



**Надёжность,
толкатель, ролик,
аккумуляторная
топливная система,
контактные
напряжения**

*Reliability, pusher, roller,
common-rail injection
system, contact voltage*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ТНВД COMMON RAIL С БЕЗОСЕВЫМ ТОЛКАТЕЛЕМ ПУТЁМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

А.С. Ладыгин
аспирант кафедры электрификации
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

Проблема улучшения топливной экономичности транспортных дизелей и снижение токсичности их отработавших газов (ОГ) становится всё более острой. В последнее время в крупных городах резко возросло количество автотранспорта, потребляющего большое количество топлива и загрязняющего атмосферу токсичными компонентами ОГ. В России существует проблема производства конкурентоспособных автомобилей, сопоставимых по своим показателям с лучшими зарубежными аналогами. Наиболее эффективным средством воздействия на рабочий процесс дизеля с целью улучшения экономических и экологических показателей является совершенствование процесса топливоподачи и управление этим процессом в соответствии с режимом работы двигателя. В настоящее время наибольшее распространение получили аккумуляторные топливные системы типа Common Rail [1–6].

Для достижения стандарта EURO-5 необходимо увеличить давление впрыска до 200–250 МПа. При повышении давления существенно возрастают нагрузки на элементы топливного насоса высокого давления (ТНВД), что приводит к необходимости упрочнения конструкции, ведущей к увеличению её габаритов и веса.

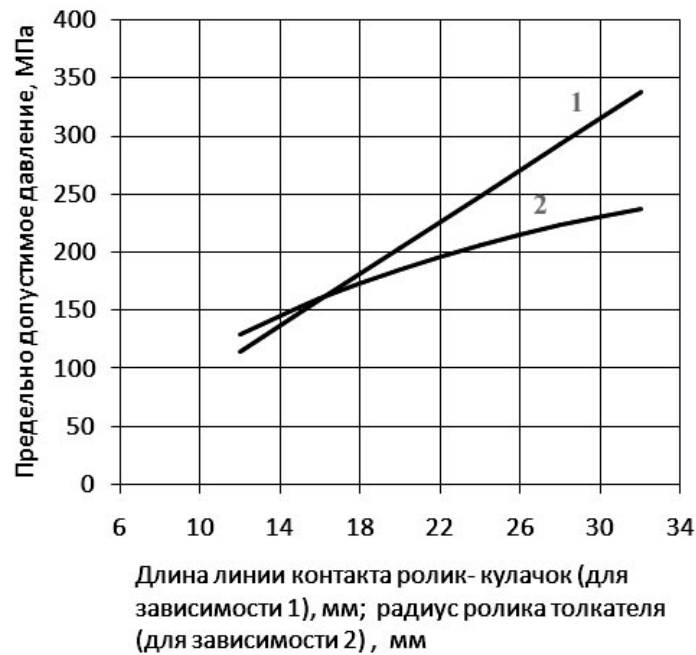
Основным критическим параметром, определяющим работоспособность ТНВД, является контактное напряжение в паре ролик-кулачок. Согласно формуле Герца оно зависит от диаметра и ширины ролика толкателя. Чтобы повысить прочностные характеристики ТНВД, фирмы Bosch и Delphi в последнее время стали использовать безосевые толкатели, которые позволяют увеличить длину линии контакта [6]. В отличие от традиционных осевых толкателей в них не используются боковые опоры для установки оси ролика, и поэтому две детали (ось и ролик) заменяются одной (роликом).

Цель исследования – расчёт процесса подачи топлива ТНВД с безосевым толкателем и обоснование выбора его параметров применительно к ТНВД типа CP-4 (Bosch) для дизеля ЯМЗ-536.

В качестве прочностных характеристик кулачка принята величина предельно допустимого давления топлива на плунжер при контактных напряжениях $\sigma_k = 1500$ МПа [7].

Из рисунка 1 видно, что увеличение длины линии контакта в большей степени повышает допустимое давление, чем увеличение диаметра ролика.

Характер протекания зависимостей указывает на существование оптимального соотношения между диаметром ролика и длиной линии контакта. При использовании безосевого толкателя можно уменьшить диаметр ролика и увеличить длину линии контакта. При

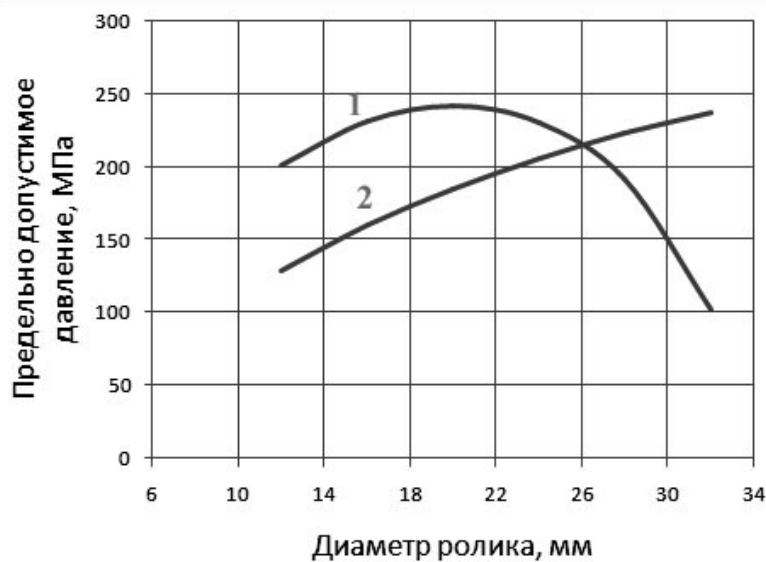


1 – от длины линии контакта при постоянном диаметре ролика (26 мм);
 2 – от диаметра ролика при постоянной длине линии контакта (21 мм).

Рисунок 1 – Зависимость предельно допустимого давления на плунжер при $\sigma_k = 1500$ МПа

изменении диаметра ролика безосевого толкателя одновременно будет меняться длина линии контакта, так как общая длина безосевого ролика ограничена величиной диаметра несколько меньшего диаметра толкателя.

На рисунке 2 представлена расчётная зависимость предельно допустимого давления на плунжер при $\sigma_k = 1500$ МПа от диаметра ролика толкателя безосевого толкателя при изменении его длины, которая связана с диаметром услови-



1 – при переменной длине линии контакта (безосевой толкатель);
 2 – при постоянной длине линии контакта (21 мм) для осевого толкателя.

Рисунок 2 – Зависимость предельно допустимого давления на плунжер при $\sigma_k = 1500$ МПа от диаметра ролика толкателя

ем размещения ролика в толкателе (ролик вписывается в окружность диаметром 33,5 мм).

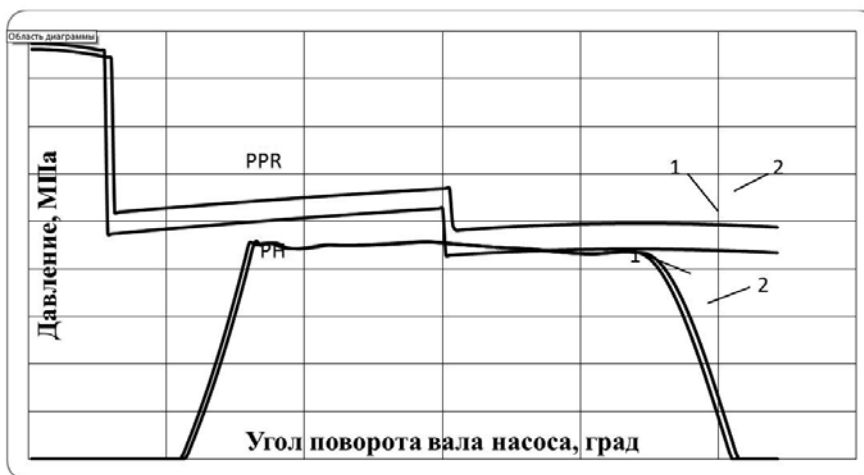
Из рисунка 2 видно, что зависимость (1) предельно допустимого давления для безосевого толкателя выше, чем осевого (2). Оптимальный диаметр ролика толкателя равен 20 мм. При этом предельно допустимое давление будет максимальным и на 25 МПа выше, чем в традиционной конструкции с диаметром ролика 26 мм и длиной линии контакта 21 мм.

При давлении в аккумуляторе 220 МПа давление топлива, действующее на плунжер, достигает

предельно допустимых значений для существующей конструкции толкателя, что хорошо видно на рисунке 3. При этом для безосевого толкателя имеется запас по предельно допустимым давлениям примерно 25 МПа.

На рисунке 4 показаны зависимости давления на плунжер РН и контактных напряжений от угла поворота вала насоса при одинаковом давлении в аккумуляторе 220 МПа.

Максимальное контактное напряжение в паре ролик-кулачок для традиционной конструкции будет $\sigma_k = 1515$ МПа, а для безосевого тол-



- 1 – диаметр ролика 26 мм, длина линии контакта 21 мм;
2 – диаметр ролика 20 мм, длина линии контакта 27 мм.

Рисунок 3 – Давление на плунжер РН при давлении в аккумуляторе 220 МПа и предельно допустимом давлении PPR при $\sigma_k = 1500$ МПа



- 1 – диаметр ролика 26 мм, длина линии контакта 21 мм;
2 – диаметр ролика 20 мм, длина линии контакта 27 мм.

Рисунок 4 – Зависимости давления на плунжер РН и контактных напряжений CI от угла поворота вала насоса

кателя $\sigma_k = 1428$ МПа, что позволяет увеличить долговечность работы привода ТНВД с безосевым толкателем в 1,5 раза. Это следует из известной зависимости срока службы без признаков усталостного разрушения от величины контактного напряжения, имеющей вид $\sigma_k \cdot L_x = A$, где A – постоянная, учитывающая свойство материала, x – степенной показатель (для материала вала $x = 0,167$), L – долговечность (число рабочих циклов). Поэтому ТНВД с безосевым толкателем может работать с более высоким давлением в аккумуляторе при сохранении таких же контактных напряжений, как и с традиционной конструкцией толкателя.

Расчёты показывают, что при увеличении давления в аккумуляторе до 250 МПа запас по

предельно допустимым давлениям становится таким же, как и с использованием традиционного осевого толкателя, но при давлении в аккумуляторе 220 МПа.

Выводы

В результате проведённого исследования расчётным путём показано существование оптимального диаметра безосевого толкателя, обеспечивающего максимально допустимые давления. Показано, что применение безосевого толкателя в ТНВД Common Rail позволяет повысить допустимое давление на плунжер за счёт увеличения длины линии контакта ролик-кулачок и увеличить максимальное давление топлива в аккумуляторе.

Литература

1. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей [Текст] / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.
2. Дизельные аккумуляторные топливные системы Common Rail [Текст]: учеб. пособие: перевод с англ. – М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2014. – 94 с.
3. Астахов, И.В. Топливные системы и экономичность дизелей [Текст] / И.В. Астахов, Л.Н. Голубков, В.И. Трусов и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
4. Ладыгин, А.С. Направления повышения эффективности топливных систем дизелей [Электронное издание] / А.С. Ладыгин, А.П. Перепелин // Научно-технические и инженерные разработки – основа решения современных экологических проблем: сб. материалов конф. Часть 1. – Ярославль, 2017. – С. 786–790.
5. Ладыгин, А.С. Анализ путей повышения эффективности топливных систем дизелей / А.С. Ладыгин, П.С. Орлов, А.П. Перепелин // Инновационные направления механизации сельскохозяйственного производства и обслуживания сельскохозяйственной техники: сб. науч. тр. по материалам Нац. науч.-практ. конф., 6–7 декабря 2017 г. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2018. – 72 с.
6. Mollenhauer, K. Handbook of Diesel Engines [Text] / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 636 p.
7. Straubel M. and Schwartz R. The Robert Bosch In-Line Pump for Diesel – Engines – № 780770. – 20 p.

References

1. Grekhov, L.V. Toplivnaja apparatura i sistemy upravlenija dizelej [Tekst] / L.V. Grekhov, N.A. Ivashhenko, V.A. Markov. – M.: Legion-Avtodata, 2005. – 344 s.
2. Dizel'nye akkumuljatornye toplivnye sistemy Common Rail [Tekst]: ucheb. posobie: perevod s angl. – M.: ZAO «Legion-Avtodata», 2014. – 94 s.
3. Astakhov, I.V. Toplivnye sistemy i jekonomichnost' dizelej [Tekst] / I.V. Astakhov, L.N. Golubkov, V.I. Trusov i dr. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 288 s.
4. Ladygin, A.S. Napravlenija povyshenija jeffektivnosti toplivnyh sistem dizelej [Jelektronnoe izdanie] / A.S. Ladygin, A.P. Perepelin // Nauchno-tehnicheskie i inzhenernye razrabotki – osnova reshenija sovremennyh jekologicheskijh problem: sb. materialov konf. Chast' 1. – Jaroslavl', 2017. – S. 786–790.
5. Ladygin, A.S. Analiz putej povyshenija jeffektivnosti toplivnyh sistem dizelej / A.S. Ladygin, P.S. Orlov, A.P. Perepelin // Innovacionnye napravlenija mehanizacii sel'skohozjajstvennogo proizvodstva i obsluzhivaniya sel'skohozjajstvennoj tehnik: sb. nauch. tr. po materialam Nac. nauch.-prakt. konf., 6–7 dekabrja 2017 g. – Jaroslavl': Izd-vo FGBOU VO Jaroslavskaja GSXA, 2018. – 72 s.
6. Mollenhauer, K. Handbook of Diesel Engines [Text] / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 636 p.
7. Straubel M. and Schwartz R. The Robert Bosch In-Line Pump for Diesel – Engines – № 780770. – 20 p.