

Оригинальное исследование

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-635969>

EDN: ACRKIJ

Термометрирование демпфера крутильных колебаний коленчатого вала автомобильного восьмицилиндрового дизеля

А.Р. Костина, В.Н. Никишин

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Крутильные колебания при высоких значениях могут приводить к поломке коленчатого вала. Для их снижения на переднем фланце коленчатого вала высокофорсированных рядных дизелей устанавливается демпфер. Эффективность применения демпферов крутильных колебаний зависит как от конструктивных характеристик самих демпферов, так и от условий работы двигателя. Для комплексной оценки эффективности работы демпфера проводят мониторинг амплитуды колебаний переднего фланца коленчатого вала. 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, проводимые на восьмицилиндровом автомобильном дизеле. Величина угла закрутки носка коленчатого вала определялась при работе дизеля по внешней скоростной характеристике методом торсиографирования на специальном испытательном стенде. Тепловое состояние демпферов оценивалось методом термометрирования, с использованием специальных термодатчиков, измерение проводилось на номинальном режиме работы двигателя.

Результаты. Проведено сравнение величин углов закрутки носка коленчатого вала с демпфером и без него, с определением резонансных частот вращения коленчатого вала. 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. 270–277. DOI: 10.17816/0321-4443-635969 EDN: ACRKIJ

Original Study Article

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-635969>

EDN: ACRKIJ

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

Albina R. Kostina, Vyacheslav N. Nikishin

Kazan Federal University, Kazan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: High torsional vibrations can lead to crankshaft failure. To reduce them, a damper is installed on the front crankshaft flange of high-powered inline diesel engines. The performance of torsional vibration dampers depends both on the damper design and the engine operating conditions. For a comprehensive assessment of damping performance, vibration amplitude of the crankshaft front flange is monitored. Thermal profiling of liquid dampers allows to determine their performance and characterize the changes in their thermal state based on temperature changes of the engine's working fluid.

AIM: To study the damper thermal state and its influence on the torsional vibration damping performance.

METHODS: This study used experimental methods, conducted on an eight-cylinder automobile diesel engine. The value of the crankshaft twist angle was determined during the operation of the diesel engine by the external speed characteristic by torsiography on a special test bench. The thermal condition of the dampers was assessed by thermometry using special thermocouples, the measurement was carried out at the rated operating mode of the engine.

RESULTS: Thermal profiling of torsional vibration dampers was conducted. The authors determined the relationship between the crankshaft torsion angle, oil and damper temperature, and the warm-up time at 2,400 rpm.

CONCLUSION: The damper thermal state depends on the oil temperature in the engine pan and does not depend on the location of the measuring points on the housing. There are minor changes of the crankshaft twist angle when operating for 1 hour at 2,400 rpm.

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

To cite this article:

Kostina AR, Nikishin VN. Thermal Profiling of Crankshaft Torsional Vibration Damper for Eight-Cylinder Automotive Diesel Engine. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(3):270–277. DOI: 10.17816/0321-4443-635969 EDN: ACRKIJ

Submitted: 13.09.2024

Accepted: 28.06.2025

Published online: 01.07.2025

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. 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).

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].

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. Чтобы оценить эффективность демпфера при разных режимах работы двигателя было проведено торсиографирование колебаний носка коленчатого вала с одновременным контролем температуры демпфера двигателя 8ЧН13/12.

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.

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



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

Fig. 1. Damping performance of the front main support coupling bolt of the 8CN 12/13 diesel engine: 1, w/o torsional vibration damper; 2, w/damper.

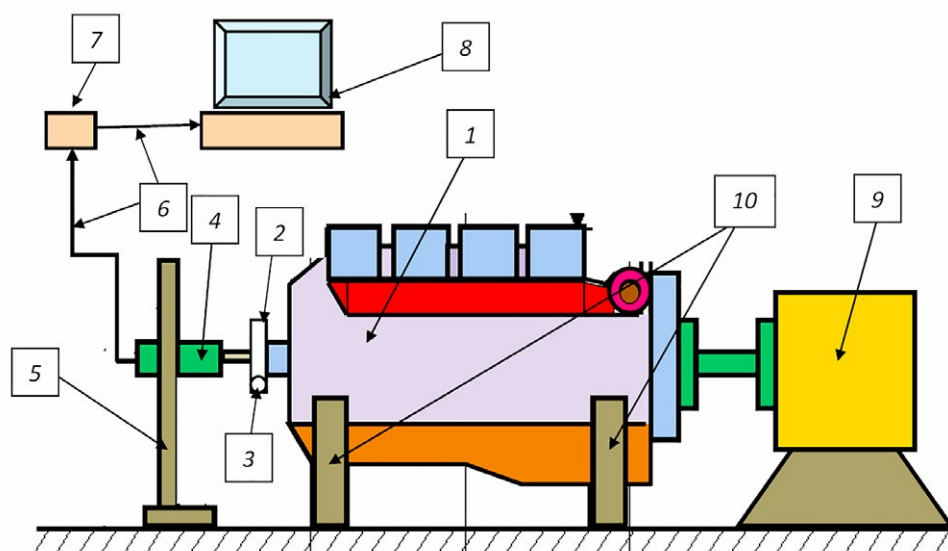


Рис. 2. Схема монтажа оборудования при торсиографировании коленчатого вала: 1 — двигатель; 2 — шайба с датчиками; 3 — акселерометры; 4 — токосъёмник; 5 — кронштейн; 6 — кабели; 7 — виброизмеритель; 8 — компьютер; 9 — тормозное устройство; 10 — опоры двигателя.

Fig. 2. Equipment installation for crankshaft torsioigraphy: 1, engine; 2, washer with sensors; 3, accelerometers; 4, collector; 5, bracket; 6, cables; 7, vibration meter; 8, computing device; 9, braking gear; 10, engine mounts.

монтажа оборудования при торсиографировании коленчатого вала.

Для проведения испытаний было изготовлено два жидкостных демфера 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.

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 на 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° и 0,186° при 1750 и 1950 мин⁻¹ с 8

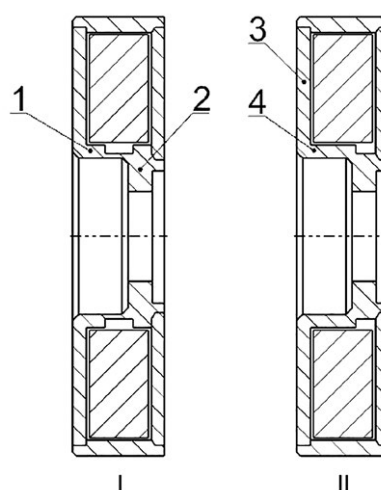


Рис. 3. Схема установки термопар на демпферах: I вариант — канавка на опорной поверхности находится посередине (1, 2 — термопары); II вариант — канавка смещена на край (3, 4 — термопары).

Fig. 3. Thermocouple layout on dampers: option 1, the groove on the supporting surface is located at the center (1, 2 are thermocouples); option 2, the groove is shifted to the edge (3, 4 are thermocouples).

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.

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.

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 $0,006 \dots 0,008^\circ$. 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-й 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} .

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование затрагивает проблему снижения крутильных колебаний коленчатого вала дизеля повышенной мощности. Результаты, полученные в ходе

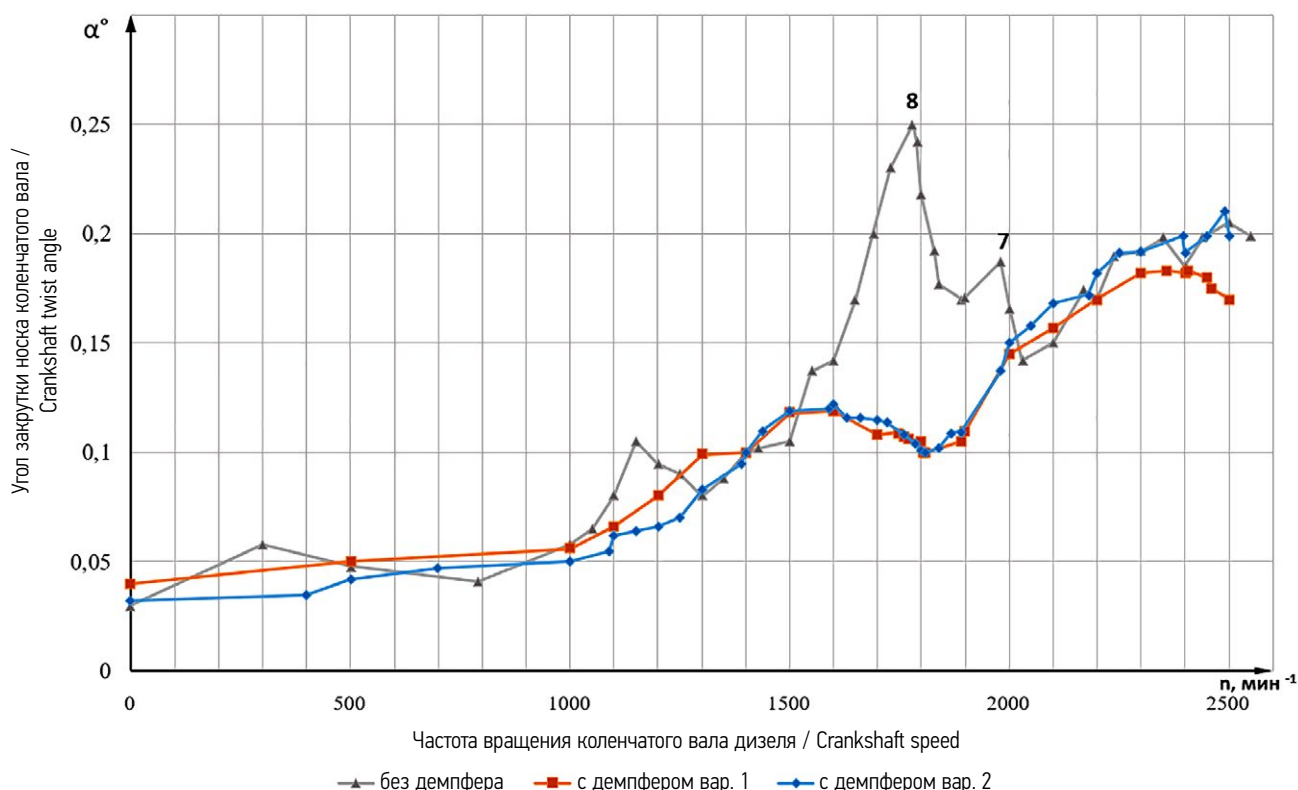


Рис. 4. Зависимость угла закрутки коленчатого вала от его частоты вращения: без демпфера крутильных колебаний и с двумя конфигурациями демпферов (8, 7 — моторные гармоники).

Fig. 4. Relationship between the crankshaft twist angle and its speed without a torsional vibration damper and with two damper options (8, 7 are engine harmonics).

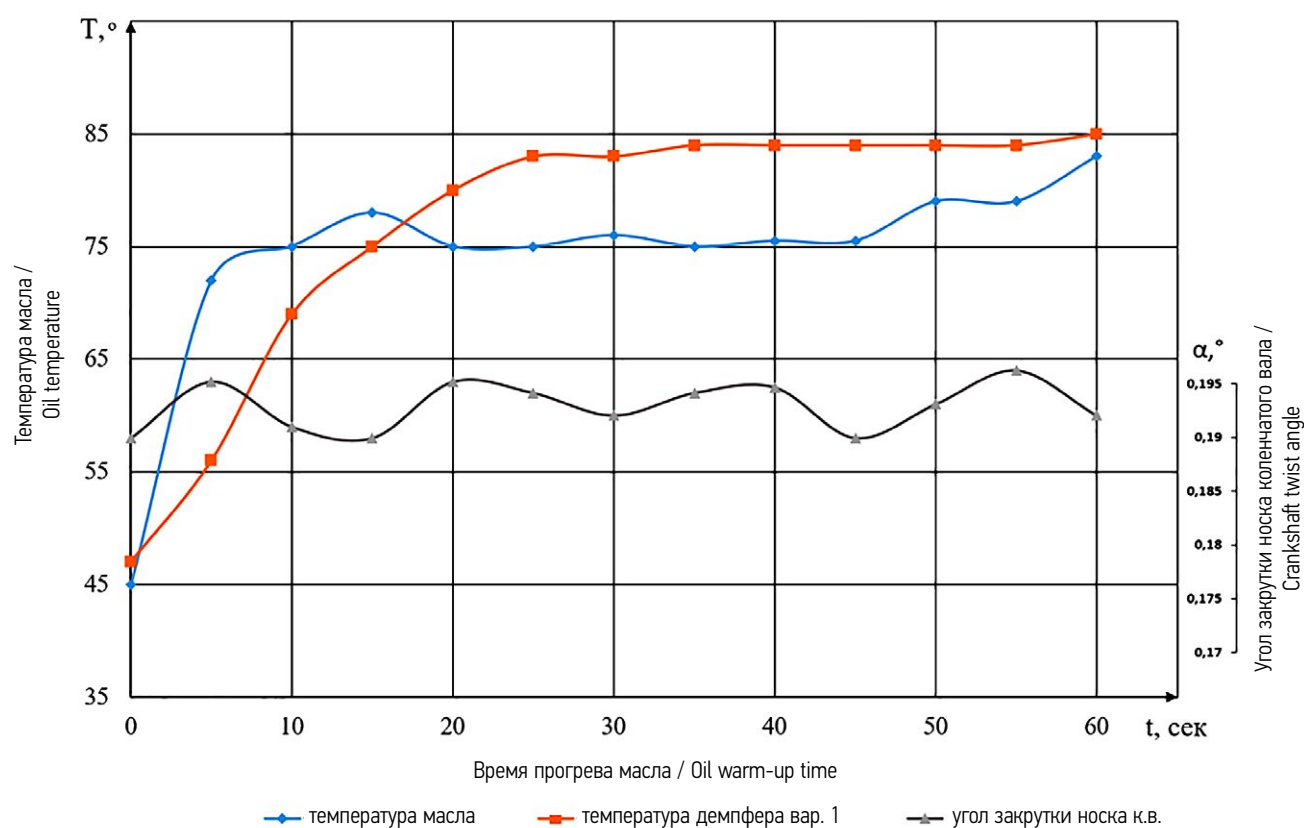


Рис. 5. Зависимость угла закрутки коленчатого вала, температуры масла и демпфера (вариант 1) в т. 2, 3, 4 от времени прогрева при 2400 мин⁻¹.
Fig. 5. Relationship between the crankshaft twist angle, oil temperature, and damper temperature (option 1) in points 2, 3, 4 and the warm-up time at 2,400 rpm.

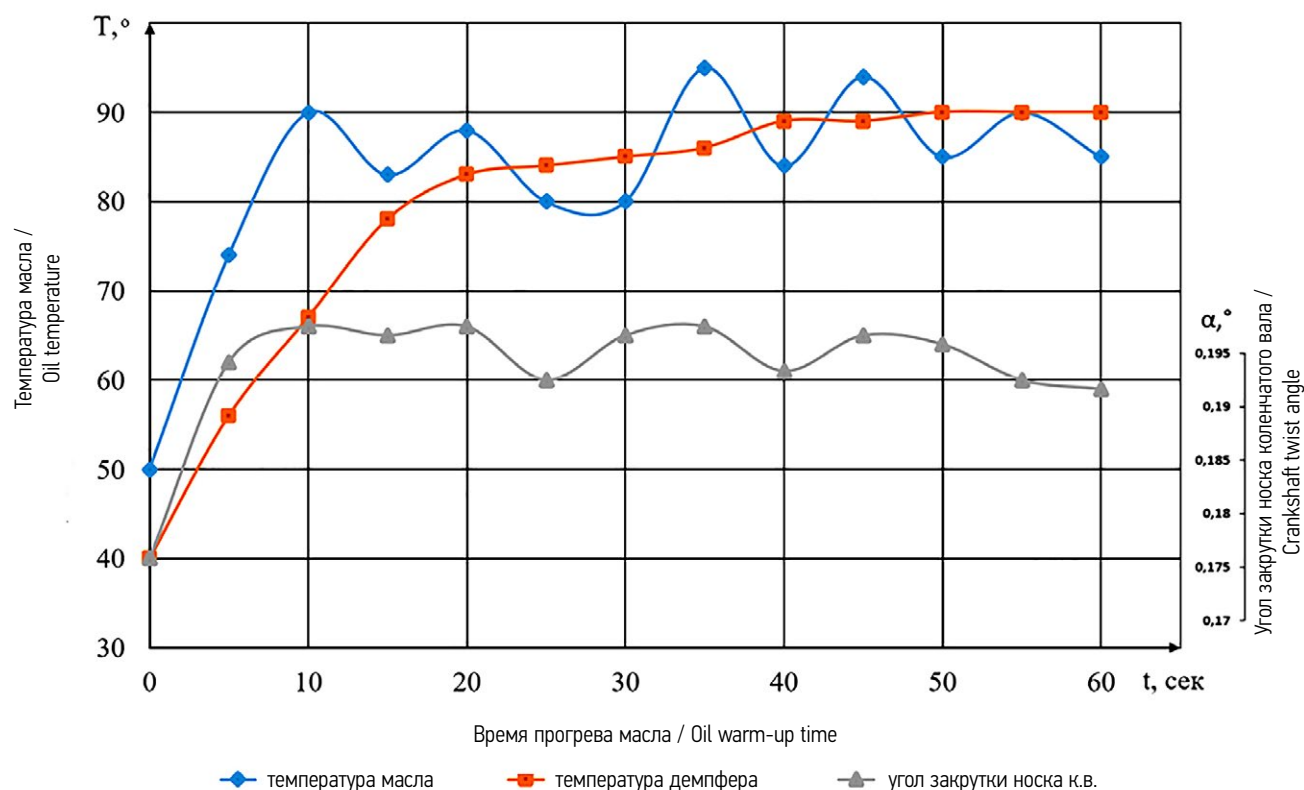


Рис. 6. Зависимость угла закрутки коленчатого вала, температуры масла и демпфера (вариант 2) в т. 2, 3, 4 от времени прогрева при 2400 мин⁻¹.
Fig. 6. Relationship between the crankshaft twist angle, oil temperature, and damper temperature (option 2) in points 2, 3, 4 and the warm-up time at 2,400 rpm.

исследования, свидетельствующие о возникновении опасных углов закрутки носка коленчатого вала и возникновении резонансных частот подтверждают, что современные дизели невозможно эксплуатировать без применения демпферов. Крутильные колебания с точки зрения механики имеет логическое объяснение. Увеличение мощности связано с ростом среднего эффективного давления в цилиндрах, что приводит к увеличению амплитуды возмущающего момента. Это в свою очередь, повышает уровень крутильных напряжений и риск разрушения коленчатого вала. Такие выводы подчеркивают важность подбора демпфера. Данные, полученные о тепловом состоянии жидкостных демпферов, а именно, зависимость температуры демпфера и температуры масла, дают возможность проводить мониторинг исправности демпфера в реальных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При работе двигателя без демпфера возникают резонансные частоты вращения коленчатого вала, с углом закрутки носка коленчатого вала $0,252^\circ$. 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. Результаты исследования эффективности демпфера, объединяющие в себе торсиографирование коленчатого вала и термометрирование демпфера делают исследование комплексным не только с точки зрения оценки крутильных нагрузок, но и оценки теплового состояния жидкостных демпферов. Важным практическим результатом работы является доказательство того, что тепловое состояние жидкостного демпфера определяется температурой масла в поддоне картера двигателя. Это вносит прямой вклад в повышение надёжности и предотвращении резонансных разрушений коленчатых валов двигателей.

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 использовались.

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: Not applicable.

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 V.N. *The applied theory of oscillations in automobile and engine construction*. Naberezhnye Chelny: Kamskaya inzhenerno ekonomicheskaya academia; 2012. (In Russ.) EDN: WMPPEV
2. Nikishin V.N. *Formation and quality assurance of automotive diesel*. Naberezhnye Chelny: Kamskaya inzhenerno ekonomicheskaya academia; 2006. (In Russ.) EDN: QNTZGF
3. Nikishin V.N. *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: PNEBXW 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: PSRYT
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 hosiyaistvo 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 hosiyaistvo v nih*. 2012(1–2):78–81. (In Russ.) EDN: PVJQHB

ОБ АВТОРАХ

*** Костина Альбина Рустамовна,**
аспирант кафедры «Автомобилей»
Набережночелнинского института;
адрес: Россия, 423822, Набережные Челны,
ул. Шамиля Усманова, д. 18;
ORCID: 0009-0003-0291-923X;
eLibrary SPIN: 2612-7997;
e-mail: satullaevaar@gmail.com

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

AUTHORS' INFO

*** Albina R. Kostina,**
Postgraduate of the Vehicles Department of the Naberezhnye
Chelny Institute;
address: 18 Shamilya Usmanova st,
Naberezhnye Chelny, Russia, 423822;
ORCID: 0009-0003-0291-923X;
eLibrary SPIN: 2612-7997;
e-mail: satullaevaar@gmail.com

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

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author