

УДК 629.4

*Р. И. ЧЕРНИН, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ДЕМОНТАЖА КОЛЁСНЫХ ПАР ВАГОНОВ

Для совершенствования механосборочных процессов при изготовлении и ремонте колёсных пар вагонов с роликовыми буксовыми узлами предлагаются малогабаритные навесные устройства для осуществления гидропрессовой технологии с торцовым нагнетанием смазки (ГПТТ) для сборки-разборки соединений с гарантированным натягом цельнокатаных колёс с осями. Соответствие предложенных технических решений условиям новизны и промышленной применимости подтверждается патентами на изобретения. Приведена полученная аналитическая приближённая зависимость распределения давления в жидкостном слое в зоне контакта деталей при гидрораспоре в сопряжении.

**П**одвижной состав железнодорожного транспорта снабжён колёсными парами с буксовыми узлами на подшипниках качения, изготовленными по техническим условиям ТУ 24.05.862, ГОСТ 4835, ГОСТ 4008, ГОСТ 9036, ГОСТ 10791, ГОСТ 11018 и др. При изготовлении роликовых колёсных пар вагонов используется механическая запрессовка цельнокатаных колёс и кассетных подшипников качения на шейки осей, механическая распрессовка соединений теплового формирования внутренних колец разборных роликовых буксовых подшипников при ремонте. Недостаточная надёжность механических напрессовок подтверждается практикой производства и эксплуатации колёсных пар, а также материалами многочисленных исследований. Механическая запрессовка колёсных пар вагонов и качество посадки колёс на оси контролируются, как известно, по индикаторным диаграммам. При удовлетворительных по форме, длине, виду и конечной величине усилия запрессовки полученное соединение не бракуется. Вместе с тем, несовпадение геометрических осей и перекося сопрягаемых с натягом деталей типа «вал-втулка» при механической запрессовке вызывают существенные отклонения на указанных диаграммах.

В механосборочных процессах запрессовка оси в ступицу колеса выполняется в условиях, не исключаящих разрыв масляной плёнки в зоне контакта сопрягаемых с натягом деталей, в результате чего при относительном аксиальном смещении последних возрастают пластические деформации поверхностей их контакта. В процессе истирания сталь по стали механический износ происходит со схватыванием их поверхностей, что обуславливает брак механической запрессовки. Аналогично при механической распрессовке соединений с гарантированным натягом колёсных пар вагонов отмечаются значительные и довольно частые механические повреждения поверхностей

контакта сопряженных деталей при их относительном сдвиге под нагрузкой. Альтернативным механической запрессовке-распрессовке является гидропрессовый метод, допускающий проведение многократного монтажа-демонтажа напрессовок при незначительном снижении величины натяга в сопряжении.

Наиболее эффективно использование гидропрессования (гидрораспора) для сопряжений при диаметрах посадок 100 мм и более. Величина коэффициента трения при относительном сдвиге сопряженных с натягом деталей снижается с 0,15–0,17 до 0,002–0,005 (полужидкостное и жидкостное трение). Потребная мощность оборудования в 5–10 раз меньше, чем при механическом способе реализации сборки-разборки соединений. Указанные возможности позволяют относить гидропрессовые соединения к категории легкоразъёмных. Улучшению технологии монтажа-демонтажа соединений с натягом, снижению энергоёмкости и ресурсосбережению в механосборочных процессах уделяется постоянное внимание в научно-технической и патентной литературе.

**Основные результаты работы.** Одним из эффективных технических решений по совершенствованию технологии механической запрессовки-распрессовки при изготовлении и ремонте вагонных колёсных пар со сменой элементов является разработанное в БелГУТе устройство (патент Республики Беларусь на полезную модель ВУ 761 У) для распределения сдвигающего аксиального усилия на ось с целью снижения удельного давления на торец шейки (предотвращение смятия) и предотвращения несовпадения геометрических осей плунжера используемого пресса и соединённых или соединяемых с гарантированным натягом элементов колёсной пары. Использование предложенного гидрофицированного устройства дополнительно к применяемому прессовому оборудованию позволяет при помощи встроженных в упомя-

нутое устройство силовых элементов перераспределить аксиальное сдвигающее усилие: а) на торец оси колёсной пары; б) на кольцевую поверхность галтели (R20) шейки оси. Возможна также передача сдвигающего усилия только на кольцевую поверхность галтели шейки (без воздействия механической нагрузки на торец оси) при сбросе давления рабочей жидкости (РЖ) в силовой камере устройства. Решается задача ресурсосбережения и повышения качества механической запрессовки-распрессовки осей и колёс, исключается повреждаемость от смятия торцов шеек осей колёсных пар из-за их изгиба под сдвигающей нагрузкой.

Вторым решением рассматриваемого вопроса по совершенствованию механической запрессовки вагонных колёсных пар является улучшение условий смазки сопрягаемых поверхностей деталей выполняемых соединений с гарантированным натягом. Разработано в ОНИЛ «ТТОРЕПС» БелГУТа устройство для смазки поверхностей сопряжения осей и колёс, защищённое патентом на изобретение Республики Беларусь [1]. Оно позволяет обеспечить равномерность покрытия жидкой смазкой поверхностей сопряжения деталей (в масляной ванне), повысить качество механической запрессовки, прочность и надёжность получаемых соединений, исключить брак из-за недостатка и нестабильности смазки в зоне контакта деталей или неполного покрытия ею сопрягаемых поверхностей ступицы колеса и подступичной части оси. Эффективная механическая запрессовка осуществляется в условиях, исключающих сухое трение, при которых на поверхностях контакта деталей при относительном их смещении не прорывается пленка жидкой смазки («стуки» на индикаторной диаграмме запрессовки, характеризующие наличие брака при сборке, не наблюдаются).

Применение механической распрессовки цилиндрических соединений с гарантированным натягом приводит к повреждениям посадочных мест напрессовок и снижает долговечность охватываемых деталей сопряжений. Посадочные поверхности деталей соединений повреждаются вследствие сухого трения на поверхностях контакта. Известно, что решающее влияние на износ сопрягаемых поверхностей при их распрессовке оказывают удельное давление и величина коэффициента трения между этими поверхностями. Значительно улучшается демонтаж соединений при использовании способа гидросъёма. Этот способ распрессовки соединений заключается в создании между контактирующими поверхностями сопряжённых с натягом деталей масляной плёнки, находящейся под высоким давлением. Наличие на сопряжённых поверхностях масляной плёнки резко уменьшает коэффициент трения и обеспечивает демонтаж прессового соединения без повреждения посадоч-

ных поверхностей со значительным снижением аксиального сдвигающего усилия распрессовки. Благодаря высокому давлению подаваемого в прессовое соединение минерального масла происходят упругие деформации охватывающей и охватываемой деталей соединения, вследствие чего непосредственный контакт сопряжённых поверхностей почти полностью ликвидируется, и соединение с гарантированным натягом как бы превращается в соединение с зазором. При конструировании технологической оснастки для гидросъёма большое значение имеет выбор рациональной схемы подвода жидкой смазки в сопряжение, конструкции уплотнений и определение возникающих усилий от гидрораспора, для того чтобы обеспечивать достаточную жёсткость этих устройств.

Гидропрессовая технология демонтажа напрессовок с торцовым нагнетанием жидкой смазки (ГПТТ) в зону контакта деталей по сравнению с механической распрессовкой имеет ряд преимуществ: а) возможность осуществления процесса без повреждений поверхностей контакта в виде задигов, надрывов металла, рисок; б) снижение потребного аксиального усилия относительного сдвига соединённых с гарантированным натягом деталей; в) исключение необходимости применения громоздкого прессового оборудования большой мощности; г) возможность использования прогрессивной безрамной технологии разъединения деталей крупногабаритных сборочных единиц конструкций.

В данной работе рассматриваются технологические возможности использования навесных гидрофицированных устройств (модулей), базирующихся на объектах сборки-разборки крупногабаритных соединений. Критерием выбора гидрофицированной технологической оснастки является наиболее рациональное конструктивное решение, простота изготовления и удобство реализации.

Для гидропрессовой разборки напрессовок колёс на оси вагонных колёсных пар на существующем прессовом оборудовании при реализации расклинивающего эффекта масляной прослойки между контактирующими поверхностями сопряжённых с натягом деталей при их относительном сдвиге разработано в лаборатории «ТТОРЕПС» навесное гидрофицированное устройство (патент Республики Беларусь на полезную модель ВУ 4805 У). Устройство для разборки соединений включает в себя смонтированные на одном основании силовой гидравлический цилиндр с подвижной нажимной плитой и неподвижную опору используемого пресса. Ось с напрессованным на неё колесом размещается на указанной неподвижной опоре, а на упомянутой подвижной нажимной плите закрепляется рабочий гидроцилиндр навесного демонтируемого модуля, корпус которого со-

стоит из двух соосно скреплённых между собой цилиндров с рабочей полостью высокого давления рабочей жидкости (РЖ) и полостью относительно аксиального сдвига сопряжённых деталей демонтируемого соединения. Внутри указанных полостей размещён стаканообразный гладкий поршень-шток, на днище которого оппозитно закреплён удлинённый резьбовой соединительный стакан соосного скрепления поршня-штока с шейкой выпрессовываемой из ступицы колеса оси колёсной пары. Соединительный стакан размещён в полости высокого давления РЖ корпуса гидроцилиндра навесного модуля и концентрично охватывает шейку оси, при этом корпус этого гидроцилиндра своим открытым торцом прижимается на прокладке к торцу ступицы колеса при помощи силового гидроцилиндра используемого прессового оборудования.

При аксиальном перемещении скреплённого с шейкой оси поршня-штока (с подачей масла под давлением в полость сдвига корпуса навесного модуля) выполняется распрессовка соединения с натягом в условиях гидрораспора в сопряжении деталей от высокого давления (100–200 МПа) рабочей жидкости, нагнетаемой в рабочую полость корпуса устройства (после распрессовки масло удаляется из двух полостей корпуса навесного модуля через специальные сливные каналы). Рабочая и сдвигающая полости корпуса изолированы друг от друга при помощи кольцевого уплотнения высокого давления по наружной поверхности поршня-штока. Подача РЖ высокого давления в рабочую полость корпуса навесной гидроголовки (модуля) осуществляется от внешнего источника, например, от объёмных гидронасосов плунжерного типа ГНП-2500, УНГР-2000; мультипликатора ТРВ-3000 и др. Конструкция предложенного устройства позволяет осуществлять также и гидропрессовую сборку соединений (ГПТТ) колёс с осями при формировании колёсных пар.

Задачей дальнейшей разработки технологической оснастки для маслосъёма (ГПТТ) колёс с осей колёсных пар вагонов являлось обеспечение более удобного скрепления поршня-штока навесного модуля с шейкой выпрессовываемой оси, повышение производительности процесса и качества демонтажа соединений, снижение металлоёмкости конструкции, улучшение защиты рабочей полости от возможных утечек РЖ (повышение степени герметизации внутренних полостей корпуса гидрофицированного навесного модуля). Разработано «Устройство для распрессовки оси колеса», новизна и востребованность которого подтверждена полученным патентом Республики Беларусь на изобретение [2]. Эффективность данной конструкции заключается, прежде всего, в снижении воздействия РЖ высокого давления на кольцевое уп-

лотнение поршня-штока, повышении эффективности этого уплотнения при гидрораспрессовках во всем диапазоне размеров диаметров сопряжения демонтируемых соединений с применением сменных соединительных резьбовых стаканов на поршень-штоке в рабочей полости корпуса навесного устройства.

Разработано новое автономное гидрофицированное устройство для разборки прессовых соединений вагонных колёсных пар (патент Республики Беларусь на изобретение [3]). Необходимость такого устройства обусловлена увеличением отказов в эксплуатации вагонных колёсных пар по состоянию ободов цельнокатаных колёс (тонкий обод, минимальная толщина 22 мм для грузовых вагонов), согласно требованиям ТНПА, и недостающими производственными мощностями вагоноремонтных заводов и ряда депо Белорусской железной дороги, выполняющих переформирование напрессовок для использования старогодных осей. Возникают трудности в хранении неисправных колёсных пар в депо, нельзя использовать имеющиеся в наличии исправные старогодные оси для ремонта со сменой цельнокатаных колёс.

Предложенное гидропрессовое (ГПТТ) расформирование соединений с натягом колёсных пар позволяет реализовать безрамную технологию разборки крупногабаритных напрессовок по принципу «станок-на-деталь». Особенностью указанного устройства является конструктивное исполнение кольцевого уплотнения высокого давления поршня-штока рабочего гидроцилиндра с использованием полимерных (фторопласт) и латунных колец, нажимной гайки для сжатия дополнительных резиновых колец уплотнения поршня. Базирование на объекте разборки навесной гидрофицированной технологической оснастки и управление ею в пространственном положении позволяет, в большинстве случаев, обеспечить более высокую функциональную точность при осуществлении новой прогрессивной технологии демонтажа, а также повысить качество распрессовки соединений, снизить затраты на механическую обработку подступичных частей старогодных осей, исключить необходимость применения используемого в ремонтной практике громоздкого и мощного прессового оборудования.

Необходимо учитывать при гидрораспоре в сопряжении особенности силового нагружения охватываемой детали соединения, обусловленные давлением РЖ с торца сопряжения. В практике судоремонта и ремонта локомотивов при использовании гидрораспора для расчёта основных параметров гидропрессования применяют эмпирические зависимости. Например, в разработках ВНИТИ предложена эмпирическая зависимость  $p_{mi} = 1,8p_k + 20$ , где  $p_k$  – контактное давление, МПа, в сопряжении, обуслов-

ленное величиной натяга спрессовываемого соединения;  $p_{mi}$  – потребное давление нагнетания рабочей жидкости в соединение деталей с гарантированным натягом для создания гидрораспора в зоне сопряжения их поверхностей контакта [4].

Теоретическое исследование распределения давления нагнетаемой в сопряжение гидросреды по длине посадки представляет собой, по существу, решение задачи о деформациях деталей под воздействием давления жидкости и гидродинамической задачи о её движении в деформированном зазоре при разности давлений на входе в соединение и на границе посадки. Указанные условия аналогичны условиям контактно-гидродинамической задачи, прямое решение которой приводит к весьма сложной системе интегральных уравнений. В лаборатории «ТТОРЕПС» разработана методика решения задачи контактной трибомеханики при гидрораспоре в зоне сопряжения деталей с гарантированным натягом при осуществлении торцового нагнетания смазки (ГПТТ). При величине давления  $p_{mi}$  нагнетания РЖ в месте её подвода в соединение, равной значению контактного давления  $p_k$  под посадкой, несколько выравнивается удельное давление по поверхности сопряжения.

При повышении давления торцового нагнетания РЖ под действием возникающих сил от гидрораспора внутренний диаметр втулки несколько увеличивается, а диаметр вала (оси) уменьшается, образуется зазор, заполненный жидкой смазкой. Силы сопротивления сдвигу в каждом конкретном случае гидрораспрессовки будут различны. При торцовом нагнетании РЖ в сопряжение необходимо учитывать особенности нагружения деталей давлением гидросреды. При малых значениях давления нагнетания возникает контактное трение в результате непосредственного соприкосновения металлических поверхностей сопряжённых с натягом деталей. При появлении металлического контакта в условиях непрерывной смазки деталей РЖ переформирование микропрофиля поверхностей сопряжения за счёт смятия неровностей будет протекать неравномерно. В теоретическом решении контактно-гидродинамической задачи при осуществлении ГПТТ должно быть учтено влияние микрогеометрии деталей соединения на характер изменения давления гидросреды по длине зоны жидкостного контакта (ЗЖК). Точное теоретическое решение задачи по гидрораспору в соединении осложняется тем, что исследование вопроса о проникновении жидких сред в зону контакта сопряжённых с натягом деталей находится на стыке наук (закономерности физических процессов при гидрораспоре осложняются упругим взаимодействием деталей посадки).

Учитывая сложность постановки задачи и многочисленные факторы, влияющие на процесс ГПТТ, рассматривалась модель: цилиндрическая втулка конечной длины равномерно обжимает бесконечно жёсткий вал (ось), между валом и втулкой находится сжатая вязкая жидкая среда, описываемая уравнениями Навье-Стокса. Используя предположение, что на элементарной длине деформированного давлением гидросреды зазора движение жидкой смазки подчиняется законам движения в зазоре правильной цилиндрической формы, уравнения Навье-Стокса, преобразованные в силу полной симметрии напрессовки при соответствующих граничных условиях и исключении инерционных членов, сохраняются в данном случае. Таким образом, остаются действительными выводы, основанные на этих уравнениях, только они будут справедливы для деформированного зазора в зоне сопряжения элементарной длины. По известной методике решения дифференциальных уравнений определяется скорость перетекания РЖ в рассматриваемом зазоре, а затем находится выражение для секундного объёма. Выполнив ряд преобразований (интегрирование по частям, разложение функций в степенные ряды, арифметические действия над рядами) получаем выражение для определения расхода жидкости ( $Q$ ) в зоне сопряжения.

Предложенное приближённое аналитическое решение заключается в следующем. Исходя из осесимметричной деформации концентрично скреплённых между собой толстостенных цилиндров (решение Гадолина-Ляме), находим теоретическую зависимость деформируемого зазора в сопряжении от давления гидросреды в зоне контакта деталей  $H = H(p)$  и подставляем полученную зависимость в выражение расхода жидкости ( $Q$ ), протекающей в указанном зазоре, и функция записывается в дифференциальной форме для элементарного участка  $dl$  кольцевого сужающегося зазора в сопряжении. Интегрированием находится уравнение расхода для всего упомянутого зазора в сопряжении и на рассматриваемом участке длины посадки с гарантированным натягом при соответствующих перепадах давления используемой РЖ при гидрораспрессовании (ГПТТ). Совместное решение указанных двух уравнений позволяет теоретически установить закономерность распределения гидродинамического давления жидкой смазки (РЖ) в сопряжении с гарантированным натягом при реализации ГПТТ.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать при расчётах процесса гидрораспора в сопряжении деталей с торцовым нагнетанием РЖ использовать полученную аналитическую зависимость для определения величины потребного давления  $p_{mi}$  нагнетания РЖ с торца сопряжения с учётом влияния шероховатости поверхностей кон-

такта ( $R_{z1}$  и  $R_{z2}$ ) охватываемой и охватывающей деталей соединения:

$$p_{mi} = p_k \left[ 1 + \frac{1}{\sqrt{\sqrt{1 - (l_z / l_0)}}} (\omega_k - 1) \right],$$

где  $p_k$  – контактное давление в соединении с гарантированным натягом;  $\omega_k = p_{mz} / p_k$  – степень сжатия масла в деформируемом зазоре при гидрораспоре в зоне сопряжения;  $p_{mz}$  – давление РЖ в рассматриваемом поперечном сечении на длине  $l_z$  от входа гидросреды в деформированный зазор, заполненный жидкой смазкой;  $l_0$  – полная длина упомянутого монтажного зазора в сопряжении деталей.

Степень сжатия  $\omega_k$  жидкой смазки в зазоре при гидропрессовании определяется из указанного выше соотношения давлений с использованием известной зависимости для расчёта величины контактного давления  $p_k$  в сопряжении диаметром  $d$  при заданном натяге соединения  $\delta$  при наружном диаметре  $d_n$  охватывающей детали и показателях шероховатости контактирующих поверхностей. Величина  $\omega_k$  должна быть не менее расчётного значения согласно полученному общему выражению  $\omega_k = 1 + 2(R_{z1} + R_{z2})\delta^{-1}$ .

При известном соотношении давления нагнетания РЖ с торца напрессовки и контактного давления под посадкой от натяга в сопряжении ( $\omega_i = p_{mi} / p_k$  – степень повышения давления нагнетания РЖ) получаем зависимость для определения давления масляной прослойки в зоне контакта охватывающей и охватываемой деталей сопряжений на заданной длине от входа жидкой смазки (РЖ) в напряжённо-деформированном соединении при осуществлении технологической опрессовки

$$p_{mz} = p_k \left[ 1 + (\omega_i - 1) \sqrt{\sqrt{1 - (l_z / l_0)}} \right].$$

Получено 28.04.2011

### **R. I. Chernin.** Perfection of formation and dismantle of wheel pairs cars.

For perfection of machine-assembling processes at manufacturing and repair of wheel pairs cars with roller bearings small-sized hinged devices for realisation of technology with face forcing of greasing for assemblage-dismantling of connections with the guaranteed tightness of seamless-rolled wheels with axes are offered. Conformity of the offered technical decisions to conditions of novelty and industrial applicability proves to be true patents for inventions. The received analytical approached dependence of distribution of pressure in a liquid layer in a zone of contact of details in interface is resulted.

**Заклучение.** В приближенном теоретическом решении частной контактно-гидродинамической задачи при осуществлении процесса ГПТТ предусмотрена возможность обобщённого учёта влияния качества механической обработки (микрорельефа) поверхностей контакта деталей в сопряжении на характер изменения давления гидросреды по длине зоны жидкостного контакта в соединениях с натягом. Соответствие предложенных технических решений условиям новизны и промышленной применимости подтверждается патентами на изобретения.

Внедрение в производство предложенной технологической оснастки и методики расчёта основных технологических параметров процесса гидрораспора в соединениях с гарантированным натягом позволяет повысить качество механосборочных работ и эффективность производства, обеспечить значительное ресурсосбережение и рациональное использование производственных площадей предприятий, повысить безопасность движения на железнодорожном транспорте.

#### Список литературы

- 1 Пат. 13117 Республика Беларусь, МПК<sup>7</sup> В 60В 37/00, F 16Н 57/04. Устройство для смазки поверхностей сопряжения осей и колёс при механической запрессовке колёсных пар / Чернин И. Л., Чернин Р. И.; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № а20071081 ; заявл. 31.08.07 ; опубл. 30.04.10, Афіц. бюл. № 2(73) / Дзярж. пат. кам. Рэсп. Беларусь. – С. 73–74 : 1 ил.
- 2 Пат. 13903 Республика Беларусь, МПК<sup>7</sup> В 23Р 19/02. Устройство для распрессовки оси колеса / Сенько В. И., Чернин И. Л., Чернин Р. И.; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № а20080127 ; заявл. 05.02.08 ; опубл. 30.12.10, Афіц. бюл. № 6(77) / Дзярж. пат. кам. Рэсп. Беларусь. – С. 80 : 1 ил.
- 3 Пат. 13912 Республика Беларусь, МПК<sup>7</sup> В 23Р 19/02. Устройство для распрессовки оси колеса / Сенько В. И., Чернин И. Л., Чернин Р. И.; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № а20080306 ; заявл. 14.03.08 ; опубл. 30.12.10, Афіц. бюл. № 6(77) / Дзярж. пат. кам. Рэсп. Беларусь. – С. 80–81 : 3 ил.
- 4 Гречишев, Е. С. Соединения с натягом / Е. С. Гречишев, А. А. Ильяшенко. – М. : Машиностроение, 1981. – 247 с.