



13. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики : пер. с англ. М. : Мир, 2001. 604 с.
14. Пашков В.П., Зотов И.Н., Пыхалов А.А. Моделирование механических систем с неопределёнными свойствами материала с применением метода конечных элементов и компьютерной томографии // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 2 (42). С. 44–50.
15. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / под ред. И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. М. : Наука, 1981. 720 с.

УДК 62-25

**Ярилов Виталий Евгеньевич**,  
аспирант кафедры «Научно-инженерные дисциплины»,  
Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита,  
тел. 8 (964) 464-41-41, e-mail: Sauron1990@bk.ru

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНИЧЕСКИХ РК-3 ПРОФИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

V. E. Yarilov

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF CONICAL PG-3 PROFILE COMPOUNDS

**Аннотация.** В статье рассмотрены моментопередающие РК-3 профильные соединения, которые являются важными сборочными единицами деталей машин и применяются в силовых и кинематических цепях различных механизмов. Однако что хорошо изученные неподвижные РК-3 профильные соединения с натягом является неразборными, при ремонте данной сборочной единицы (например, зубчатого венца колеса) представляет существенный технологический недостаток соединения. Данную проблему возможно решить, например, путем замены выше приведенного соединения на разъемное коническое РК-3 профильное соединение. Профильная кривая контактирующих поверхностей обеспечит высокую прочность и жесткость соединения при передаче крутящего момента от ступицы к валу при незначительных усилиях сборки конического соединения. Как было указано выше, хорошо исследованы неподвижные цилиндрические РК-3 профильные соединения с гаран-тированным зазором и натягом. В то же время остается ряд нерешенных задач расчета и конструирования разъемных непо-движных РК-3 профильных соединений, выполненных по коническим поверхностям. К ним можно отнести определение величин упругих перемещений и положение вала относительно оси отверстия во втулке, которые определены в результате натурных экспериментов, выполненных на специальном нагрузочном приспособлении. В данной работе представлены результаты исследований конических РК-3 профильных соединений при разных силах закрепления и внешней нагрузке. Определены упругие перемещения деталей соединения. Выполнено построение нескольких графических зависимостей, показывающих влияние сборочного усилия, конусности внешних нагрузок на точность и жесткость РК-3 профильного соединения. Сформулированы основные выводы.

**Ключевые слова:** РК-3 профильные соединения, точность и жесткость соединений.

**Abstract.** The article considers cross-sectional moment-driving PG-3 joints which are important assembly units of details of machines and are applied in power and kinematic chains of various mechanisms. However, the cross-sectional motionless PG-3 joints with a tightness which are well studied are non-demountable, and, therefore, at repair of this assembly unit (for example, a ring gear of a wheel) this fact represents an essential technological lack of joint. It is possible to solve this problem, for example, by replacement the above mentioned by releasable conical PG-3 joint. The cross-sectional curve of the contacting surfaces will provide high strength and ruggedness of joint at torque transfer from a nave to a shaft at insignificant efforts of assembling the conical joint. As it was stated above, motionless cylindrical PG-3 cross-sectional joints with the guaranteed spacing and a tightness are well investigated. At the same time, PG-3 of the cross-sectional joints executed on conical surfaces remains a number of unresolved problems of calculation and designing releasable motionless. It is possible to refer determination of sizes of elastic conveyances and the provision of a shaft concerning a bore shaft in the barrel which are defined as a result of the natural experiments executed on special load adaptation to them. In this work, results of conical PG-3 cross-sectional joints probes with the different forces of fixing and external loading are presented. Elastic conveyances of details of a joint are defined. Creation of several graphic dependences showing influence of assembly effort, conicity of external loads of accuracy and ruggedness of PG-3 of cross-sectional joint is executed. The main conclusions are formulated.

**Keywords:** PG-3 profile connections, accuracy and stiffness of compounds.

#### Введение

В настоящее время продолжают исследования в области совершенствования конструкций моментопередающих соединений и технологии их изготовления. Повешение эксплуатационной надежности моментопередающих соединений путем замены традиционно используемых шлицевых и шпоночных на профильные нашли широкое применение в ряде промышленных стран (Российская Федерация, Германия, Венгрия, Франция и США). Известно, что данные соединения используются в различных механизмах и машинах. Областью применения этих соединений являются

редукторы общего назначения, коробки переключения скоростей, гитары станков и другие механизмы. Наряду с применением известных РК-3 профильных соединений получают распространение и конические профильные соединения, внедрение которых сдерживалось в основном сложностью их изготовления, но которые однако, достаточно успешно нашли применение в ряде промышленных стран, таких как Германия и США. Одной из основных причин, сдерживавших внедрение конических РК-3 профильных соединений, являлась малопродуктивная технология изготовления деталей соединения. В 2007 г. данная

задача успешно была решена в работе Н. В. Зенина [1], который предложил способ высокоскоростного фрезерования на станках с ЧПУ как валов, так и отверстий конической и цилиндрической профильной формы в условиях серийного производства. Таким образом, задача изготовления контроля была решена, но проблема отсутствия сведений о методике расчета и конструировании конических РК-3 профильных соединений, а именно выборе и назначении конструктивных параметров при заданных внешних нагрузках и условиях эксплуатации соединения (например, многоразовая сборка и разборка), осталась не решенной в полной мере. Особую актуальность и новизну данная задача имеет при применении данных соединений в металлорежущем оборудовании, где требуется многократная сборка и разборка соединения при одновременном обеспечении высокой точности положения вала с конической профильной посадочной поверхностью и жесткости соединения. В настоящее время известны отдельные примеры использования данных соединений с конусностью 1:10 и 1:20 в Германии. Одной из причин замены традиционно используемых конических соединений с базовой конусностью 7:24 на профильные является прежде всего обеспечение неподвижности деталей соединения: отсутствие проворота, лучшая центрируемость по профильным поверхностям с равноосным контуром, уменьшение посадочной длины ступицы (втулки), а также высокая жесткость стыков соединения. Если первое преимущество, а именно неподвижность, очевидно в силу геометрического замыкания профилей, то центрируемость для конических РК-3 профильных поверхностей в силу разного соотношения среднего посадочного диаметра и эксцентриситета необходимо исследовать. Уменьшение длины посадочной поверхности может быть использовано в сборочных единицах типа глухих втулочных муфт, где при малых оборотах нет жестких требований к точности положения соединяемых деталей. Из анализа работ, посвященных изучению напряжений и деформаций при контактном взаимодействии твердых тел разнообразных форм, следует, что исследования в области расчета и конструирования точности и жесткости неподвижных разъемных конических РК-3 профильных соединений не проводились в полной мере, а известные из теории упругости решения подобных задач при учете погрешности формы деталей соединения не могут быть непосредственно использованы в рассматриваемом случае.

### Эмпирические исследования

Известны примеры применения конических РК-3 профильных соединений в различных узлах и механизмах машин, таких как, например, карданные и коленчатые валы, компрессорные установки, глухие втулочные муфты. В результате проведенного анализа работ применение традиционных и профильных соединений установлено, что конические РК-3 профильные соединения не исследованы и информация о них просто отсутствует (рис. 1).

Экспериментальные исследования конических РК-3 профильных соединений проведены для определения упругих перемещений деталей соединения с целью оценки влияния (сил закрепления) сборочных сил и внешних нагрузок.



**Рис. 1. Конструктивные виды РК-3 профильных деталей типа «вал» и «втулка» конических соединений**

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории М100 на базе Забайкальского государственного университета.

Используемое оборудование:

*Оптическая делительная головка* ОДГ-10 – предназначена для угловых измерений и делительных работ. С ее помощью определялась погрешность формы образцов. По результатам эксперимента детали соответствовали 5-му классу точности (AT5). Предельная погрешность формы составила не более 40 мкм, а прямолинейность образующей конуса лежит в пределах линии сетки, то есть не более 8 мкм.

*Большой инструментальный микроскоп* модели БМИ-1. На нем были определены углы уклона конических РК-3 профильных валов различной конусности (рис. 2).



Рис. 2. Измерение угла уклона на большом инструментальном микроскопе БМИ-1

Токарно-винторезный станок повышенной точности модели 16Б25ПСП. На его базе был сделан стенд для определения упругих перемещений деталей соединения с целью оценки влияния (сил закрепления) сборочных сил и внешних нагрузок (рис. 3)



Рис. 3. Измерение упругих перемещений конического РК-3 профильного соединения на станке повышенной точности модели 16Б25ПСП

Проведение экспериментальных исследований с целью определения величины упругих перемещений (отжатий) конического РК-3 профильного вала и сравнение с аналитическими расчетами было выполнено на базе токарно-винторезного станка повышенной точности, на котором установили нагрузочное устройство, представленное на рис. 3.

При этом в условиях ВРД (вагонно-ремонтного депо) были изготовлены детали конических РК-3 профильных соединений, которые по результатам измерений и требованию условий эксперимента соответствовали 5-му классу точности (АТ5) для конических круглых деталей. Предварительно деталь была измерена на соответствие заданным параметрам: а именно был определен

угол уклона конического РК-3 профильного вала на большом инструментальном микроскопе, а также погрешность формы поперечных сечений.

Исследования проводились по следующим параметрам:

1. Величины сборочной силы – 500; 700; 900 Н (определялись путем затяжки динамометрическим ключом).

2. Величины внешней силы – 600; 900; 1200 Н (определялись с помощью динамометра образцового на сжатие ДОС 0,3 системы Токаря и индикатора часового типа).

3. Величину упругих перемещений определяли с помощью измерительной головки и индикатора часового типа.

#### Анализ полученных результатов

По результатам эксперимента построены графические зависимости упругих перемещений конического РК-3 профильного вала (рис. 4, 5).

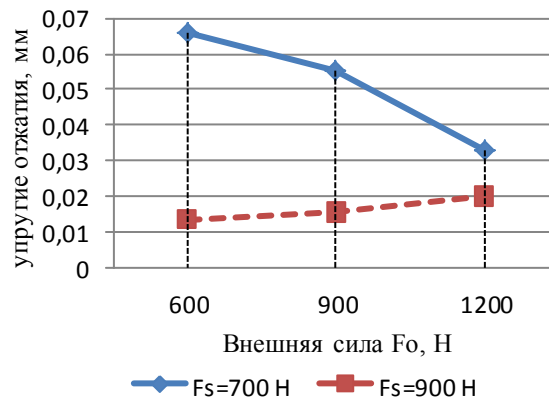


Рис. 4. Упругие перемещения вала от действия внешней силы  $F_0$  при конусности 1:20

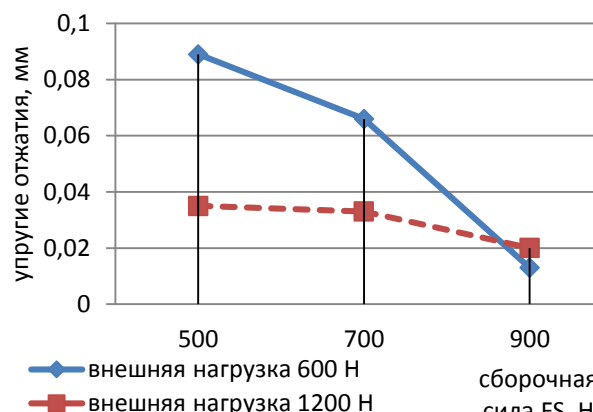


Рис. 5. Упругие перемещения вала в коническом РК-3 профильном соединении конусностью 1:20 при различных силах закрепления  $F_S$

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил установить зависимость упругих перемещений конического РК-3 профильного вала в зависимости от сил закрепления и



внешней нагрузки для конусности 1/20. Проведенная проверка по критериям Фишера и Стьюдента установила, что результаты аналитических расчетов при 5%-ном уровне значимости адекватны описываемому процессу контактного взаимодействия деталей конического РК-3 профильного соединения.

#### **Заключение**

1. Установлено, что при величине сборочной силы 900 Н обеспечивается более высокая точность положения деталей конического РК-3 профильного соединения при внешней нагрузке от 600 до 1200 Н.

2. Установлено, что при увеличении внешней нагрузки упругие перемещения конического РК-3 профильного вала носят нелинейный характер.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Зенин Н.В. Технологическое обеспечение качества трехгранного профиля бесшпоночных соединений в условиях серийного производства : дис. ... канд. техн. наук. М. : МГТУ им. Баумана, 2007. 132 с.
2. Линейцев В.Ю., Ильиных В.А. Имитационное моделирование деталей конического соединения на основе РК-3 профильных кривых // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 2 (46). С. 51–55.
3. Ильиных В.А. Расчет и выбор конструктивных параметров профильных соединений с равноосным контуром : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. : МВТУ, 1987. 16 с.
4. Ильиных В.А., Косов М.Г. Исследование напряженного состояния РК - профильного соединения поляризационно-оптическим методом // ВИНТИ. 1985. №. 8. С. 36.
5. Ильиных В.А., Косов М.Г. Оценка влияния конструктивных параметров на напряженное состояние стыков РК - профильных соединений поляризационно-оптическим методом // Вестник машиностроения. 1990. № 11. С. 64–66.
6. Ильиных В.А., Новосельский М.И. Выбор и назначение радиального зазора в профильном соединении с равноосным контуром // Станки и инструменты. 1985. № 12. С. 26–27.
7. Тимченко А.И. Профильные бесшпоночные соединения с равноосным контуром, их достоинства, недостатки, область применения и этапы внедрения. // Вестник машиностроения. 1990. № 11. С. 43–50.
8. Рожкова Е.А., Ильиных В.А., Линейцев В.Ю. Расчет на прочность РК-3-профильных соединений с натягом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 2. С. 17–20.
9. Максютин А.М., Линейцев В.Ю. Обработка результатов имитационного моделирования сопряжения РК-3 профильных конических поверхностей // Молодой ученый. 2016. № 26 (130). С. 58–63.
10. Линейцев В.Ю. Контактная прочность, жесткость и точность разъемных неподвижных конических соединений в инструментальных системах : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2006.
11. Свидетельство 5948. Моделирование сопряжения деталей конического соединения / Линейцев В.Ю., Ильиных В.А., Лукьянов П.Ю. ; зарегистрир. 30.03.2006.
12. Пат. 142049 Профильное соединение вал-ступица с равноосным контуром с натягом / Е.А. Рожкова, В.А. Ильиных, В.Ю. Линейцев.
13. Пат. 155119 Рос. Федерация. Модифицированное профильное моментопередающее соединение вал-ступица с равноосным контуром с натягом / В.А. Ильиных, Е.А. Рожкова, В.Ю. Линейцев.
14. Пат. 164678 Рос. Федерация. Глухая втулочная муфта на основе профильного конического соединения / В.А. Ильиных, Е.А. Рожкова, В.Ю. Линейцев, В.Е. Ярилов.
15. Рожкова Е.А., Ильиных В.А. Экспериментальные исследования РК-3 профильных соединений с натягом // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2013. Т. 2. С. 349–352.