

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА СОВРЕМЕННОЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКЕ

ENSURING THE RELIABILITY OF THREADED CONNECTIONS ON MODERN AUTOMOTIVE VEHICLES

Б.С. АНТРОПОВ, д.т.н.
Е.И. КУБЕЕВ
Т.В. ПОГОДИНА

Ярославский технический университет, Ярославль,
Россия, kubeevei@mail.ru

B.S. ANTROPOV, DSc in Engineering
E.I. KUBEEV
T.V. POGODINA

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,
kubeevei@mail.ru

При форсировке двигателей возрастают нагрузки на детали узлов и агрегатов автотракторной техники, но особенно на детали самих ДВС, которые подвержены действию газовых, инерционных и тепловых нагрузок. В связи с этим к резьбовым соединениям машин предъявляются серьезные требования; исключить самоотворачивание соединений в процессе эксплуатации и, тем самым, регулярный контроль состояния резьб, а также необходимость их подтяжки при проведении ТО вплоть до капитального ремонта. В статье рассмотрены методы повышения надежности резьбовых соединений: изменение формы и геометрии резьбовых элементов, применение гелей и клеев в резьбовых соединениях при их монтаже, использование обжимных болтов при сборке рам автомобилей и внедрение метода затяжки болтов в несколько приемов по крутящему моменту и углу их поворота. Сделана оценка их эффективности в эксплуатации.

Ключевые слова: техническое обслуживание, снижение трудоемкости, надежность резьбовых соединений, болты с рифлениями и насечками.

When forcing engines, loads on parts of components and assemblies of automotive vehicles, but especially on parts of ICE itself, which are subject to gas, inertial and thermal loads increase. In this regard, serious requirements are made for threaded joints of machines – to exclude self-loosening of joints during operation and thereby regular monitoring of the condition of the threads and the need to tighten them during maintenance up to overhaul. The article discusses methods for improving the reliability of threaded joints: changing the shape and geometry of threaded elements, the use of gels and adhesives in threaded joints during their installation, the use of crimp bolts when assembling vehicle frames and the introduction of a method of tightening bolts in several stages in terms of torque and angle of rotation. An assessment of their effectiveness in operation was made.

Keywords: maintenance, reduced labor intensity, reliability of threaded connections, bolts with corrugations and notches.

Введение

Процесс совершенствования автотракторной техники всегда направлен на повышение ее производительности, надежности и улучшение эксплуатационных показателей, а также на снижение расходов топлива и картерного масла двигателей. Указанные показатели в значительной степени связаны с модернизацией двигателей, в том числе с их форсировкой по наддуву (значительно реже – по частоте вращения коленчатого вала). При форсировке возрастают нагрузки на все узлы и агрегаты автомобилей и тракторов, но особенно на детали двигателей, которые подвержены действию газов, тепловых и инерционных сил. В связи с этим предъявляются серьезные требования к резьбовым соединениям машин, от которых требуется сохранение преднатяга, создаваемого при сборке на заводах-изготовителях.

Сохранение преднатяга в процессе эксплуатации исключает самоотворачивание, а следовательно, и необходимость регулярного контроля состояния резьбовых соединений и их подтягивания до нормы при ТО автомобилей и тракторов вплоть до капитального ремонта.

На данный момент широко применяемые в отечественном автотракторном машиностроении такие элементы резьбовых соединений, как болты, гайки, плоские и пружинные шайбы (шайбы Гровера) приводят при эксплуатации указанной техники к следующим нежелательным явлениям:

- снижение усталостной прочности за счет концентрации напряжений во впадинах резьбы;
- неравномерность нагрузок на сопряженных витках;
- большая вероятность самоотвинчивания при воздействии знакопеременных нагрузок на оси;
- быстрый износ и ослабление резьбового соединения при частых разборках/сборках.

Цель исследования

Повышение надежности резьбовых соединений как на двигателях, так и на автомобилях и тракторах в целом.

Материалы и методы

Объектом исследования являются современные автомобили и тракторы (а также установки на их базе), на которых внедрены инновационные решения по резьбовым соединениям

(конструкторские и технологические). Указанная техника эксплуатируется на базовых предприятиях г. Ярославля и Ярославской области, где студенты кафедры «Автомобильный транспорт» ЯГТУ проходят производственную практику при обучении их по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов».

За критерий оценки степени форсировки была использована литровая мощность двигателя, определяемая как:

$$N_n = \frac{N_e}{V_h} \quad (1)$$

где N_e – мощность двигателя, определяемая при его работе в заводских условиях; V_h – рабочий объем двигателя, л.

Мощность двигателей иностранного производства рекламируются всегда как «чистая» мощность, подводимая к трансмиссии автомобиля или трактора (мощность нетто – N_n).

Мощность двигателей отечественного производства приводится как мощность «брутто» – N_b , для которой справедливо следующее:

$$N_b = N_e \text{ и } N_n = N_e - \Delta N, \quad (2)$$

где ΔN – потери мощности двигателя на привод его вспомогательных агрегатов (вентилятора системы охлаждения, генератора, насоса гидроусилителя руля, компрессоров системы тормозов и кондиционера в кабине водителя).

Из практики известно, что $\Delta N = 0,1 \Delta N_e$ и поэтому $N_n = 0,9 \Delta N_e$.

Это соотношение было использовано для сравнения литровой мощности N_e двигателей новой серии ЯМЗ-530 (двигатели рядные, диаметр поршня 105 мм, ход поршня 128 мм) с аналогичным показателем двигателей иностранного производства.

Производство двигателей ЯМЗ-530 было освоено Ярославским моторным заводом в 2015–2016 гг.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведен график роста N_e по годам выпуска для автомобильных двигателей иностранного производства. Там же показана точка В соответствующая наиболее форсированным по наддуву новым двигателям ЯМЗ-530. Положение точки В определено по результатам выполненных расчетов:

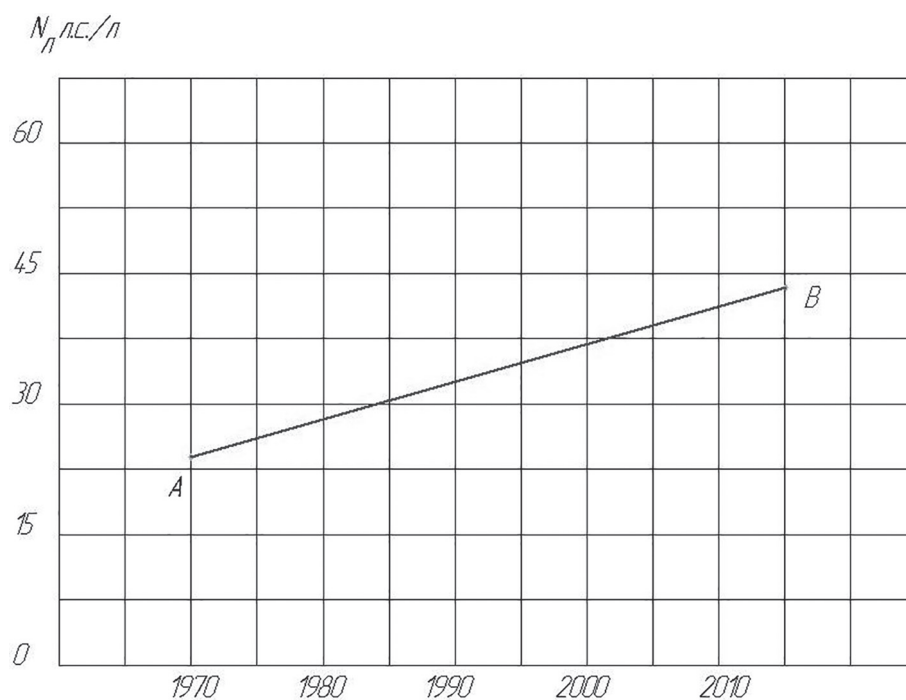


Рис. 1. Динамика роста литровой мощности автомобильных дизельных двигателей по годам выпуска

а) двигатели ЯМЗ-534 и их модификации – 4-цилиндровые, $V_h = 4,43$ л, мощностной ряд $N_e = 110 \div 154$ кВт (150 ÷ 210 л.с.), максимальная форсировка:

$$N_{л} = 0,9 \cdot 210 / 4,43 = 42,7 \text{ л.с./л.};$$

б) двигатели ЯМЗ-536 и их модификации – 6-цилиндровые, $V_h = 6,65$ л., мощностной ряд $N_e = 176 \div 243$ кВт (240 ÷ 330 л.с.), максимальная форсировка:

$$N_{л} = 0,9 \cdot 330 / 6,65 = 44,7 \text{ л.с./л.}$$

Как следует из рис. 1, литровая мощность новых автомобильных двигателей ЯМЗ-530 соответствует мировой тенденции ее роста. Следует отметить, что с 1995 по 2015 г. (за 20 лет) литровая мощность двигателей выросла примерно 1,3 раза.

Следует также отметить, что по другим показателям двигателя ЯМЗ-530 также соответствуют мировому уровню (расход топлива и картерного масла, весовые показатели, вредность выпускных газов).

Двигатели ЯМЗ-530 оснащены электронным управлением, системой топливоподачи типа Common Rail, 4-клапанными головками цилиндров, рекуперацией выпускных газов и многим другим.

На данный момент ведется активный поиск решений, направленных на устранение недостатков применяемых резьбовых соеди-

нений, отмеченных выше. Рассматривается, в частности, способ изменения форм и геометрии крепежных элементов. Ранее более распространенным способом было применение пружинных и плоских шайб, однако данный метод постепенно теряет актуальность. Теперь большее распространение получают болты и гайки, изготовленные за одно целое с плоскими шайбами. Поверхности таких шайб, контактирующие с поверхностями соединяемых деталей, имеют рифление или насечку для исключения самоотвинчивания (рис. 2) [1].

Другим методом достижения необходимых характеристик резьбовых соединений является применение гелей и клеев, которые наносятся на поверхности с резьбой, а при контакте с металлом и отсутствии воздуха они полимеризуются, решая, таким образом, проблему самоотвинчивания (рис. 3) [2].

За счет полимеризации достигается герметичность резьбовых соединений, обеспечивается защита резьбы от коррозии, заедания и фрикционного спекания, а также гарантируется высокая прочность и стойкость к вибрациям. Причем данный способ универсален (пригоден для любых резьбовых соединений), не требует значительных инвестиций, при этом показывает высокие характеристики сохранения усилия преднатяга резьбового соединения (рис. 3). Недостатком указанного метода является тот факт, что фирмы- изгото-

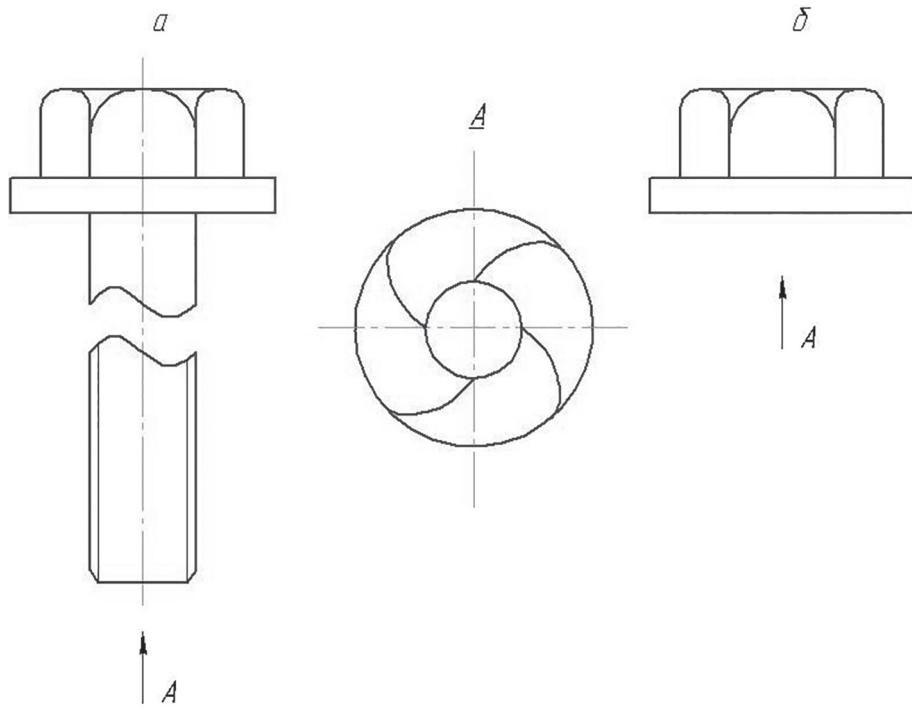


Рис. 2. Детали резьбовых соединений:
а – болт, б – гайка

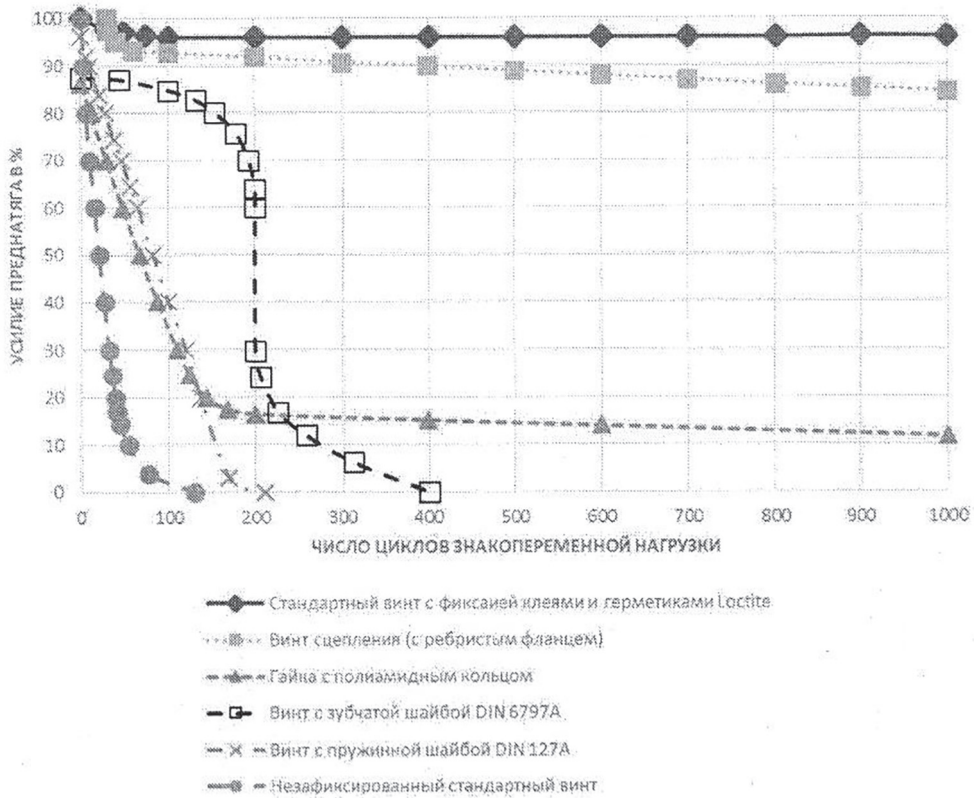


Рис. 3. График изменения усилия преднатяга в резьбовых соединениях в зависимости от числа циклов знакопеременной нагрузки

водители автотранспортных средств рекомендуют при переборке узлов и агрегатов в условиях эксплуатации менять на новые неиспользованные крепежные элементы.

Другим новым и прогрессивным решением является применение обжимных болтов [3]. Раньше для сборки рам автомобилей применялся, несомненно, надежный, но и не менее затратный метод полнотелой горячей заклепки. Применение обжимных болтов обладает аналогичными характеристиками при меньших затратах по трудоемкости и оборудованию. В качестве примера можно привести рамы таких грузовиков, как MAN, Volvo и Scania, где успешно используется рассматриваемый метод.

Обжим гайки на болте ведется с помощью ручного пневмогидравлического инструмента. Процесс обжима гайки показан на рис. 4. Недостатком рассмотренного метода является тот факт, что он применяется для соединения только плоских деталей.

Наряду с рассмотренными методами, для ответственных резьбовых соединений двигателей (шатунные болты, болты крепления головок цилиндров и крышек коренных опор коленчатого вала) широко применяется метод затяжки болтов в несколько приемов по крутящему моменту и углу поворота болта. Указанный метод затяжки способствует сглаживанию микронеровностей на поверхности резьбовых соединений, и, таким образом, стабилизируется усилие преднатяга в процессе эксплуатации автотракторной техники.

В качестве примера приведен порядок затяжки болтов крепления головок цилиндров двигателей ЯМЗ-530. Он следующий:

1-й прием – болты затянуть моментом $100 \pm 10 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ($10 \pm 1 \text{ кгс} \cdot \text{м}$), после чего на их головки нанести метки фломастером, обращенные в сторону впуска (для затяжки использовать динамометрический ключ);

2-й прием – болты затянуть на $180^\circ \pm 5^\circ$ (две грани болта);

3-й прием – болты довернуть на $90^\circ \pm 5^\circ$ (полторы грани болта).

Указанный метод рекомендуется заводом-изготовителем применять при проведении ремонта двигателей в условиях эксплуатации. На заводе-изготовителе указанный процесс автоматизирован.

Контроль и подтяжка указанного крепления исключены из операции ТО в руководствах по эксплуатации двигателей ЯМЗ-530 [4, 5].

Аналогичный метод затяжки креплений нижних крышек шатунов и крышек опор коленчатого вала рекомендуется проводить при ремонте двигателей в условиях АТП. В руководствах эксплуатации для каждого из указанных креплений определены: количество приемов, значения моментов затяжки и углов поворота болтов.

Здесь необходимо отметить, что на двигателях серии NH американской фирмы «Камминс» для автосамосвалов грузоподъемностью 120 т (мощность двигателей 1200 л.с.) болты крепления крышек коренных опор коленчатого вала рекомендуется затягивать в порядке, указанном в таблице [6].

Таблица

Порядок затяжки болтов крепления крышек коренных опор коленчатого вала двигателей фирмы «Камминс»

Последовательность затяжки	Момент затяжки, кгс·м
1. Затянуть	20,05÷21,4
2. Дотянуть	41,5÷42,9
3. Ослабить болты	полностью
4. Затянуть	19,4÷20,1
5. Дотянуть на	30°

Анализируя таблицу, можно отметить, что сначала болты затягиваются в два приема по крутящему моменту, затем ослабляются

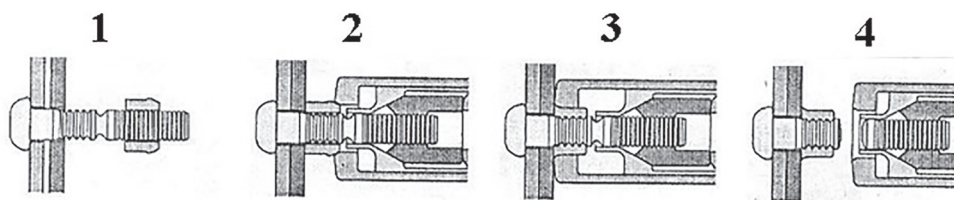


Рис. 4. Процесс обжима гайки:

1 – положение деталей перед обжимом гайки; 2 – смещение гайки по болту до стягивания соединяемых пластин; 3 – обжим гайки; 4 – вытягивание хвостового болта до его отрыва

полностью, и после этого производится окончательная затяжка в два приема: по крутящему моменту и углу поворота болта.

Выводы

1. Изменение формы и геометрии крепежных элементов способствуют увеличению надежности резьбовых соединений в эксплуатации.

2. Применение гелей и клеев в резьбовых соединениях, обжимных болтов и методов затяжки болтов в несколько приемов по крутящему моменту и углу поворота исключают необходимость контроля и подтягивания крепежа при ТО в процессе эксплуатации автотракторной техники.

Литература

1. Современные технологии в системах крепежа [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fixline.in.ua/index.php/useful/articles/item/278-modern-t...>
2. Фиксаторы резьбы Loctite (Локтайт) [Электронный ресурс]. URL: <http://loctite.gluesale.ru/solutions/threadlock/>.
3. Руководство по эксплуатации двигателей ЯМЗ-534 и их модификации (Руководство по эксплуатации 534.3902150РЭ). Ярославль: ПАО «Автомобиль», 2016. 160 с.
4. Руководство по эксплуатации двигателей ЯМЗ-536 и их модификации (Руководство по эксплуатации 536.3902150РЭ). Ярославль: ПАО «Автомобиль», 2013. 240 с.
5. Антропов Б.С., Савельев Г.М. Новые автотракторные дизели ЯМЗ. Ярославль: ЯПИ, 1992. 112 с.
6. Дизельные двигатели «Комачу-Камминз» (серия NH), Cummins NH-BR-1.

References

1. Sovremennye tekhnologii v sistemah krepzha [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.fixline.in.ua/index.php/useful/articles/item/278-modern-t...>
2. Fiksatory rez'by Loctite (Loktajt) [Elektronnyj resurs]. URL: <http://loctite.gluesale.ru/solutions/threadlock/>.
3. Rukovodstvo po ekspluatacii dvigatelej YAMZ-534 i ih modifikacii (Rukovodstvo po ekspluatacii 534.3902150RE) [Operation manual for YaMZ-534 engines and their modifications (Operation manual 534.3902150RE)] YAroslavl': PAO «Avtodizel'» Publ., 2016. 160 p.
4. Rukovodstvo po ekspluatacii dvigatelej YAMZ-536 i ih modifikacii (Rukovodstvo po ekspluatacii 536.3902150RE) [Operation manual for YaMZ-536 engines and their modifications (Operation manual 536.3902150RE)] YAroslavl': PAO «Avtodizel'» Publ., 2013. 240 p.
5. Antropov B.S., Savel'ev G.M. Nove avtotraktornye dizeli YAMZ [New YaMZ automotive diesel engines]. YAroslavl': YAPI Publ., 1992. 112 p.
6. Dizel'nye dvigateli «Komacu-Kamminz» (seriya NH) [Diesel engines «Komatsu-Cummins» (NH series)], Cummins NH-BR-1.