

Термометрирование демпфера крутильных колебаний коленчатого вала автомобильного восьмицилиндрового дизеля

А.Р. Костина, В.Н. Никишин

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Эффективность применения демпферов крутильных колебаний зависит как от конструктивных характеристик самих демпферов, так и от условий работы двигателя. Термометрирование жидкостного демпфера позволяет определить эффективность их применения, а также проследить характер изменения теплового состояния демпферов в зависимости от изменения температуры рабочей жидкости двигателя.

Цель работы — исследование теплового состояния демпферов и его влияния на эффективность демпфирования крутильных колебаний

Методы. В данной работе были использованы экспериментальные методы исследования (например, торсиографирование коленчатого вала двигателя с проведением термометрирования демпферов крутильных колебаний).

Результаты. Проведено термометрирование демпферов крутильных колебаний, получена зависимость величины угла закрутки коленчатого вала, температуры масла и демпфера от времени прогрева при частоте вращения коленчатого вала 2400 мин⁻¹.

Заключение. Тепловое состояние демпфера определяется температурой масла в поддоне двигателя и не зависит от расположения точек замеров в корпусе. Угол закрутки носка коленчатого вала при работе в течении часа на режиме 2400 мин⁻¹ меняется незначительно.

Ключевые слова: крутильные колебания; демпфер; термометрирование демпфера; торсиографирование коленчатого вала.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Костина А.Р., Никишин В.Н. Термометрирование демпфера крутильных колебаний коленчатого вала автомобильного восьмицилиндрового дизеля // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 3. С. **x-y**. DOI: 10.17816/0321-4443-635969 EDN: ACRKIJ

Thermal Profiling of the Torsional Vibration Damper of the Crankshaft of an Automotive Eight-Cylinder Diesel Engine

Albina R. Kostina, Vyacheslav N. Nikishin

Kazan Federal University, Kazan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The effectiveness of torsional vibration dampers depends both on the design characteristics of the dampers themselves and on the operating conditions of the engine. Thermal profiling of the liquid damper allows revealing the effectiveness of their use, as well as tracing the nature of changes in the thermal state of the dampers depending on changes in the temperature of the engine's working fluid.

AIM: Study of the thermal state of dampers and its influence on the effectiveness of torsional vibrations damping.

METHODS: Experimental study methods including the engine crankshaft torsiography with thermal profiling of the torsional vibration dampers were used in this study.

RESULTS: Thermometry of torsional vibration dampers was conducted, the dependence of the crankshaft torsion angle, oil temperature and damper temperature on the warm-up period at 2400 RPM was obtained.

CONCLUSION: The thermal condition of the damper is determined by the oil temperature in the engine pan and does not depend on the location of the measuring points in the housing. The crankshaft torsion angle changes slightly when operating for an hour at 2400 RPM.

Keywords: torsional vibrations; damper; thermal profiling of a damper, crankshaft torsiography.

TO CITE THIS ARTICLE:

Kostina AR, Nikishin VN. Thermal Profiling of the Torsional Vibration Damper of the Crankshaft of an Automotive Eight-Cylinder Diesel Engine. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(3):x-y. DOI: 10.17816/0321-4443-635969 EDN: ACRKIJ

ОБОСНОВАНИЕ

В автотракторных многоцилиндровых двигателях возникают крутильные колебания коленчатого вала. Возникновение резонанса при колебаниях приводит не только к снижению прочности коленчатого вала, но и к возникновению ударных явлений в шестеренчатых приводах от коленчатого вала (привод масляного насоса, привод топливного насоса высокого давления), повышенному расходу масла и топлива и повышенному шуму двигателя [1-3].

Для снижения амплитуды крутильных колебаний коленчатого вала применяют демпферы. Для оценки теплового состояния применяются разные методы исследования. Например, в судовых демпферах Geislinger D60/14/2 применяют контактные методы (термопары), бесконтактные (ИК-тепловизоры). Таким способом контролируется температура демпфера датчиками на входе, выходе масляной системы, тепловое состояние демпфера [4]. Кроме того, применяется торсиографирование в совокупности с косвенными расчётами [5-6]. Например, в исследованиях Астраханского ГТУ такие расчёты использовались для прогноза нагрева силиконовых демпферов [7]. В связи с необходимостью исследования теплового состояния демпфера крутильных колебаний было принято решение о проведении исследования.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование теплового состояния демпфера и его влияния на эффективность гашения крутильных колебаний.

МЕТОДЫ

Эффективность работы демпфера определялась по величине максимальной амплитуды угла закрутки носка коленчатого вала, которая измерялась при работе по внешней скоростной характеристике.

ВВЕДЕНИЕ

Для снижения амплитуды крутильных колебаний коленчатого вала применяют демпферы. Наибольшее распространение получили два типа демпферов: резиновые и демпферы вязкостного типа [1]. Резиновые демпферы по конструкции проще, но они могут быть эффективны только на одной резонансной частоте и не могут размещаться в закрытом пространстве из-за возможности перегрева. Вязкостные демпферы, как показывает опыт, эффективны практически во всем диапазоне рабочих частот вращения коленчатого вала благодаря чему нашли широкое применение в двигателях (рис. 1).



Рис. 1. Эффективность демпфирования вибраций стяжного болта передней коренной опоры дизеля 8ЧН 12/13: 1 — без демпфера крутильных колебаний; 2 — с демпфером.

Fig. 1. Vibration damping efficiency of the coupling bolt of the front main support of a V8 diesel engine: 1: without a torsional vibration damper; 2: with the damper.

Демпферы крутильных колебаний могут размещаться как снаружи двигателя, так и внутри.

Вязкостные демпферы размещаются в закрытом пространстве без наличия принудительного охлаждения. Как известно, эффективность демпфирования зависит от вязкости применяемой жидкости, а вязкость зависит от температуры [8]. Чтобы оценить эффективность демпфера при разных режимах работы двигателя было проведено торсиографирование колебаний носка коленчатого вала с одновременным контролем температуры демпфера двигателя 8ЧН 13/12.

МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

ОБЪЕКТЫ ИСПЫТАНИЙ

Испытания проводились на восьмицилиндровом двигателе с воспламенением от сжатия укомплектованном демпфером крутильных колебаний, размещенном в картерном пространстве. Двигатель устанавливался на специальный стенд, на котором производилось торсиографирование коленчатого вала двигателя. На рис. 2 представлена схема монтажа оборудования при торсиографировании коленчатого вала.

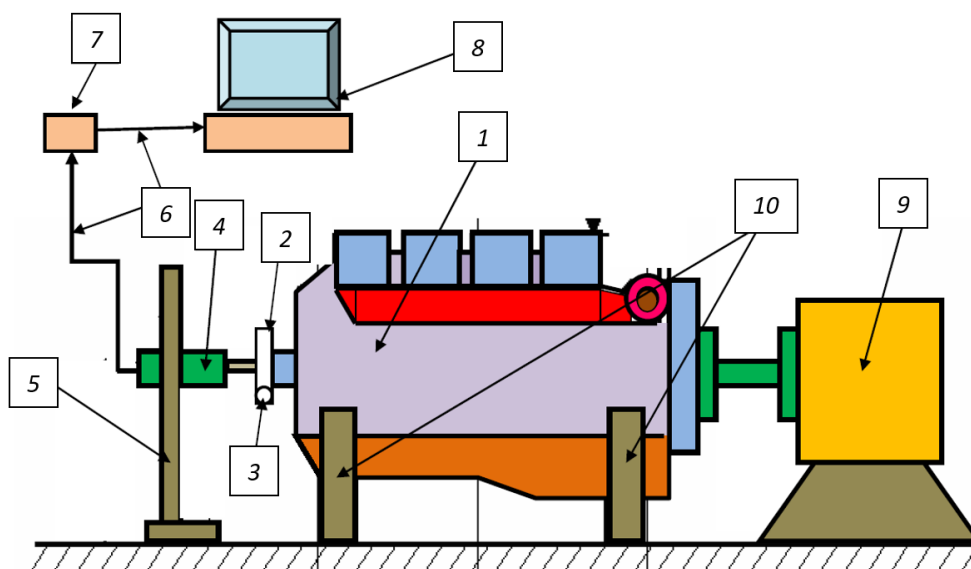


Рис. 2. Схема монтажа оборудования при торсиографировании коленчатого вала: 1 — двигатель; 2 — шайба с датчиками; 3 — акселерометры; 4 — токосъемник; 5 — кронштейн; 6 — кабели; 7 — виброизмеритель; 8 — компьютер; 9 — тормозное устройство; 10 — опоры двигателя.

Fig. 2. Installation diagram for crankshaft torsiography equipment: 1: engine; 2: washer with sensors; 3: accelerometers; 4: current collector; 5: bracket; 6: cables; 7: vibration meter; 8: computer; 9: brake device; 10: engine mounts.

Для проведения испытаний было изготовлено два жидкостных демпфера крутильных колебаний с установленными термопарами. На рис. 3 показана схема расположения термопар. I вариант — демпфер разборный, канавка на опорной поверхности расположена посередине; II вариант — демпфер разборный, канавка на опорной поверхности смещена на край.

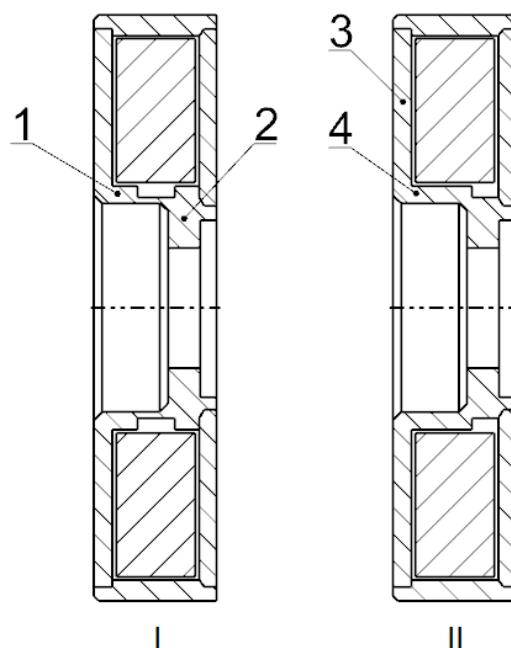


Рис. 3. Схема установки термопар на демпферах: I вариант — канавка на опорной поверхности находится посередине (1, 2 — термопары); II вариант — канавка смещена на край (3, 4 — термопары).

Fig. 3. Diagram of the installation of thermocouples on the damper: option I: the groove at the middle of supporting surface (1, 2: thermocouples); option II: the groove moved to the edge (3, 4: thermocouples).

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

В ходе испытаний измерялась внешняя скоростная характеристика (ВСХ) и производилось торсиографирование коленчатого вала двигателя. На двигатель устанавливался демпфер крутильных колебаний коленчатого вала двигателя (I вариант), производился замер теплового состояния, затем снимался и устанавливался демпфер (вариант 2) и замеры повторялись согласно предыдущим действиям.

Оценка эффективности демпфера производилась по величине максимальной амплитуды угла закрутки носка коленчатого вала, замеренной при работе двигателя по внешней скоростной характеристике. Тепловое состояние демпфера исследовалось номинальном режиме работы двигателя при частоте вращения коленчатого вала 2400 мин^{-1} . Выбор частоты вращения коленчатого вала двигателя 2400 мин^{-1} обеспечивает устойчивый тепловой режим работы двигателя, максимальную рабочую нагрузку и чувствительность измерительных приборов, что способствует точной оценке состояния двигателя и зон перегрева. Замер температур производился в течении 1 часа работы двигателя через каждые 5 мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

На рис. 4 представлены результаты торсиографирования коленчатого вала без демпфера крутильных колебаний, и с двумя вариантами демпферов. По графику видно, что при работе двигателя без демпфера наблюдаются две резонансные частоты вращения коленчатого вала. Максимальные амплитуды углов закрутки носка коленчатого вала составляют $0,252^\circ$ и $0,186^\circ$ при 1750 и 1950 мин^{-1} с 8 и 7 моторными гармониками, соответственно. Для сравнения максимальное значение амплитуды угла закрутки носка коленчатого вала на двигателе 8ЧН12/13 составляет $0,22^\circ$ [9-11]. Следовательно, угол закрутки коленчатого вала двигателя 8ЧН13/12 на 14,5% больше, чем у двигателя 8ЧН12/13.

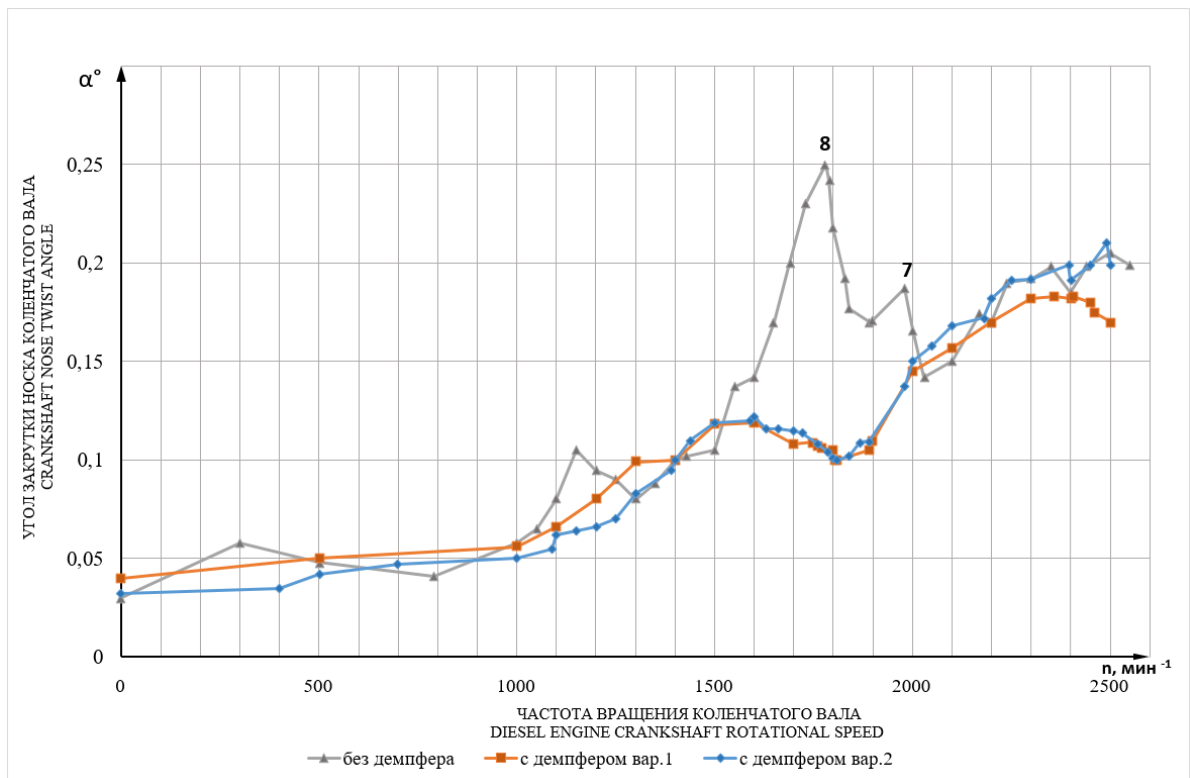


Рис. 4. Зависимость угла закрутки коленчатого вала от его частоты вращения: без демпфера крутильных колебаний и с двумя конфигурациями демпферов (8, 7 – моторные гармоники).

Fig. 4. The dependence of the crankshaft torsion angle on its speed: without a torsional vibration damper and with two configurations of dampers (8, 7: motor harmonics).

Установка демпфера крутильных колебаний на двигатель 8ЧН13/12 полностью устраняет резонанс. Амплитуда углов закрутки снизилась на режиме резонанса колебаний в 2,5 раза. Максимальный угол закрутки коленчатого вала на двигателе с демпфером составляют $0,198^\circ$ при 2400 мин^{-1} .

Из анализа результатов торсиографирования следует, что эффективность работы демпфера практически идентична. Оба демпфера эффективно работают в диапазоне $1600 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$ частоты вращения, в диапазоне свыше 2000 мин^{-1} демпферы не уменьшают амплитуды углов закрутки коленчатого вала.

На рис. 5 и рис. 6 представлены результаты термометрирования демпферов. Из анализа результатов термометрирования следует, что температура во всех точках замеров практически совпадает.

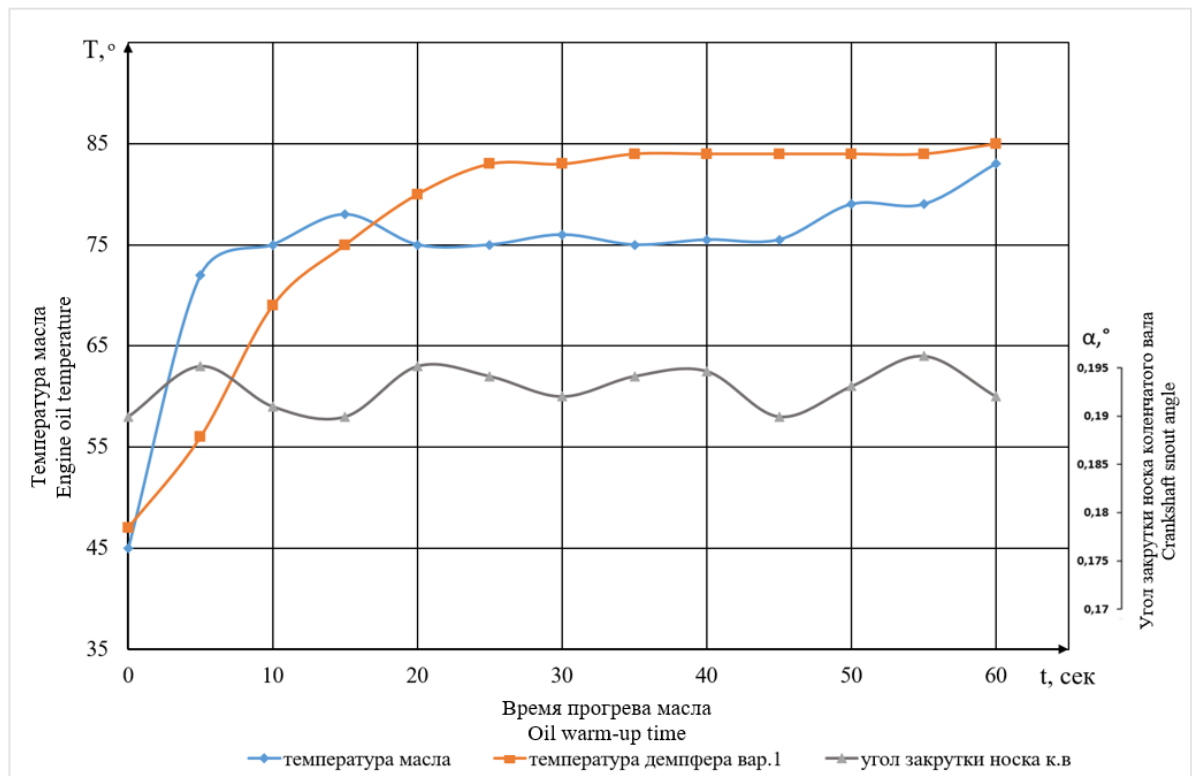


Рис. 5. Зависимость угла закрутки коленчатого вала, температуры масла и демпфера (вариант 1) в т. 2, 3, 4 от времени прогрева при 2400 мин⁻¹.

Fig. 5. Dependence of the crankshaft torsion angle, oil temperature and damper temperature (option 1) in points 2, 3, 4 on the warm-up time at 2400 RPM.

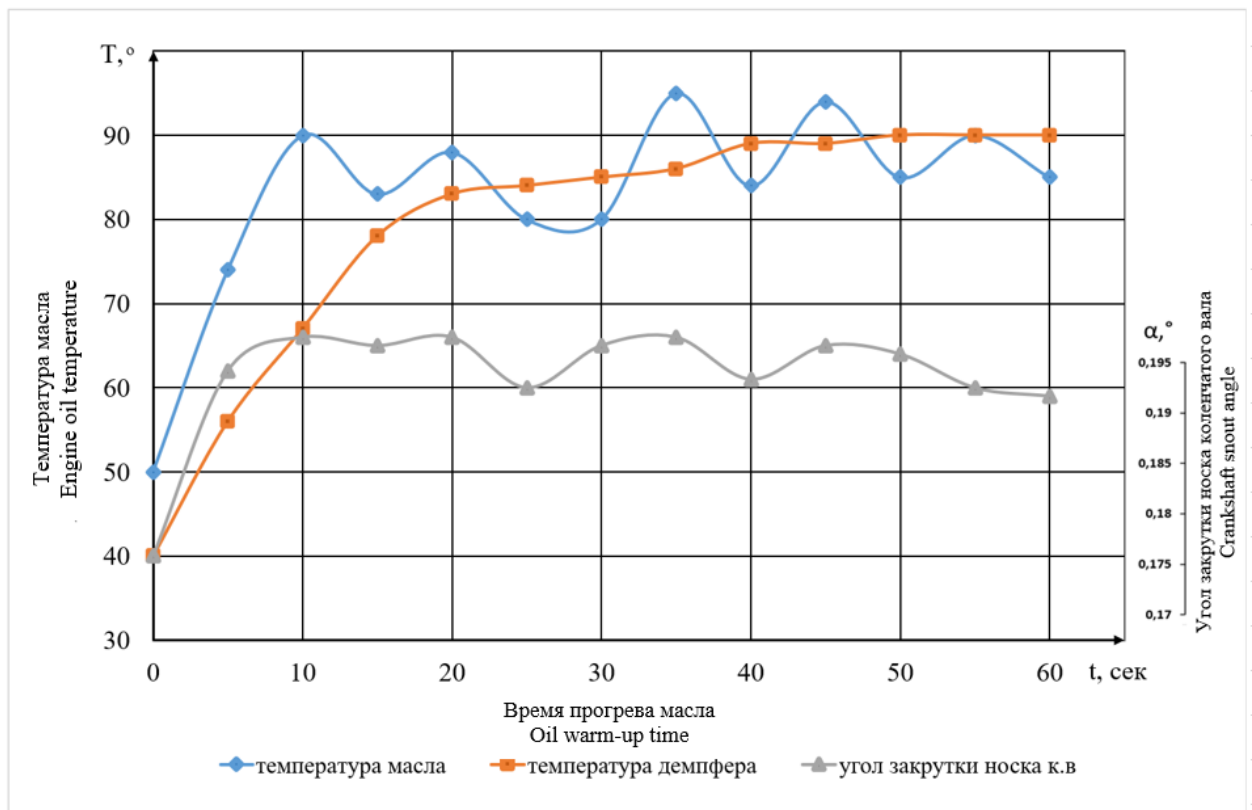


Рис. 6. Зависимость угла закрутки коленчатого вала, температуры масла и демпфера (вариант 2) в т. 2, 3, 4 от времени прогрева при 2400 мин⁻¹.

Fig. 6. Dependence of the crankshaft torsion angle, oil temperature and damper temperature (option 2) in points 2, 3, 4 on the warm-up time at 2400 RPM.

Следует отметить, что неравномерность температуры масла на рис. 6 обусловлена условиями работы дизеля и выходом на рабочий режим.

После 30...35 мин. прогрева температура демпферов стабилизируется и через 60 мин. работы двигателя на режиме, составляет для демпферов 90° и 85° градусов соответственно.

Температура демпфера определяется температурой масла в поддоне двигателя. Можно сделать вывод, что температура масла в картере двигателя определяет тепловое состояние демпферов крутильных колебаний. Изменение угла закрутки носка коленчатого вала в процессе прогрева незначительно для обоих вариантов демпферов. Разница между максимальным и минимальным значениями углов составляет $0,006...0,008^{\circ}$. Исключение составляют первые 5 мин прогрева демпфера вариант 2 (см. рис. 6), где разница составляет $0,025^{\circ}$.

При работе двигателя без демпфера крутильных колебаний коленчатого вала возникает резонанс на 8-ой моторной гармонике при 1750 мин^{-1} , угол закрутки при этом составляет $0,252^{\circ}$.

Демпфер крутильных колебаний полностью устраняет указанный резонанс. Максимальная амплитуда крутильных колебаний на двигателе с демпфером составляет $0,198^{\circ}$ при 2400 мин^{-1} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тепловое состояние демпферов определяется температурой масла в поддоне двигателя и не зависит от расположения точек замеров в корпусе. Угол закрутки носка коленчатого вала при работе в течении часа на режиме 2400 мин^{-1} меняется незначительно.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.Н. Никишин — проведение эксперимента, сбор и обработка результатов; А.Р. Костина — написание текста и редактирование статьи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные)

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: V.N. Nikishin: conducting an experiment, collecting and processing the results; A.R. Kostina: writing and editing the text of the manuscript. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: N/A.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Nikishin VN. *The applied theory of oscillations in automobile and engine construction*. Naberezhnye Chelny: Kamskaya inzhenerno ekonomicheskaya academia; 2012. (In Russ.) EDN: WMPPEV
2. Nikishin VN. *Formation and quality assurance of automotive diesel*. Naberezhnye Chelny: Kamskaya inzhenerno ekonomicheskaya academia; 2006. (In Russ.) EDN: QNTZGF
3. Nikishin VN. *Formation and quality assurance of automotive diesel*. Naberezhnye Chelny: Kamskaya inzhenerno ekonomicheskaya academia; 2008. (In Russ.) EDN: QNTZFL
4. Xiao C, Hu H, Ou-Yang Q, et al. *Analysis of temperature field of multicomponent lubrication for torsional vibration damper*. *Frontiers in Materials*. 2022(9):930825. doi: 10.3389/fmats.2022.930825. EDN: PHGDAQ
5. Ibadullaev A. Development of diagnostics methodology and determination of residual resource for mechanical torsional vibration dampers of ship propulsion complexes. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2024(2):65-75. doi: 10.24143/2073-1574-2024-2-65-75 (In Russ.) EDN: PNEXBW Accessed May 15, 2025.
6. Homik W, Mazurkow A, Woś P. Application of a Thermo-Hydrodynamic Model of a Viscous Torsional Vibration Damper to Determining Its Operating Temperature in a Steady State. *Materials (Basel)*. 2021;(14):5234. doi: 10.3390/ma14185234
7. Sibryaev K, Ibadullaev A, Gorbachev M, et al. System of working fluid supply in a model spring torsional vibration damper. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2024(4):46-53. doi: 10.24143/2073-1574-2024-4-46-53 (In Russ.) EDN: PSRYYT
8. Nikishin VN. *Formation and provision of quality indicators for automotive diesels at the stage of their design and refinement*. [dissertation abstract] Moscow; 2007. (In Russ.) EDN: MAGDWS
9. Popov KS, Nikishin VN. Methodology of the engine temperature mode studying. *Mezhdunarodny zhurnal*. 2016(5):60-63. doi: 10.18454/IRJ.2016.52.158 (In Russ.) EDN: XDNALT
10. Nikishin VN, Svetlichnyi KN. Diagnostics of the silicone damper of torsional vibrations of the crankshaft according to vibration parameters. *Lesa Rossii I hosyaistvo v nih*. 2012(1-2):77-77. (In Russ.) EDN: PVJQGR
11. Nikishin VN, Belokon KG, Sibiryakov SV. Impact processes in crankshaft sliding bearings from torsional vibrations. *Lesa Rossii I hosyaistvo v nih*. 2012(1-2):78–81. (In Russ.) EDN: PVJQHB

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

* Костина Альбина Рустамовна,
аспирант кафедры «Автомобилей»
Набережночелнинского института;
адрес: Россия, 423822, Набережные Челны,
ул. Шамиля Усманова, д. 18;

* Albina R. Kostina,
postgraduate of the Vehicles Department of the
Naberezhnye Chelny Institute;
address: 18 Shamilya Usmanova st, Naberezhnye
Chelny, Russia, 423822;

THEORY, DESIGN, TESTING

ORCID: 0009-0003-0291-923X;

eLibrary SPIN: 2612-7997;

e-mail: satullaevaar@gmailcom

Соавтор:

Никишин Вячеслав Николаевич,

д-р техн. наук, профессор,

профессор кафедры «Автомобилей»

Набережночелнинского института;;

ORCID: 0009-0004-3880-9419;

eLibrary SPIN: 6978-1196;

e-mail: VNNikishin@kpfu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ORCID: 0009-0003-0291-923X;

eLibrary SPIN: 2612-7997;

e-mail: satullaevaar@gmailcom

Co-Authors:

Vyacheslav N. Nikishin,

Dr. Sci. (Engineering), Professor,

Professor of the Vehicles Department

Department of the Naberezhnye Chelny Institute;

ORCID: 0009-0004-3880-9419;

eLibrary SPIN: 6978-1196;

e-mail: VNNikishin@kpfu.ru