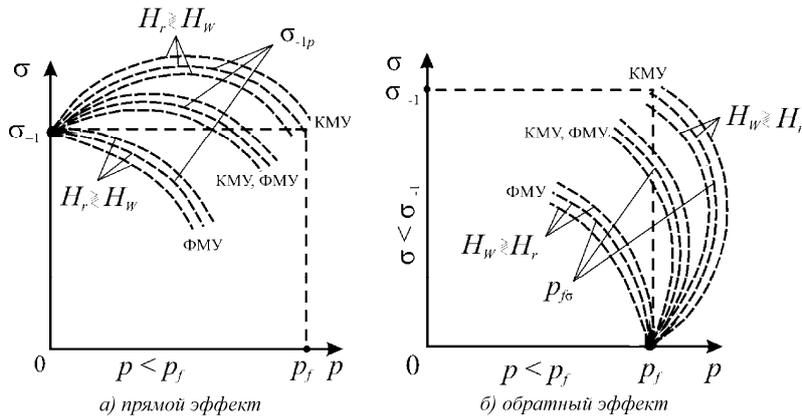


Рисунок 8 – Прогнозируемое влияние соотношений твердости рельсовой и колесной сталей на их несущую способность в условиях контактно-механической (КМУ) и фрикционно-механической (ФМУ) усталости

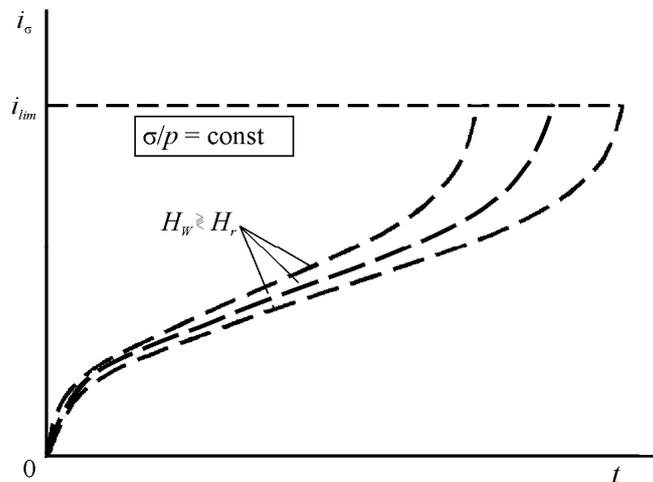


Рисунок 9 – Прогнозируемое влияние соотношений твердости рельсовой и колесной сталей на износ рельсов (или колес) с учетом влияния циклических напряжений

Таким образом, по нашему мнению, задача поиска оптимального соотношения  $H_w/H_r$  остается весьма актуальной и ждет своего экспериментального обоснования. Кроме того, сделанный предварительный анализ показывает, что уровень оптимальной твердости, по-видимому, не может быть таким большим, как это технически возможно.

**О моделировании комплексного износоусталостного повреждения.** Применительно к проблеме колесо/рельс, дополнительно к многочисленным известным моделям, следует, по нашему мнению, искать трибофатическое уравнение состояния

$$\frac{d\omega_\Sigma}{dt} = \varphi(\sigma, fp, m_j, R_{\sigma/p}, V_{p\gamma}/S_{p\gamma}, \dots), \quad (1)$$

согласно которому комплексное износоусталостное повреждение  $\omega_\Sigma$  зависит, по меньшей мере, от уровня циклических нормальных напряжений ( $\sigma$ ), контактного давления ( $p$ ), коэффициента трения ( $f$ ), физико-механических свойств контактируемых материалов ( $m_j$ ), взаимодействия повреждений, обусловленных контактными и циклическими напряжениями ( $R_{\sigma/p}$ ), конструктивных особенностей изучаемой системы ( $V_{p\gamma}/S_{p\gamma}$ ). В работах [3–7, 15] сделаны первые попытки построения модели (1) на основе методологии трибофатики (см. рисунки 1, 2). Дальнейшие исследования должны показать, насколько задача (1) является реальной и каковы ее практические возможности.

**Заключение.** Традиционно трение и изнашивание связывали исключительно с контактной нагрузкой, что вполне отражает работу реального и специфического объекта – пары трения. Но в конце XX века было введено представление о силовой системе [8] – всякой механической системе, которая воспринимает и передает рабочую повторно-переменную нагрузку и в которой одновременно реализуется процесс трения в любых его проявлениях (при скольжении, качении, проскальзывании, ударе и др.). Силовую систему можно определить и как пару трения, один из элементов которой подвержен объемному циклическому деформированию. Таковой является система типа колесо/рельс, которая работает в условиях контактно-механической и фрикционно-механической усталости. Экспериментальные и теоретические исследования показали, что основные характеристики трения и изнашивания (предельное контактное давление, интенсивность изнашивания, коэффициент трения) в значительной мере зависят от уровня действующих циклических напряжений, возбуждаемых повторно-переменной нагрузкой (контактной либо внеконтактной). Эта зависимость, как отмечалось выше, называется обратным эффектом. Если она не игнорируется, правильная оценка долговечности и надежности силовой системы типа колесо/рельс как целого и ее отдельных элементов возможна.

Традиционно механическую усталость связывали исключительно с действием повторно-переменной нагрузки, что вполне отражает работу элемента конструкции, в котором возбуждается (объемное) поле циклических напряжений. Но в последней четверти XX века было установлено, что процессы трения и изнашивания способны существенно изменять основные характеристики сопротивления усталости (предел выносливости, усталостную долговечность). Такая зависимость, как отмечалось выше, называется прямым эффектом. И тогда получается, что когда элемент конструкции, подвергаемый действию повторно-переменной нагрузки, становится элементом пары трения, – образуется силовая система. Если не проигнорировать прямой эффект, правильная оценка надежности и долговечности силовой системы типа колесо/рельс как целого и ее отдельных элементов возможна.

Во второй половине XX века разработаны основы микромеханики рассеянного повреждения. Некоторые типы дефектов, имеющих в материале изначально, и генерируемые в процессе деформирования многочисленные повреждения материала способны перемещаться и, встречаясь, взаимодействовать. Это ведет к непрерывному процессу их накопления путем слияния и разрастания вплоть до появления первичной трещины, источника разрушения. А в самом начале XXI века было установлено, что в силовой системе, например, типа колесо/рельс, существуют два специфических источника генерирования повреждений. Один из них обусловлен контактным взаимодействием элементов системы при трении, другой – объемным циклическим деформированием хотя бы одного из ее элементов. Оказалось, что взаимодействие повреждений, обусловленных обоими источниками, является диалектическим: оно может приводить как к процессам разупрочнения, так и к процессам упрочне-

ния – в зависимости от реальных условий работы системы. Игнорирование взаимодействия необратимых повреждений в силовой системе, например, типа колесо/рельс, может существенно исказить оценку ее работоспособности.

Таким образом, развиваемый с позиций трибофатики нетрадиционный подход к проблеме колесо/рельс состоит в следующем:

1 Система колесо/рельс рассматривается как силовая; для нее характерно комплексное износоусталостное повреждение и разрушение.

2 Эксплуатационная работоспособность (надежность, долговечность) силовой системы колесо/рельс определяется как прямым, так и обратным эффектами.

3 Оптимальная долговечность как системы в целом, так и ее элементов может быть достигнута путем управления процессами комплексного износоусталостного повреждения, с учетом реального взаимодействия необратимых повреждений, обусловленных двумя источниками: контактным взаимодействием элементов системы (колеса и рельса) и объемным повторно-переменным деформированием одного из них (рельса).

По нашему мнению, реализация изложенного подхода будет способствовать успешному решению таких практически важных задач, как снижение интенсивности изнашивания колес и рельсов и повышение их сопротивления контактно-механической и фрикционно-механической усталости.

#### Список литературы

- 1 **Богданов, В. М.** Современные проблемы системы колесо/рельс / В. М. Богданов, С. М. Захаров // Железные дороги мира. – 2004. – № 1. – С. 57–62.
- 2 Проблемы излома рельсов // Железные дороги мира. – 2002. – № 11. – С. 68–71.
- 3 Износоусталостные повреждения и их прогнозирование (трибофатика) / Л. А. Сосновский [и др.]; – Гомель, Киев, Москва, Ухань, 2001. – 170 с.
- 4 **Сосновский, Л. А.** Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин / Л. А. Сосновский, Н. А. Махутов. – Москва–Гомель: ФЦНТИ “Безопасность” – НПО “ТРИБОФАТИКА”, 2000. – 304 с.
- 5 **Сосновский, Л. А.** Основы трибофатики / Л. А. Сосновский. – Гомель: БелГУТ, 2003. – Т.1. – 246 с.; Т.2. – 234 с.
- 6 **Sosnovskiy, L. A.** Tribo-Fatigue. Wear-fatigue damage and its prediction (Foundations of engineering mechanics) – Springer, 2004. – 424 p.
- 7 **Сосновский, Л. А.** Что может дать трибофатика / Л. А. Сосновский, В. И. Сенько, В. И. Матвеев // Железнодорожный транспорт. – 1993. – № 3. – С. 49–52.
- 8 **ГОСТ 30638–99.** Трибофатика. Термины и определения (Межгосударственный стандарт). – Введ. 2000-01-01. – Минск: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 17 с.
- 9 Надежность железнодорожного пути / В.С. Лысюк [и др.]; под ред. В. С. Лысюка. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.
- 10 Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Railway Operations: Wheel and Rail Interface Issues / W. Harris, W. Ebersohn, J. Lundgren, H. Tournay, S. Zakharov // International Heavy Haul Association, 2808 Forest Hills Court, Virginia Beach, USA, 481 p.
- 11 Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / У. Харрис [и др.] // пер. с англ. – М.: Интекст, 2002. – 416 с.
- 12 **Шур, Е. А.** К вопросу об оптимальном соотношении твердости колес и рельсов / Е. А. Шур // Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути: сб. докл. науч.-практ. конф. – Щербинка, Россия, 2003. – С. 87–93.
- 13 Пути оптимизации системы колесо/рельс // Железные дороги мира. – 2002. – № 12. – С. 63–65.
- 14 Моделирование процессов контактирования, изнашивания и накопления повреждений в сопряжении колесо/рельс / Богданов В. М. [и др.] // Трение и износ. – Т.17. – 1996. – № 1. – С. 12–26.
- 15 **Сенько, В. И.** Износоусталостные повреждения и предельное состояние силовой системы типа колесо/рельс / В. И. Сенько, Л. А. Сосновский // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – Гомель: БелГУТ, 2001. – № 2. – С. 100–104.

Получено 10.04.2005

**V. I. Senko, L. A. Sosnovskiy.** The wheel / rail problem: new view.

The new approach to investigating a wheel / rail system, which is connected to representation about “complex wear-fatigue damage and fracture of active systems”, used in tribo-fatigue, is developed. Some results of such researches with reference to a wheel / rail problem are stated.