

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ РЕЗИНОКОРДНЫХ ОБОЛОЧЕК СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*Евдокимов А.П.*

*Институт Машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия*

**Ключевые слова:** резинокордная оболочка, теплоотдача, механический гистерезис, нелинейность, крутильная жёсткость.

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований температурных полей резинокордных оболочек упругих соединительных муфт при нагружении крутящим моментом. Рассмотрены особенности тепловых процессов при контакте стальных и резиноподобных элементов оболочки. Исследована демпфирующая способность резинокордных оболочек в режиме статического нагружения, представленных в виде интегральных характеристик. Получены значения коэффициентов демпфирования и крутильной жёсткости в широком диапазоне температур.

## INVESTIGATION OF TEMPERATURE FIELDS OF RUBBER CORD SHELLS OF POWER DRIVES OF ROLLING STOCK

*Evdokimov A.P.*

*A.A. Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia*

**Keywords:** rubber-cord shell, heat transfer, mechanical hysteresis, nonlinearity, torsional stiffness.

**Abstract.** The results of experimental studies of temperature fields of rubber-cord shells of elastic coupling couplings under torque loading are presented. The features of thermal processes in contact with steel and rubber-like shell elements are considered. The damping ability of rubber-cord shells in the static loading mode, presented in the form of integral characteristics, is investigated. The values of damping and torsional stiffness coefficients are obtained in a wide temperature range.

Резинокордные оболочки (РКО) соединительных упругих муфт силовых приводов подвижного состава находятся в сложном напряжённо-деформированном и температурном состоянии, обусловленном рабочим процессом кривошипно-шатунных механизмов и сравнительно высокой частотой вращения электрических машин [1, 2]. Температура при этом является фактором, наиболее сильно влияющим на несущую способность РКО. Появление температурных напряжений в данном случае обусловлено саморазогревом оболочки вследствие механического гистерезиса [3].

Принято температуру +70...+80°C считать предельно допустимой для РКО, т.к. при более высоких температурах снижается её долговечность, уменьшается прочность связи между резиной и кордом каркаса, ускоряются химические процессы в резине и полиамидном корде, приводящие к их старению.

Уровень температуры, в значительной степени зависит от условий теплообмена [4, 5]. Отвод теплоты от РКО производится в металлические фланцы посредством теплопередачи, а также в окружающую среду за счёт

конвективного теплообмена. Причём конвективный теплообмен происходит как непосредственно с поверхности самого упругого элемента муфты, так и с поверхности прилегающих к нему металлических деталей [6].

Процесс отвода теплоты посредством конвекции представляет собой довольно сложное физическое явление, зависящее от целого ряда факторов, таких как форма и геометрические размеры охлаждаемого тела, теплофизические свойства, скорость и характер движения воздуха. При вращении оболочки поток омывающего её воздуха имеет турбулентный характер, при котором основную роль в термическом и гидродинамическом сопротивлении играет пограничный слой.

Вследствие вязкости воздуха относительная скорость его частиц, непосредственно примыкающих к наружной поверхности оболочки, становится равной нулю. В тонком пограничном слое перенос теплоты по нормали к поверхности осуществляется в основном за счёт теплопроводности. Поэтому исследование температурного состояния РКО в условиях действия динамических нагрузок и тепловых процессов является актуальной задачей.

Большими неизученными возможностями остаются исследование распределение температуры по профилю оболочки при передаче крутящего момента и демпфирующей способности в широком диапазоне температур. Испытаниям подвергалась резинокордная оболочка ЭМ320×80 на частоте вращения 2500 мин<sup>-1</sup>.

Значение температуры измерялось термопарой ХК ГОСТ3044-84 и потенциометром ПП-63. Термопары устанавливались в бортовых частях оболочки на расстоянии 10 мм от фланцев крепления и в её короне (рис. 1) на глубину 8...10 мм. Полученные результаты экспериментальных исследований показали следующее.

В начальный период испытаний наблюдалось интенсивное возрастание температуры оболочки (рис. 2). Этот период является неустановившимся тепловым процессом, который продолжался 1,5 часа.

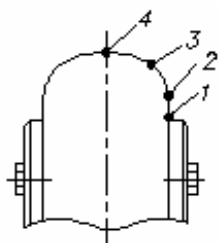


Рис. 1. Схема мест установки термопар на РКО

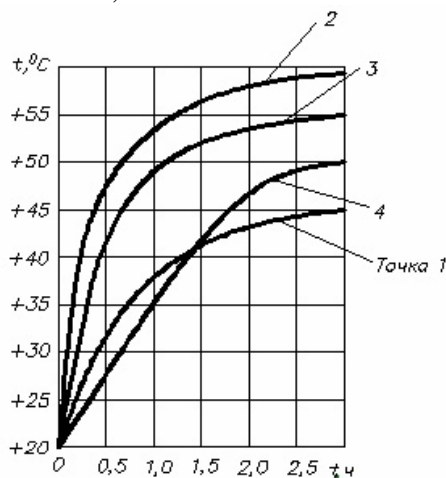


Рис. 2. Изменение температуры РКО от времени нагружения крутящим моментом

После этого наступал процесс стабилизации температуры, максимальное значение которой было  $+60^{\circ}\text{C}$ .

Исследования также показали, что как в период возрастания температуры, так и при установившихся теплообменных процессах имеет место неравномерный нагрев отдельных участков профиля оболочки. Эта неравномерность определяется различием в тепловыделении участков профиля и различными условиями теплоотдачи в окружающую среду.

Наиболее интенсивно температура возрасала на свободных участках бортовых частей элемента, т.е. в местах наибольших относительных деформаций резины. При приближении к установившимся теплообменным процессам максимальную температуру имели участки короны оболочки. В таком распределении происходила стабилизация температуры участков оболочки.

Это объясняется тем, что при значительных перепадах температур оболочки и окружающей среды начинают проявляться более благоприятные условия теплоотдачи от бортовых частей во фланцы, чем от короны оболочки в воздушную среду. При прекращении теплоподвода наибольшая температура устанавливалась в коронной части элемента ввиду снижения величины теплоотдачи.

Температура оболочек на уровне наружного диаметра фланцев не достигала максимальных значений, что указывает на слабое влияние внешнего трения резины по металлическим фланцам упругой муфты на площадках трения скольжения.

В муфтах с РКО тепло от упругих элементов передаётся в окружающую среду и во фланцы. Теплоотвод во фланцы наиболее существенен для бортовых частей оболочек, расположенных в непосредственной близости от них. Вследствие того, что теплопроводность резины в 150...300 раз меньше теплопроводности стали и участки короны расположены от фланцев на расстоянии 50 мм, теплоотвод во фланцы от участков короны не является определяющим; в этом случае преобладает теплоотвод в окружающую среду.

Затем проводились экспериментальные исследования демпфирующей способности РКО. Полученные результаты показали следующее. Наибольшей демпфирующей способностью обладает оболочка при температуре нагрева  $+80^{\circ}\text{C}$  (рис. 3). При низкой температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  демпфирующая способность была сравнительно наибольшая.

Коэффициент демпфирования при этом определялся по формуле

$$\psi = \Psi / \Pi,$$

где  $\Psi = \pi \varphi^2 \omega b_2$  – потерянная за цикл энергия,  $\Pi = c \varphi^2 / 2$  – потенциальная энергия оболочки,  $c = \text{tg} \alpha$  – угол наклона петли гистерезиса (жёсткость оболочки).

Результаты вычислений приведены в таблице 1.

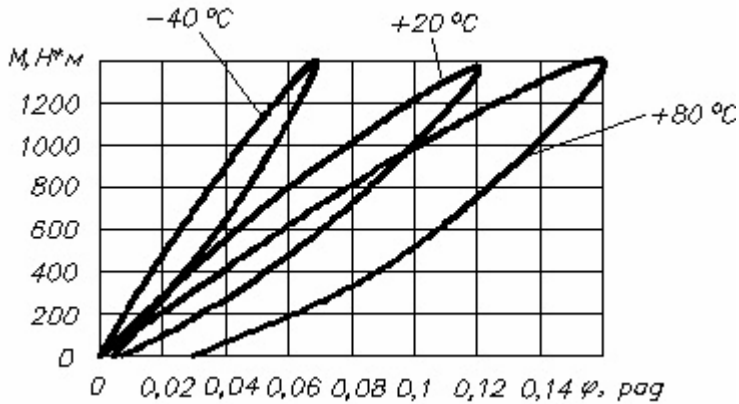


Рис. 3. Графики изменения деформации кручения РКО от статического крутящего момента при различных значениях температуры

Табл. 1. Значения коэффициента демпфирования в зависимости от температуры окружающей среды.

Температура оболочки, °С	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70	+80
Коэффициент демпфирования	4,1	3,72	3,18	2,63	2,2	1,6	1,25	1,18	1,12	1,06	0,98	0,92	0,88

На рисунке 4 приведены зависимости упругих свойств РКО от температуры, средней по профилю элемента. Крутильная жёсткость уменьшалась с ростом температуры нелинейно. Наибольшее уменьшение крутильной жёсткости имеет место в диапазоне температур +20 ... +40°С (переходная зона), в интервале от +60 до +80°С жёсткость муфты уменьшалась незначительно (приближение к зоне каучукообразного состояния).

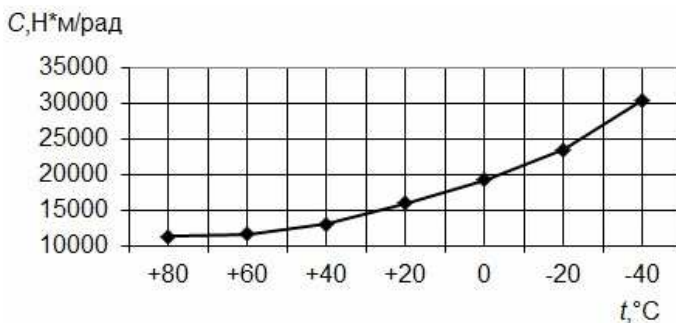


Рис. 4. Изменения крутильной жёсткости резинокордной оболочки от температуры

Данный вид испытаний позволил определить коэффициенты  $K_t$  зависимости крутильной жёсткости оболочки от температуры, которые представлены в таблице 2.

Табл. 2. Значения коэффициента жёсткости резинокордной оболочки в зависимости от температуры окружающей среды

Температура оболочки, °С	- 40	- 20	0	+ 20	+ 40	+ 60	+80
Коэффициент жёсткости, $K_t$	1,42	1,38	1,42	1,0	0,83	0,66	0,52

### Вывод

Таким образом, анализ результатов проведённых экспериментальных исследований показывает на существенный разброс значений крутильной жёсткости и демпфирующей способности торообразных резинокордных оболочек в исследуемом диапазоне температур.

### Список литературы

1. Михальченко Г.С. Теория и конструкция локомотивов. – М.: Маршрут, 2006. – 584 с.
2. Четвергов В.А., Овчаренко С.М., Бухтеев В.Ф. Техническая диагностика локомотивов. – М.: Маршрут, 2014. – 371 с.
3. Адамов А.А., Матвеев В.П., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н. Методы прикладной вязкоупругости. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 411 с.
4. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твёрдых тел. – М.: Высшая школа, 2001. – 553 с.
5. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1982. – 328 с.
6. Карташов Э.М., Кудинов В.А. Аналитическая теория теплопроводности и прикладной термоупругости. – М.: Либроком, 2012. – 651 с.

### References

1. Mikhhalchenko G.S. Theory and design of locomotives. – М.: Route, 2006. – 584 p.
2. Chetvergov V.A., Ovcharenko S.M., Bukhteev V.F. Technical diagnostics of locomotives. – М.: Route, 2014. – 371 p.
3. Adamov A.A., Matveenko V.P., Trufanov N.A., Shardakov I.N. Methods of applied viscoelasticity. – Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003. – 411 p.
4. Kartashov E.M. Analytical methods in the theory of thermal conductivity of solids. – Moscow: Higher School, 2001. – 553 p.
5. Belyaev N.M., Ryadno A.A. Methods of the theory of thermal conductivity. – Moscow: Higher School, 1982. – 328 p.
6. Kartashov E.M., Kudinov V.A. Analytical theory of thermal conductivity and applied thermoelasticity. – М.: Librocom, 2012. – 651 p.

<b>Евдокимов Алексей Петрович</b> – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник	<b>Evdokimov Alexey Petrovich</b> – doctor of technical sciences, leading researcher
a_evdo@mail.ru	

Received 01.02.2022