

изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2005. – Т. 1: Теория рабочих процессов. – 479 с.

3. Шароглазов, Б. А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов / Шароглазов Б. А. // Энергомашиностроение. – Челябинск, 2005. – С. 244.

4. Двигатели внутреннего сгорания : Теория поршневых и комбинированных двигателей ; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 372 с.

5. Тепловые потери и тепловой КПД. – URL: https://zero-100.ru/index/umenshit_teplovy_e_poteri/0-259 (дата обращения: 19.01.2025).

6. Потери энергии в дизельном двигателе. – URL: <https://mirmarine.net/dvs/658-poteri-energii-v-dizelnom-dvigatеле-teplovoj-balans-dizelnogo-dvigatelya> (дата обращения: 19.01.2025).

Представлено 29.05.2025

УДК 621.333

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ (РЕТАРДЕРЫ), СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

**AUXILIARY BRAKING SYSTEMS (RETARDERS),
MODERN AND PROSPECTIVE SOLUTIONS.**

Тихонович И. В., студ., **Поварехо А. С.**, канд. техн. наук, доц.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

I. Tikhonovich, Student, **A. Pavarekha**, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

В работе изложены принципы работы различных типов ретардеров, представлены конструктивные особенности, проведен анализ по эффективности эксплуатации каждого, рассмотрены современные и перспективные решения.

The paper outlines the operating principles of various types of retarders, presents design features, analyzes the operating efficiency of each, and examines modern and promising solutions.

Ключевые слова: ретардер, эффективность, безопасность, тормозная система, рекуперация энергии, технологии, инновации.

Keywords: retarder, efficiency, safety, braking system, energy recovery, technology, innovation.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вспомогательные тормозные системы представлены тремя вариантами исполнения: моторный тормоз, гидродинамический и электромагнитный ретардеры.

Среди этих вариантов более эффективными и безопасными решениями для мобильных машин являются ретардеры, которые экономически выгодны благодаря снижению затрат на обслуживание традиционных тормозных систем и увеличению их ресурса. Кроме того, они способствуют снижению расхода топлива на 2–3 % за счет более эффективного управления скоростью, повышению эффективности управления транспортным средством в сложных условиях, комфорту водителя, увеличению интервалов между техническим обслуживанием тормозной системы, являются экологичными.

Цель работы – рассмотреть варианты вспомогательной тормозной системы, выявить конструктивные особенности и перспективные решения.

СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ РЕТАРДЕРОВ

По мере увеличения количества транспортных средств и скоростей их движения постоянно растет потребность обеспечения безопасности и эффективности их эксплуатации. Тормозная система относится к разряду активных систем безопасности, то есть к тем, которые призваны предотвратить и не допустить создание дорожно-транспортного происшествия. По нормативным документам [1] эффективность вспомогательной тормозной системы считается достаточной, если на уклоне в 7 % длиной 7 км скорость автомобиля подерживается в пределах (30 ± 5) км/ч.

Как указывалось выше, среди вариантов вспомогательных тормозных систем оптимальным решением для мобильных машин и специализированной техники являются ретардеры. Поскольку в процессе длительного движения машины на спуске тормозная система теряет свою эффективность за счет нагрева тормозных механизмов и снижения коэффициента трения. Ретардер позволяет поддерживать постоянную скорость на спуске и обеспечивает торможение без перегрева тормозных колодок, а также гасит значительную часть энергии торможения, существенно снижая нагрузку на основные тормозные механизмы, что приводит к уменьшению их износа на 30–50 %. Это, в свою очередь, способствует увеличению срока службы тормозных колодок и дисков, а также снижает необходимость частого технического обслуживания.

Тормозной момент в гидродинамическом тормозе (ГДТ) создается за счет циркуляции жидкости между ротором и статором [2]. Используется в основном на грузовых автомобилях и другой тяжелой технике. Однако стоит отметить самым главными недостатками этого ретардера является потенциальные утечки жидкости, довольно большие габариты и вес, задержка срабатывания тормоза на малых оборотах.

Исходя из анализа результатов испытаний, приведенных в работе [3] и представленных на рис. 1, видно, что при увеличении частоты вращения выходного вала тормозной момент плавно повышается.

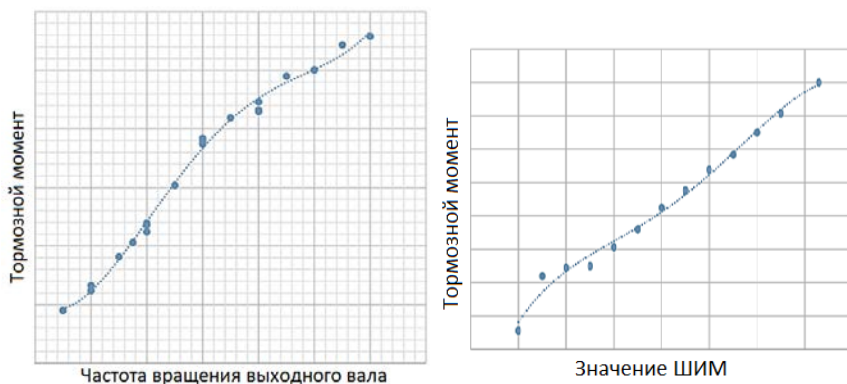


Рисунок 1 – Качественные характеристики ГДТ

При этом изменение управляющего сигнала (каковым и является значение ШИМ), т. е. система управления ГДТ, способна создавать и плавно регулировать тормозной момент в зависимости от потребностей водителя или условий движения автомобиля.

Тормозное усилие электромагнитного ретардера (ЭМР) возникает за счет взаимодействия электромагнитного поля, которое создается электромагнитами. Стоит подчеркнуть главное преимущество этого ретардера, это быстрый отклик на управляющее воздействие.

Благодаря более быстрому и точному торможению ЭМР становится все более предпочтительным решением для современных автобусов. В отличие от гидродинамического варианта, который требует времени для заполнения маслом рабочей полости, электромагнитная система срабатывает мгновенно, что особенно важно в условиях городского движения с его частыми остановками и резкими замедлениями. Для большинства современных автобусов, особенно использующих альтернативные силовые установки, ЭМР представляет собой оптимальный выбор [4]. Отсутствие масляного контура в ЭМР не только упрощает конструкцию, но и снижает эксплуатационные расходы, исключая риски утечек и необходимость регулярного обслуживания гидравлики. Однако главными недостатками этого ретардера является относительно малая мощность, а также нагрев электромагнитов при длительной работе, что может привести к снижению эффективности торможения (рис. 2).

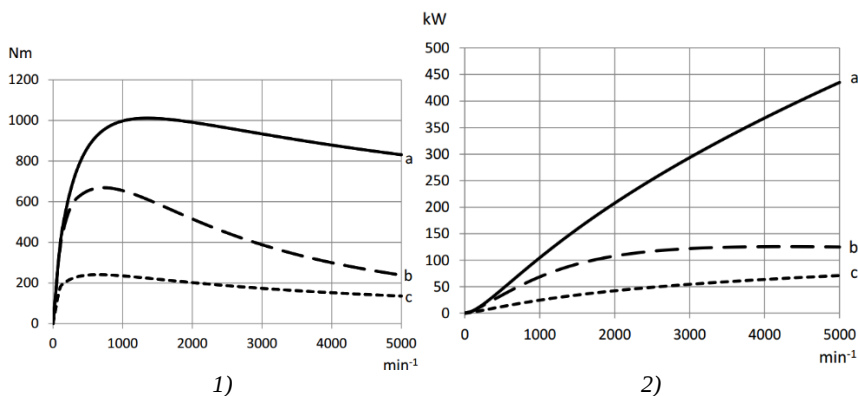


Рисунок 2 – График зависимости тормозного момента (а) и поглощаемой мощности (б) от частоты вращения ротора модели тормоза AF51-00:

a – в холодном состоянии; *b* – после 3 минут работы; *c* – после 60 минут работы

Стоит отметить, что примером успешного применения технологического торможения является ЭМР, активно используется в грузовых автомобилях марки MAN и VOLVO. Такие решения демонстрируют эффективность инноваций в обеспечении надежности и долговечности тормозных систем.

Развитие ЭМР направлено на создание более мощных и компактных устройств, интегрированных с системами управления двигателем и трансмиссией, особенно в гибридных и электрических транспортных средствах. ЭМР могут работать совместно с системами рекуперативного торможения в гибридных и электрических машинах, обеспечивая использовать энергию торможения для подзарядки аккумуляторов.

Разрабатываются новый тип ретардера, в котором при торможении происходит преобразование энергии в электрическую в аккумуляторы или другие узлы автомобиля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование новых материалов и технологий, таких как композитные материалы и высокопрочные стали, способствовали снижению веса, повышению прочности и износостойкости компонентов тормозных систем.

Среди всех типов ретардеров, стоит отметить, что ЭМР демонстрирует лучшую эффективность, поскольку может интегрироваться с системами рекуперации энергии в гибридных и электрических автомобилях, возвращая часть мощности обратно в бортовую сеть (не во всех моделях), а также сам ретардер компактный и легкий. Некоторые ретардеры могут интегрироваться с системой адаптивного круиз-контроля, автоматического экстренного торможения и помощи при спуске для обеспечения безопасного торможения в различных ситуациях.

Для более точного отслеживания состояния ретардера следует предусмотреть возможность установки датчиков для мониторинга состояния, оптимизации работы, диагностики неисправностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 22895-77. Государственный Стандарт Республики Беларусь. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных

средств. Нормативы эффективности. Общие технические требования : Введ. 01.01.81. – Мн. : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 20 с.

2. Гидродинамический ретардер Voith. – URL: <https://os1.ru/article/7112-gidrodynamichek-retardery-voith> (дата обращения: 05.06.2025).

3. Результаты стендовых испытаний гидравлического тормоза-замедлителя с системой управления производства ОАО МЗКТ. – URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/125781/66-73.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 05.06.2025).

4. Гидродинамический и электромагнитный ретардер. – URL: <https://autobus.biz/about-retarders/> (дата обращения: 05.06.2025).

Представлено 06.06.2025

УДК 621.43

КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

TORSIONAL VIBRATIONS OF CRANKSHAFT

Фалалеев С. Ф., студ., **Никишев А. А.**, ст. преп.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

S. Falaleev, Student, A. Nikishev, Senior Lecturer,
Belarusian national technical University, Minsk, Republic of Belarus

В статье рассмотрены крутильные колебания коленчатых валов, а также факторы, влияющие на прочность коленчатых валов и способы уменьшения крутильных колебаний коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания.

The article examines torsional vibrations of crankshafts, as well as factors affecting the strength of crankshafts and methods for reducing torsional vibrations of crankshafts of internal combustion engines.