

УДК 621.431.74:53.091:534.013

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДИНАМИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Бородина Олеся Юрьевна¹, аспирант

e-mail: Borodinaoyu@mail.ru

Глушков Сергей Павлович¹, доктор технических наук, профессор

e-mail: rcpl.glushkov@yandex.ru

¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. Рассмотрение вопроса определения остаточного ресурса демпфера крутильных колебаний жидкостного трения путем предложения корректировки коэффициента «старения» полимера. В качестве наиболее типичного для моделирования коэффициента «старения» принят коэффициент полидисперсности, то есть соотношение количеств макромолекул различной молекулярной массы в образце полимера демпфера жидкого трения.

Ключевые слова: остаточный ресурс, демпфер, полимер, деструкция, механическая обработка, молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение, полидисперсность.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE RESIDUAL LIFE OF A DYNAMIC TORSIONAL VIBRATION DAMPER OF LIQUID FRICTION

Borodina Olesya Yurievna¹, Doctoral Student

e-mail: Borodinaoyu@mail.ru

Glushkov Sergey Pavlovich¹, Doctor of Technical Sciences, Professor

e-mail: rcpl.glushkov@yandex.ru

¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. Consideration of the issue of determining the residual life of the torsional vibration damper of liquid friction by proposing an adjustment to the "aging" coefficient of the polymer. The polydispersity coefficient is accepted as the most typical for modeling the "aging" coefficient, that is, the ratio of the amounts of macromolecules of different molecular weights in a sample of a polymer of a liquid friction damper.

Keywords: residual life, damper, polymer, destruction, mechanical processing, molecular weight, molecular weight distribution, polydispersity.

Введение

Ресурс работы демпфера жидкостного трения крутильных колебаний, гарантированный

изготовителем, составляет 20 – 30 тыс. рабочих часов, после этого срока демпферы должны быть заменены новыми или проведена проверка их работоспособности. Традиционно для определения работоспособности демпфера применяют два способа. Первый способ заключается в торсиографировании крутильных колебаний, второй способ относится к косвенным и заключается в проверке состояния (количества и наличия) силиконовой жидкости в демпфере. В настоящее время для демпферов жидкостного трения актуальной проблемой стало разработка средств и методов диагностики для оценки их технического состояния без разборки или разрушения корпуса изделия. Целью диагностики является возможность определения остаточного ресурса демпфера.

Целью разработки методологии оценки параметров демпфера крутильных колебаний жидкостного трения судовой энергетической установки является:

- оптимизация параметров демпферов крутильных колебаний, которые обеспечивают желаемые характеристики процесса демпфирования;
- повышение эффективности демпфирования крутильных колебаний;
- улучшение характеристик системы, в которой используются демпферы крутильных колебаний;
- изучение влияния различных параметров, таких как вязкость жидкости, градиент скорости сдвига, изменение молекулярной массы жидкости демпфера на характеристики демпфирования;
- оценка срока службы демпфера на основе моделирования износа и усталости;
- оценка общей работоспособности демпфера на основе моделирования работы демпфера в различных нагрузках.

Параметрами для проведения оценки параметров демпферов могут являться:

- коэффициент демпфирования: мера способности демпфера рассеивать энергию;
- частота собственных колебаний: частота, на которой демпфер будет колебаться без внешнего возбуждения;
- коэффициент затухания: мера скорости, с которой колебания демпфера затухают;
- коэффициент определения работоспособности демпфера, остаточного ресурса.

К числовой модели демпферов крутильных колебаний относится моделирование коэффициента «старения» полимера в демпфере жидкостного трения, модели используются для анализа и прогнозирования характеристик демпферов без необходимости проведения физических экспериментов.

В основу рассматриваемой методологии положена корректировка коэффициента «старения» Кст, данный коэффициент в Руководстве Р.043-2016 [1] входит в определение предполагаемого ресурса R (ч).

Материалы и методы исследования

Авторами статьи предложена корректировка коэффициента, учитывающего изменение химических свойств силиконовой жидкости (ПМС – полиметилсилоксана) в результате ее «старения» за весь период срока службы демпфера.

В основу моделирования коэффициента «старения» Кст положено изменение химических свойств полимера после длительной механической нагрузки, которая составляет 30 тыс. часов и более [2].

В качестве наиболее типичного для моделирования коэффициента «старения» принят коэффициент полидисперсности (KD), то есть соотношение количеств макромолекул различной молекулярной массы в образце.

Ранее исследователями было отмечено изменение количественного содержания полимера в полости демпфера в результате длительной нагрузки. Кроме возможных механических потерь полимера, можно предположить возникновение внутри демпфера



механохимического процесса, который активируется постоянной и длительной нагрузкой на полимер в полости демпфера и как следствие возникновение процесса механической деструкции полимера.

В процессе механической деструкции происходит разрушение мономера до предельной полидисперсности и как следствие образование соединений более низкой молекулярной массы: формальдегид, муравьиная кислота, вода, CO_2 , CO , H_2 .

На основании проведенных исследований [3] на натуральных силиконовых жидкостях, взятых с эксплуатируемых судовых двигателей 6ЧСП 18/22, 6ЧСПН 18/22, 8ЧСПН 18/22, 6ЧСПН 25/34, 8ЧРН 32/48, принимаем время нагрузки (время эксперимента) в ходе моделирования механообработки (МО), соответствующие числу наработки фактически работающих демпферов в тыс. час.

Авторами статьи проведено экспериментальное испытание, которое заключалось в механической обработке полимера и определении его остаточных химических свойств.

Механохимические методы активации химических процессов широко используются для механодеструкции органических высокомолекулярных соединений.

С целью моделирования процесса механической деструкции полимера предложено использовать центробежно-планетарную мельницу ЭИ-150 воздушного охлаждения. В измельчителях этого типа барабаны совершают два вращения: вокруг оси барабана и вала привода.

Условия эксперимента: механическая обработка ПМС-10000 в центробежно-планетарной мельнице ЭИ-150 в барабанах с корундовой футеровкой с применением керамических дисков в течении – 5, 10, 30 и 60 минут. Скорость вращения барабанов вокруг собственной оси ~ 1200 об/мин, соотношение жидкости ПМС-10000 и дисков составило 1:2,5. В процессе механической обработки (МО) температура ПМС-10000 в барабане варьировалась от 70 до 100°C . Что бы температура ПМС-10000 не превышала 100°C механообработку жидкости проводили с периодичностью 10 мин.

В результате проведенного эксперимента механической обработки полимера в течении определенного времени на центробежно-планетарной мельнице полученные пробы образцов были проанализированы на жидкостном хроматографе Shimadzu lc20, с помощью которого получены кривые интегрального и дифференциального молекулярно-массового распределения (ММР) полимера.

Обсуждение

Изучение ММР позволяет получить дополнительную информацию о механизмах образования и превращения макромолекул.

Дисперсность полимера характеризует кривая молекулярно-массового распределения (рисунок 1), которую строят в координатах n_i – числовая доля или процент молекул данной молекулярной массы M_i как функция молекулярной массы [4].

Отметим, что на такой кривой $M_n < M_w$ и M_v ближе к M_w , чем к M_n .

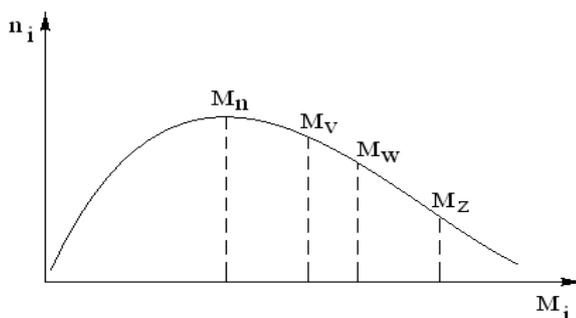


Рисунок 1 – Кривая молекулярно-массового распределения

Полидисперсность является важной характеристикой полимера. Она характеризует интервал изменения молекулярных масс и относительное содержание молекул с промежуточными молекулярными массами.

Если ММР полимера становится очень широким $M_w/M_n \geq 2$, то его физико-механические свойства, как правило, ухудшаются.

Отношение M_w/M_n называется коэффициентом полидисперсности (KD).

В результате проведенного исследования соотношения в экспериментальных пробах M_w/M_n больше 2 и составило от 2,1998 до 7,8951, что говорит о значительном ухудшении физико-химических свойств полимера после механической обработки.

В таблице 1 представлен вариант модели коэффициента «старения» демпфера жидкостного трения с учетом полидисперсности, $K_{ст.пд.}$.

Таблица 1

Моделирование коэффициента старения

Механообработка (МО), мин.	Наработка силиконового демпфера (СД), час	Коэффициент полидисперсности, $KD=M_w/M_n$	Коэффициент «старения» с учетом полидисперсности, $K_{ст.пд.}$
исходная проба ПМС-Ж	0	1,8623	1,000
5	15 000	2,1998	0,972
-	20 000	2,1864	0,973
10	25 000	2,3873	0,956
-	30 000	2,8864	0,915
30	40 000	4,4587	0,784
-	50 000	4,2864	0,799
-	70 000	5,6864	0,682
60	100 000	7,8951	0,500

Для полученных экспериментальных данных была построена модель методом линейной регрессии (рисунок 2).

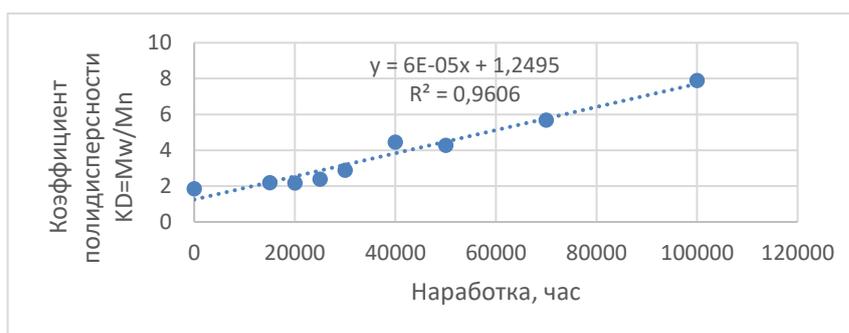


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента полидисперсности KD от наработки демпфера, час

Полученные значения среднего абсолютного отклонения не превышают погрешности экспериментального определения величины наработки демпфера, следовательно, полученная модель удовлетворительно описывает экспериментальные данные.

Вне пределов ошибки экспериментального определения величины коэффициента полидисперсности KD находятся точка 1 и точка 6, что позволяет сделать вывод о линейном характере зависимости коэффициента полидисперсности KD от наработки демпфера при

значениях выше 15.000. Точка 1 по всей видимости находится вне линейного участка, где деградация полимера происходит со значительно меньшей скоростью. Точка 6 скорее всего является артефактом эксперимента.

Поскольку ММР напрямую связан со свойствами полимера, возможно предложить эмпирическую зависимость коэффициента старения от экспериментально полученного ММР, избегая таким образом возможных ошибок, связанных с выработкой ресурса. В настоящей работе принято, что для образца без проведения механической обработки Кст.пд. составляет 1,0, а для последнего образца после максимальной механической обработки 0,5.

В таком случае возможно смоделировать зависимость коэффициента «старения» с учетом полидисперсности полимера $K_{ст.пд.}$ от коэффициента полидисперсности KD линейной зависимостью методом интерполяции. Графически зависимость отображена на рисунок 3.

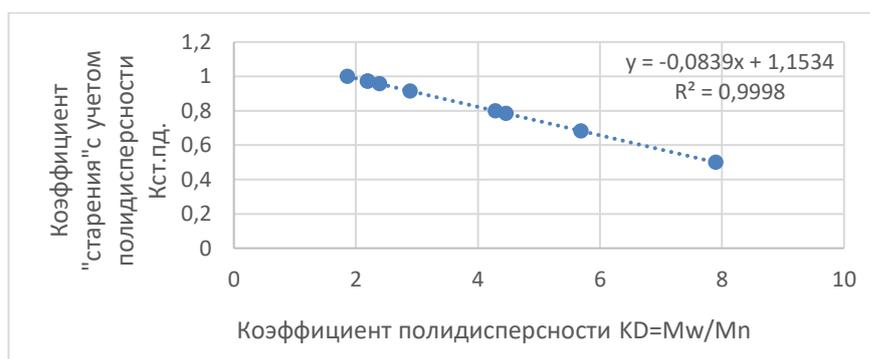


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента полидисперсности KD от коэффициента «старения» с учетом полидисперсности полимера

Заключение

Измерительно-расчетный метод согласно РРР Руководство Р.043-2016 [1] основан на определении остаточного ресурса демпфера $T_{ост}$ (ч), который определяется разностью значений предполагаемого ресурса $СД R$ (ч) и наработки демпфера от начала эксплуатации до контрольного торсиографирования $T_{нар}$ (ч).

Значение коэффициента $K_{ст}$ в зависимости от наработки демпфера указаны в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость срока службы демпфера от коэффициента старения $K_{ст}$ согласно Р.043-2016

$T_{нар}$, тыс. часов	30-50	50-70	>70
$K_{ст}$	0,99-0,95	0,95-0,90	0,90-0,85

Отмечается строго линейная зависимость коэффициента «старения» от срока службы демпфера. С помощью Excel, определено значение уравнения линии тренда, коэффициенты корреляции для полученной зависимости $R = 0,9934$, рисунок 4.

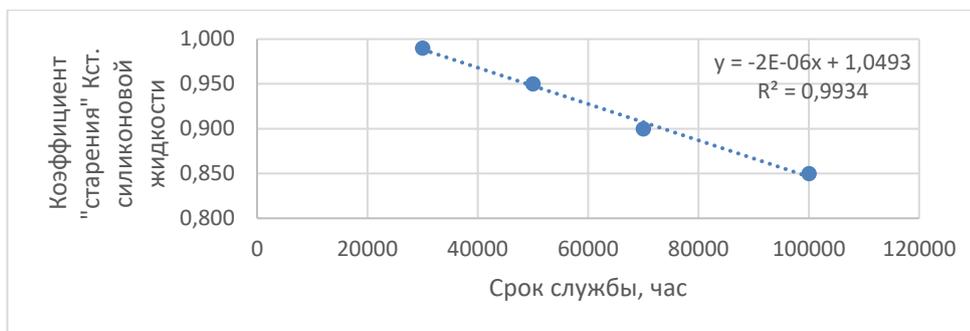


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента «старения» $K_{ст.}$ силиконовой жидкости от срока службы СД, час

Исходя из проведенного моделирования коэффициента старения силиконового демпфера для определения предполагаемого ресурса R (ч) в зависимости от наработок демпфера с учетом коэффициента полидисперсности силиконовой жидкости можно предложить вариант $K_{ст.пд.}$, таблица 3.

Таблица 3

Предлагаемый вариант $K_{ст.пд.}$

Т нар. тыс. часов	20-30	30-50	50-70	70-100
$K_{ст.пд.}$	0,99-0,92	0,92-0,80	0,80-0,68	0,68-0,50

Исходя из того, что KD полимера и наработка связаны линейной зависимостью, то для связи $K_{ст.пд.}$ с наработкой также подойдет линейная зависимость в этом диапазоне.

Также возможно линейно интерполировать коэффициент старения относительно наработки демпфера, определено значение уравнения линии тренда проведенного эксперимента, коэффициенты корреляции для полученной зависимости $R = 0,9635$.

В таком случае зависимость имеет строго линейный вид, рисунок 5.

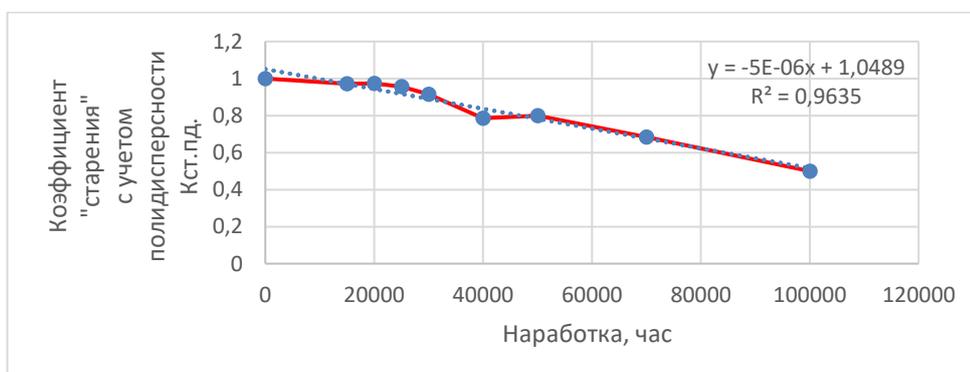


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента «старения» с учетом полидисперсности $K_{ст.пд.}$ от наработки СД, час

Список литературы:

1. Руководство Р.043-2016 Оценка работоспособности силиконовых демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания: утверждены приказом Российского Речного Регистра 26.09.2016 №67-п: введены в действие 02.10.2016. – Москва: Российский Речной Регистр. 2016г. – 66. – Текст: непосредственный.

2. Глушков С.П. Исследование процессов термического разложения силиконовой жидкости в судовых демпферах / Глушков С.П., Глушков С.С., Ярославцева А.С. – Текст:

непосредственный//Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего востока. – 2006. – №2. – С.111 – 112.

3. Бородина О.Ю. Исследования влияния характеристик полиметилсилоксановой жидкости на работоспособность силиконового демпфера судовой энергетической установки / Бородина О.Ю. Глушков С.П., Панова А.Н. – Текст: непосредственный // Речной транспорт (XXI век). – 2023. – №4 (108). – С. 47 – 50.

4. Барамбойм, Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений / Н.К. Барамбойм. – Москва.: Химия. 1978. 384 с. – Текст: непосредственный.

