

УДК 621.757

**А.Ю. Тараховский, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**tm@sevnu.com.ua***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРКИ  
УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

*В статье описывается проведение эксперимента и анализируются полученные результаты для процесса сборки уплотнительных соединений типа «эластичный кольцевой элемент – канавка отверстия» при деформации эластичного кольцевого элемента выступом внутрь.*

**Ключевые слова:** *уплотнительное соединение, эластичный кольцевой элемент, канавка отверстия, деформация.*

В процессе производства изделий ведущая роль принадлежит сборке как завершающему этапу, на котором формируются основные показатели качества, надежность и долговечность при эксплуатации выпускаемых объектов. Однако анализ тенденций развития машиностроения в последние годы показывает, что даже в таких высокоавтоматизированных отраслях, как автомобилестроение и тракторостроение, сборка по трудоемкости занимает второе место после механообработки. В общей структуре трудоемкости изготовления машин она составляет 35-60% общей трудоемкости и превышает затраты труда на всех этапах производства [1].

Широкое распространение получили сборочные единицы вида «эластичный кольцевой элемент – внутренняя канавка». В производстве уплотнительные кольца устанавливаются во внутреннюю канавку цилиндрической поверхности деталей вручную. При установке имеет место закручивание кольца вокруг оси его сечения, и в процессе эксплуатации изделия происходит быстрый (20 – 100 срабатываний) разрыв уплотнения и потеря герметичности соединения, что приводит к выходу из строя всей конструкции, и необходимости ее внепланового ремонта, в то время как качественно установленное уплотнение может работать от  $5 \cdot 10^3 \dots 10^9$  циклов [2]. Анализ причин негерметичности уплотнения кольцами круглого сечения показывает, что около 30 % дефектов возникает из-за повреждения колец при сборке.

В условиях мелко- и среднесерийного производства, являющегося преобладающим в отечественной промышленности на сегодняшний день, высокий уровень качества и эффективности сборочного производства может быть достигнут за счет разработки и внедрения нового сборочного оборудования.

При сборке уплотнительного соединения (УС) кольцо не должно претерпеть значительных деформаций. Не допускаются, согласно требованиям ГОСТа, перекосы и установка кольца в скрученном состоянии.

Условия сборки УС в значительной мере зависят от геометрии собираемых деталей. Влияние характеристики базовой детали можно снизить, выполняя все элементы сборочной операции без контакта эластичного кольца с уплотняемой поверхностью. Именно этим обосновывается необходимость проведения сопряжения кольца с канавкой базовой детали с зазором. Кроме того, при подаче кольца к канавке с зазором упрощается сам сборочный процесс, что особенно важно для технологии гибкого автоматизированного производства. Установка кольца в свободном состоянии, без закручивания, способствует также значительному повышению качества, надежности и долговечности уплотнительного устройства, а значит и качества машины в целом.

В связи с этим, первоочередным является выбор способа деформирования кольца для эффективного уменьшения его габаритных размеров, что позволило бы вписать кольцо в ЦОП с зазором. Такая задача решается, когда кольцу обеспечивается прогиб выступом внутрь. Соответствующая данному случаю, деформация показана на рисунке 1. Здесь наружный упор 1 обеспечивает изгиб кольца внутрь, так что соответствующая точка  $M_1$  упругой линии приближается к точке  $M_4$  противоположного участка; внутренние же упоры 2 и 3 максимально сводятся друг к другу и симметричные участки кольца касаются в соответствующих точках  $M_2$  и  $M_3$ .

После деформации кольцо можно подавать к канавке базовой детали деформирующим органом без контакта с уплотняемой поверхностью. Возможность разрушения или закручивания кольца исключаются, так как кольцо подается к канавке с зазором. Увеличивается и жесткость кольца, заневоленного упорами деформирующего органа. В таких условиях комплекс из исполнительного механизма и деформированного им эластичного кольца можно условно считать жесткой присоединительной деталью.

Цель исследования – определить координаты точек упругой линии при различных положениях деформирующих упоров для оценки радиуса описанной окружности.

Другая цель исследования при деформировании кольца выступом внутрь – определение силовых параметров приводных органов исполнительного механизма. Для этого необходимо измерить усилия, воспринимаемые упорами при деформировании эластичного кольцевого элемента.

Исследования необходимо проводить для колец с геометрическими параметрами

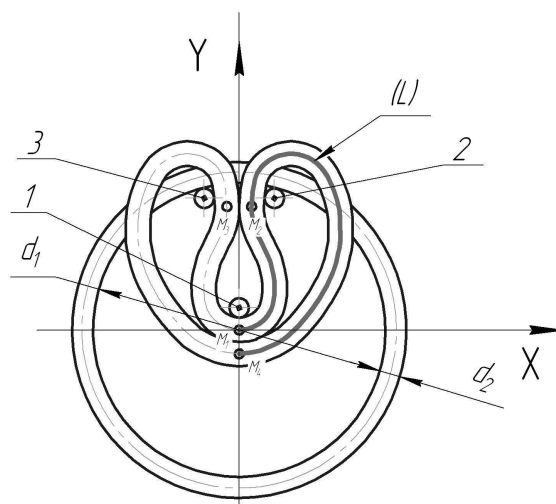
$$\frac{d_2}{0,5 \cdot (d_1 - d_2)} = 0,1 \div 0,3.$$


Рисунок 1 – Упругая линия деформированного кольца при минимальном радиусе

Определять координаты точек упругой линии деформированного кольца, которое неподвижно располагается на упорах экспериментального стенда визуально можно различными методами. Например, можно использовать простую координатную сетку или универсальный ручной инструмент. Первый метод обеспечивает абсолютную погрешность порядка 1 мм, приводящий к относительной погрешности линейных параметров до 25 %, что делает применение метода невозможным. Второй метод, позволяющий повысить точность измерений в 3...4 раза, является трудоемким и неэффективным. Наиболее приемлемыми являются использование координатно-измерительной машины портального типа с управлением от ЭВМ, которую и будем использовать в данном случае.

Стенд содержит координатно-измерительную машину портального типа с управлением от ЭВМ, на столе которой закреплено деформирующее устройство, связанное с регистрирующей аппаратурой для измерения усилий при деформации (рисунок 2).

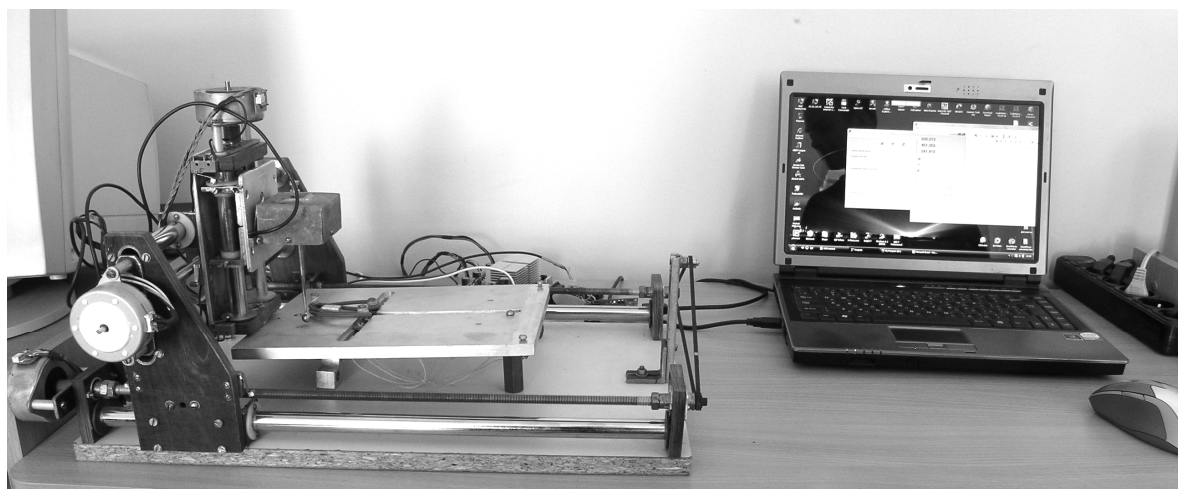


Рисунок 2 – Экспериментальный стенд для исследования деформации кольца выступом внутрь

На рисунке 3 подробно раскрыто деформирующее устройство. Оно содержит основание 1 с крестообразным пазом, в котором размещены ползуны 2, 3 и 4. Ползун 2 перемещается винтовым механизмом 5, установленным на нижней стороне основания, а установка ползун 3 и 4 осуществляется по калибрам. На ползунах установлены специально изготовленные тензометры, представляющие собой упругие плоские балочки 6 с наклеенными на них с двух сторон тензорезисторами (на рисунке не показаны), соединенными по мостовой схеме. Это позволяет компенсировать температурные погрешности и повысить коэффициент передачи. На концах балочек установлены упоры: упор 7 на балочке ползуна 2 и упоры 8 и 9 на балочках ползун 3 и 4. Причём балочки на ползунах 3 и 4 могут быть установлены в двух взаимно перпендикулярных пазах ползун. Балочка на ползуне 2 не переустанавливается и занимает положение, показанное на рисунке. Изготовлены балочки из стали 65Г и имеют следующие габариты: 45х7х0,7 – для наружного упора и 25х7х0,7 – для внутренних упоров. Каждый изготовленный тензометр торировался в координатах «Усилие на конце балочки – перемещение луча осциллографа». На рисунке 4 приведены тарировочные графики.

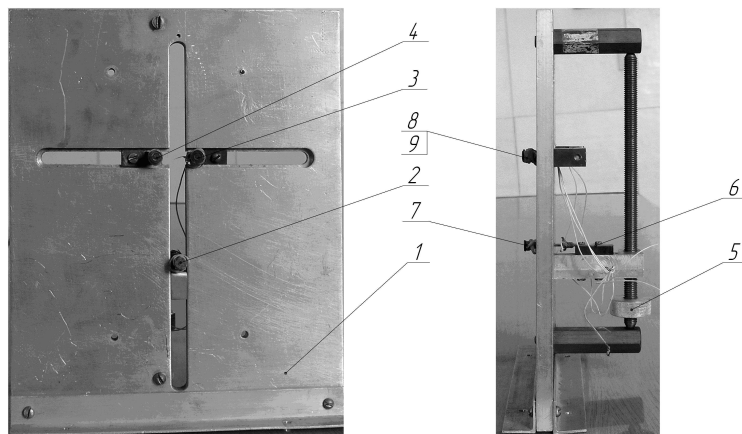


Рисунок 3 – Устройство для исследования деформации кольца выступом внутрь

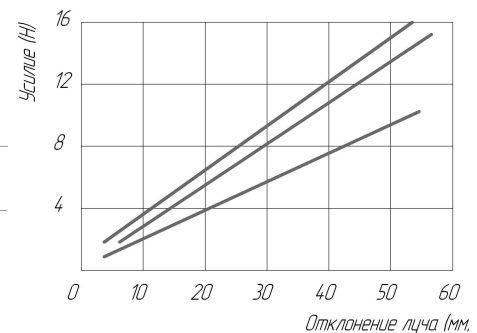


Рисунок 4 – Тарировочные графики

Работа на экспериментальном стенде производится следующим образом. Исследуемое кольцо предварительно деформируется и устанавливается на упоры, как это показано на рисунке 5. При этом плоскости всех балочек параллельны друг другу. С помощью координатно-измерительной машины производим замеры координат точек упругой линии кольца. Затем винтовым механизмом изменяем положение упора 7 и повторяем замеры. Одновременно с этим производим измерения усилий, воспринимаемых упорами. Причем измерение усилий, действующих на упоры 8 и 9 производим в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, для чего балочки ползун 3 и 4 переставляются перпендикулярно плоскости балочки ползуна 2. Как показали исследования, увеличение расстояния между внутренними упорами за счет изгиба балочек практически не изменяет величину усилия (погрешность лежит в пределах 1%).

Используемое в стенде стандартное оборудование:

Координатно-измерительная машина (точность измерений 0,1 мм).

Осциллограф С1-19Б.

Тензорезисторы 2ПКБ-10-200 гВ.

Фотокамера OLYMPUS.

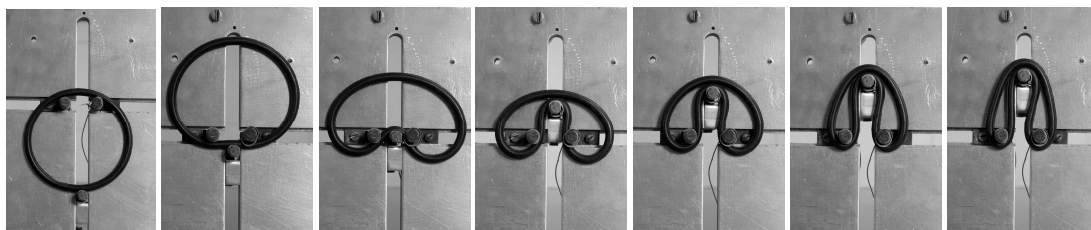


Рисунок 5 – Этапы деформирования кольца

Согласно рекомендациям [3] для проведения двухфакторного эксперимента (вариация параметров координат упоров) был выбран план 22 с повторением каждой точки не менее 3-х раз (таблица 2) в диапазонах, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Диапазоны варьирования параметров для кольца резинового уплотнительного круглого сечения (ГОСТ 9833-73)  $d_1 = 83,5$  мм,  $d_2 = 5,8$  мм

| Контролируемые перемещения                      | Нижний уровень | Верхний уровень |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| Величина перемещения наружного упора $h^*$ , мм | - 40           | 50              |
| Величина смещения внутреннего упора $B_2$ , мм  | 6              | 24              |

Для математического описания процесса выбрана традиционная в технологии машиностроения линейная зависимость вида [4]

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2,$$

где  $x_1, x_2$  – значения варьируемых параметров;  $a_0, a_1, a_2$  – эмпирические коэффициенты.

Среднее значение контролируемого параметра  $\bar{y}_i$  в каждой из  $N$  точек плана определяли по данным четырех измерений (повторяемость  $m = 3$ ). Для оценки отклонений контролируемых параметров от среднего значения по данным  $m$  наблюдений вычисляли дисперсию воспроизводимости  $S^2\{y_i\}$ . При проверке гипотезы однородности дисперсий использовали  $G$  – критерий Кохрена, равный отношению максимальной дисперсии  $S^2\{y_i\}_{\max}$  к сумме дисперсий  $\sum_{i=1}^N S^2\{y_i\}$ . Задаваемый уровень значимости  $\alpha = 0,05$ , число степеней свободы  $f_1 = m - 1 = 2$ ,  $f_2 = N = 4$ . Вследствие однородности, дисперсии усредняли. Коэффициенты регрессии  $a_k$  определяли умножением данных  $\bar{y}_i$  на данные  $x_{ik}$  в кодовых обозначениях с последующим делением полученного произведения на общее число точек в плане матрицы  $N$ .

Таблица 2 – Значение интервалов варьирования переменных и результаты обработки данных по исследованию деформации резинового уплотнительного кольца 085-095-58 по ГОСТ 9833-73

| Контролируемые переменные |                             |       |       |          | $h^*$ , мм                                        | $B_2$ , мм |          |             |              | Аппроксимирующая зависимость                      |             |                                     |                               |
|---------------------------|-----------------------------|-------|-------|----------|---------------------------------------------------|------------|----------|-------------|--------------|---------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Верхний уровень           |                             |       |       |          | 50                                                | 24         |          |             |              | $Y' = 34,325 - 0,912 \cdot x_1 - 0,874 \cdot x_2$ |             |                                     |                               |
| Нижний уровень            |                             |       |       |          | -40                                               | 6          |          |             |              |                                                   |             |                                     |                               |
| №<br>точ-<br>ки           | Контролируемые<br>параметры |       |       |          | Результаты эксперимента и<br>дисперсии отклонений |            |          |             |              | Проверка<br>однородности<br>дисперсии             |             | Проверка<br>адекватности            |                               |
|                           | $X_0$                       | $X_1$ | $X_2$ | $X_1X_2$ | $Y_{1i}$                                          | $Y_{2i}$   | $Y_{3i}$ | $\bar{y}_i$ | $S^2\{y_i\}$ | $\sum_{i=1}^N S^2\{y_i\}$                         | 0,647       | $\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i')^2$ | 0,0013                        |
| 1                         | +1                          | -1    | -1    | +1       | 35,72                                             | 36,39      | 36,17    | 36,09       | 0,116        | $S^2\{y_i\}_{\max}$                               | 0,216       | $S_{a\partial}^2$                   | 0,004                         |
| 2                         | +1                          | +1    | -1    | -1       | 34,83                                             | 33,93      | 34,16    | 34,31       | 0,216        | $G_p$                                             | 0,333       | $F_p$                               | 0,025                         |
| 3                         | +1                          | -1    | +1    | -1       | 33,93                                             | 34,38      | 34,83    | 34,38       | 0,199        | $\alpha$                                          | 0,05        | $\alpha$                            | 0,05                          |
| 4                         | +1                          | +1    | +1    | +1       | 32,59                                             | 32,82      | 32,15    | 32,52       | 0,116        | $f_1$                                             | 2           | $f_{a\partial}$                     | 3                             |
|                           |                             |       |       |          |                                                   |            |          |             |              | $f_2$                                             | 4           | $f_b$                               | 8                             |
|                           |                             |       |       |          |                                                   |            |          |             |              | $G_m$                                             | 0,77        | $F_m$                               | 5,32                          |
|                           |                             |       |       |          |                                                   |            |          |             |              | Вывод                                             | $G_p < G_m$ | Вывод                               | $F_p < F_m$                   |
|                           |                             |       |       |          | Проверка значимости коэффициентов                 |            |          |             |              |                                                   |             |                                     | Вывод<br>$a_{12}$<br>назначим |
|                           |                             |       |       |          | $S_b^2$                                           | $\alpha$   | $f$      | $t_m$       | $t_0$        | $t_1$                                             | $t_2$       | $t_{12}$                            |                               |
|                           |                             |       |       |          | 0,162                                             | 0,05       | 8        | 2,3         | 295,436      | 7,846                                             | 7,526       | 0,16                                |                               |

Затем по усредненным дисперсиям, общему числу точек в плане матрицы и числу параллельных наблюдений  $m$  вычисляли среднеквадратические отклонения дисперсии ошибки  $S^2\{a_k\}$  и оценку

среднего квадратичного отклонения погрешности  $S\{a_k\}$  определения коэффициента  $a_k$  для каждой из регрессий. Гипотезу о значимости коэффициентов регрессии проверяли по критерию Стьюдента. Задаваемый уровень значимости принимали равным  $\alpha = 0,05$ , число степеней свободы  $f = 4 \cdot (3-1) = 8$ .

Адекватность полученной модели оценивали по  $F$  критерию Фишера на основе вычисленной дисперсии адекватности  $S_{ad}^2$  при принятом уровне статистической значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $f_{ad} = 4 - 1 = 3$  и  $f_b = 4 \cdot (3-1) = 8$ .

Для получения конечных зависимостей проводили замену переменных в уравнениях регрессии.

Обработку результатов факторного эксперимента по выше приведенной методике проводили на ЭВМ с использованием электронных таблиц Microsoft Excel 2003.

В таблице 2 приведен пример расчета коэффициентов для кольца резинового уплотнительного круглого сечения (ГОСТ 9833-73)  $d_2 = 5,8$  мм.

Из проведенного исследования следует сделать следующие выводы:

1. Проведенные на специально разработанном стенде экспериментальные исследования подтвердили правильность полученной математической модели, используемой для описания упругой линии кольца, деформированного выступом внутрь, для установки во внутренние канавки базовых деталей. Следовательно, результатами, полученными на основе проверяемой модели, можно пользоваться для получения методики выбора параметров процесса. Причем погрешность при этом не превышает 5 %.

2. Кроме проверки правильности математических моделей экспериментально оценены величины усилий, создающих кольцо деформацию выступом внутрь. Как оказалось, эти усилия для колец 3-ей группы не превышают 10...30 Н. Таким образом, указанные усилия можно обеспечить при использовании наиболее распространенных пневматических приводов диаметр поршня которых не превышает 10 мм.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В.Фролов (пред.) и др. — М.: Машиностроение. Технология сборки в машиностроении. Т. III-5 / [А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.]; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. — 2001. — 640 с.

2. Буренин В.В. Оценка долговечности резиновых уплотнительных колец и манжет для вращающихся валов машин и механизмов / В.В. Буренин, В.П. Иванин // Хим. и нефтегаз. машиностр. — 2003. — № 11. — С. 32–33.

3. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. — Минск: Изд-во БГУ, 1982. — 302 с.

4. Кузнецов Ю.Н. Теория технических систем: [учеб. для студ. вузов, обуч. по напр. подгот. "Инженерная механика"] / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцев; СевНТУ, НТУ "КПИ". — Севастополь: Севастоп. нац. техн. ун-т, 2010. — 252 с.

*Поступила в редакцию 16.04.2012 г.*

#### **Тараховський А.Ю. Експериментальне дослідження процесу складання ущільнюючих з'єднань**

У статті описується проведення експерименту і аналізуються отримані результати для процесу складання ущільнювальних з'єднань типу «еластичний кільцевої елемент – канавка отвори» при деформації еластичного кільцевого елементу виступом всередину.

**Ключові слова:** ущільнювальне з'єднання, еластичний кільцевої елемент, канавка отвору, деформація.

#### **Tarakhovskiy A.Yu. Pilot study of process of assembly of sealing connections**

In article carrying out experiment is described and the received results for process of assembly of sealing connections of type «an elastic ring element – an opening flute» are analyzed at deformation of an elastic ring element by a ledge inside.

**Keywords:** sealing connection, elastic ring element, opening flute, deformation.