

УДК 621.43

**Нагруженность дизельного топливного насоса высокого давления при
скоростном форсировании**

Салыкин Е.А., Липилин В.И., Скоробогатов А.А., Славутский В.М.

Волгоградский государственный технический университет

Loading of the diesel injection pump at speed forcing

E.A. Salykin, V.I. Lipilin, A.A. Skorobogatov, V.M. Slavutskij

Volgograd State Technical University

Топливный насос высокого давления (ТНВД) — важнейший элемент систем топливоподачи непосредственного действия. Одним из возможных способов улучшения показателей процесса подачи топлива для данных систем является скоростное форсирование ТНВД, при котором скорости вращения вала ТНВД и коленчатого вала в четырехтактном двигателе равны. Скоростное форсирование ТНВД, например, типа YPFE-M, предназначенных для малых дизелей, позволяет значительно увеличить уровень давлений впрыскивания топлива. При скоростном форсировании ТНВД, актуальной становится проблема роста нагруженности его элементов. Однако расчетные исследования показывают, что рост нагрузок для ТНВД типа YPFE-M незначителен — напряжения, действующие в конструктивных элементах ТНВД не превышают допустимых. Результаты натурных экспериментов, выполненных на безмоторном стенде для ТНВД типа YPFE-M дизеля Kiror KM186FA согласуются с данными расчетных исследований. Таким образом, возрастание нагруженности ТНВД не является препятствием для скоростного форсирования ТНВД дизелей малой мощности и не требует внесения изменений в существующую конструкцию ТНВД.

Ключевые слова: дизель, топливный насос высокого давления, скоростное форсирование, нагруженность, топливоподача.

High-pressure fuel pump (HPFP) — the most important element of the direct injection fuel pump systems. One of the possible methods for improvement of parameters of fuel feed process for these systems is speed forcing of HPFP. On this method speed of HPFP shaft is equal to crankshaft speed in 4-stroke engine. Speed forcing of HPFP, for example type YPFE-M used in small diesel engines, provides great increasing of fuel injection pressure level. Speed forcing makes problem of increasing of elements loading topical. But computational researches show that increasing of loading for HPFP type YPFE-M is negligible — strains in structural elements of HPFP doesn't exceed permissible level. The results of experiments performed on non-motor stand for HPFP type YPFE-M of diesel KM186FA are correspond to results of computational research. Thus increasing of HPFP loading doesn't prevent speed forcing of HPFP for low power diesel engines and doesn't require changes in current structure of HPFP.

Keywords: diesel engine, high-pressure fuel pump, speed forcing, loading, fuel feed.

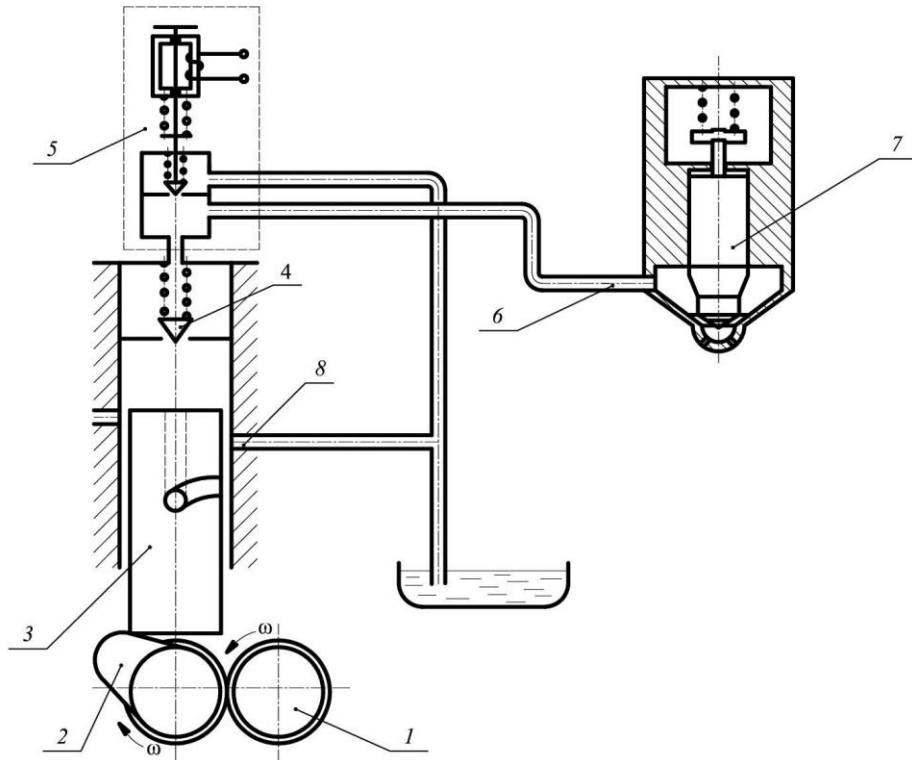
Дизельные топливные насосы высокого давления (ТНВД) имеют существенное значение для формирования функциональных характеристик систем топливоподачи непосредственного действия, до сих пор используемых, в частности, для дизельных двигателей малой мощности. Данные системы, оснащенные механическим регулятором, отличаются относительно низкой стоимостью, высокой надежностью и обеспечивают удовлетворительные мощностные и экономические показатели дизелей. Конструкции ТНВД таких систем используются уже значительный период времени практически без изменений с момента их создания. В частности, ТНВД типа YPFE-M [1], устанавливаемые на одноцилиндровые дизели воздушного охлаждения с непосредственным впрыском топлива фирмы Yanmar и на их аналоги, например, Kipor KM186FA. ТНВД типа YPFE-M (рис. 1), разработанный в середине 80-х годов прошлого века, обеспечивает цикловую подачу до 65 мм^3 с максимальным давлением до 44 МПа [1].



Рис. 1. Общий вид ТНВД типа YPFE-M.

Современные тенденции улучшения показателей дизельных двигателей, особенно ужесточение экологических норм [2], требуют соответствующей оптимизации характеристик процесса подачи топлива [3]. Прежде всего, по нашему мнению, существует необходимость в повышении уровня давлений впрыскивания топлива и в расширении возможностей управления впрыскиванием топлива [4].

Одним из путей совершенствования систем топливоподачи непосредственного действия является скоростное форсирование ТНВД, при котором вал ТНВД вращается с той же скоростью, что и коленчатый вал четырехтактного двигателя [5]. У каждой секции такого ТНВД (рис. 2), наряду с основным нагнетательным ходом плунжера, за счет которого реализуется подача топлива в цилиндр двигателя, появляется дополнительный нагнетательный ход. Дополнительный ход плунжера может быть использован в различных целях, например, для регулирования начального давления топлива в линии высокого давления с помощью управляемого перепускного клапана.

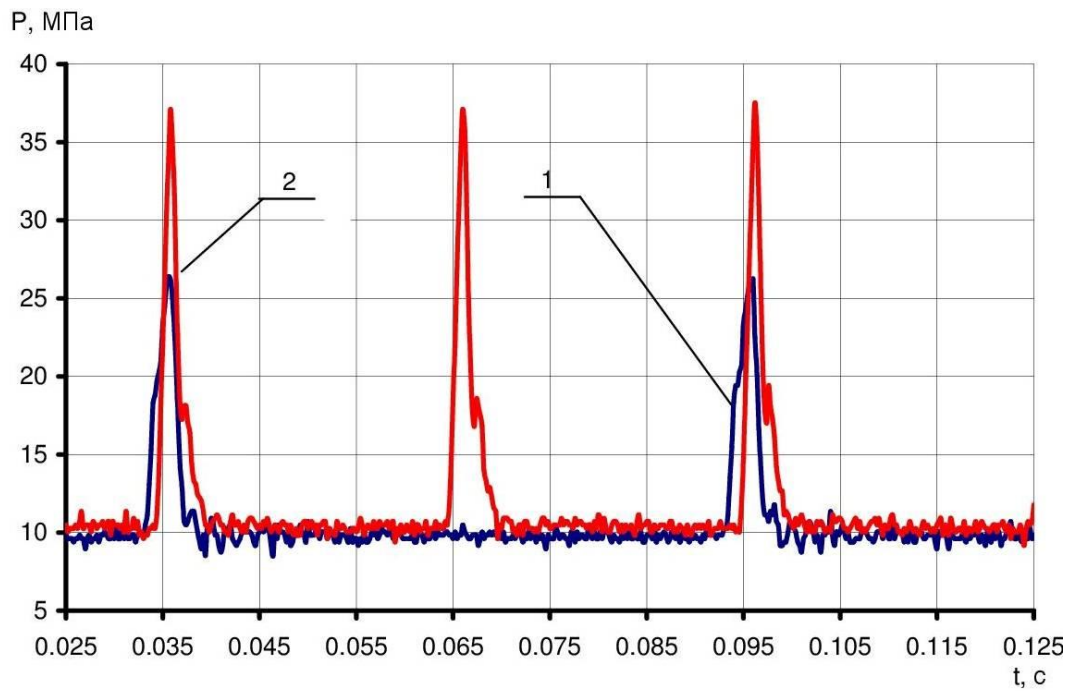


1 – коленчатый вал двигателя, 2 – вал привода ТНВД, 3 – плунжер, 4 – нагнетательный клапан, 5 – перепускной управляемый клапан, 6 – линия высокого давления, 7 – игла форсунки, 8 – линия низкого давления

Рис. 2. Схема системы топливоподачи со скоростным форсированием ТНВД

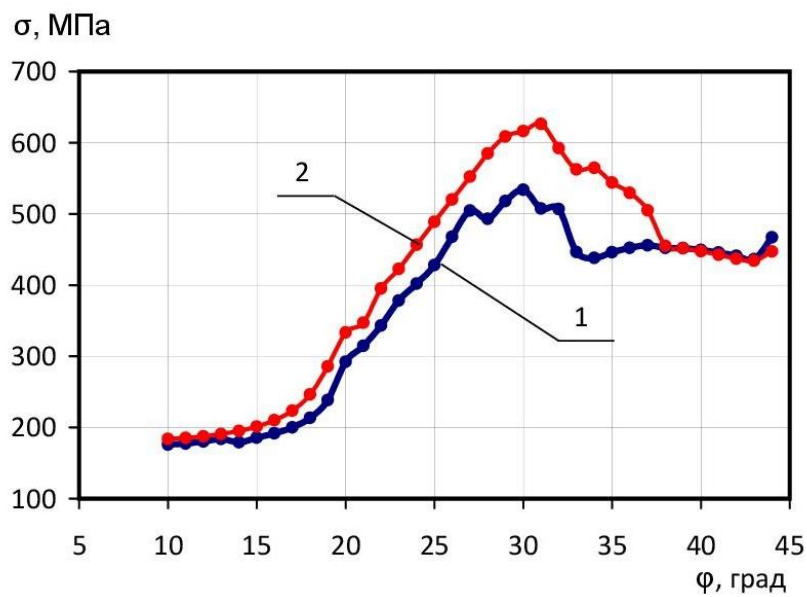
Основное преимущество системы топливоподачи со скоростным форсированием ТНВД – повышение уровня давлений подачи топлива (рис. 3).

При скоростном форсировании ТНВД, актуальной становится проблема роста нагруженности его конструктивных элементов. Одним из наиболее нагруженных элементов ТНВД является его привод. Для ТНВД типа YPFE-M, используемых на одноцилиндровых двигателях фирмы Кирор, расчетное увеличение нагрузок в приводе (сопряжение кулачок — толкатель плунжера) составляет менее 20 % (рис. 4). Величина контактных напряжений остается в допустимых для используемого материала пределах.



1 – частота вращения вала ТНВД 1000 мин^{-1} , 2 – 2000 мин^{-1}

Рис. 3. Давление топлива в линии высокого давления (ТНВД дизеля Кірог КМ186FA, эксперимент, датчик давления установлен вблизи форсунки)



1 – частота вращения вала ТНВД 1000 мин^{-1} , 2 – 2000 мин^{-1}

Рис. 4. Контактные напряжения в сопряжении кулачок — толкатель плунжера (ТНВД дизеля Кірог КМ186FA, расчет)

Возрастание давления подачи топлива сопровождается увеличением нагрузок на элементы, образующие полости ТНВД и находящиеся под высоким давлением, например, полость штуцера ТНВД. Моделирование в пакете Solidworks с использованием конечно–элементной модели (рис. 5) ТНВД типа YPFE-M показывает, что при росте уровня давлений топлива с 30 до 40 МПа увеличение нагрузок в резьбовом сопряжении штуцера и корпуса ТНВД составило в среднем до 15 %.

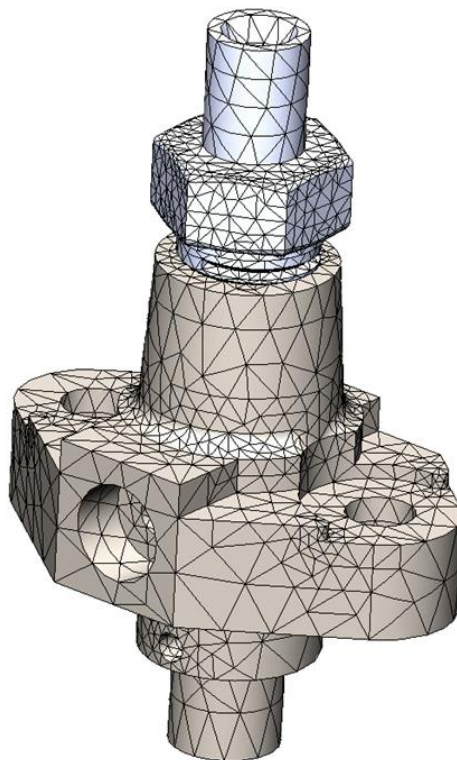


Рис. 5. Конечно–элементная модель корпуса ТНВД типа YPFE-M.

С результатами расчетов нагруженности ТНВД согласуются данные экспериментальных исследований ТНВД дизеля Кірог KM186FA, выполненные на безмоторном стенде. При увеличении частоты вращения вала ТНВД до 3000 мин⁻¹ и максимальной цикловой подаче топлива не отмечено внешних изменений в состоянии деталей ТНВД, а тем более следов их разрушения.

Скоростное форсирование ТНВД приводит к увеличению нагруженности его конструктивных элементов. Однако для ТНВД типа UPFE-M, используемых для дизелей малой мощности возрастание нагрузок, характеризуемое уровнем действующих в материале конструктивных элементов напряжений, незначительно. Таким образом, возрастание нагруженности ТНВД не является препятствием для скоростного форсирования ТНВД дизелей малой мощности и не требует внесения изменений в существующую конструкцию ТНВД.

Литература:

[1] Kubota, K. The Ultra-Mini Fuel Injection Pump Development for Small Air-Cooled Diesel Engines / Kubota, K., Ohashi, R., Taniguchi, H. // SAE Tech. Pap. Ser. – 1985. – № 850069. – P. 1-12.

[2] Stage V emission standards for nonroad engines [Электронный ресурс] / Emission Standards – Режим доступа: [www.url: https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php](http://www.url:https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php) – 10.11.2016.

[3] Грехов, Л.В. Конструкция, расчет и технический сервис топливоподающих систем дизелей: учеб. пособие / Л.В. Грехов, И.И. Габитов, А.В. Неговора. – М.: Легион-Автодата, 2013. – 292 с.

[4] Carpenter, A.L. High-Pressure Electronic Fuel Injection for Small-Displacement Single-Cylinder Diesel Engines / Carpenter, A.L., Mayo, R.E., Wagner, J.G., Yelvington, P.E. // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – Paper No: GTP-16-1060 – 2016.

[5] Салыкин, Е.А. Опыт модернизации дизельных систем топливодачи непосредственного действия / Е.А. Салыкин, А.М. Ларцев, В.В. Славуцкий, В.Ю. Соснин // Известия ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – №8. – С. 38-40.