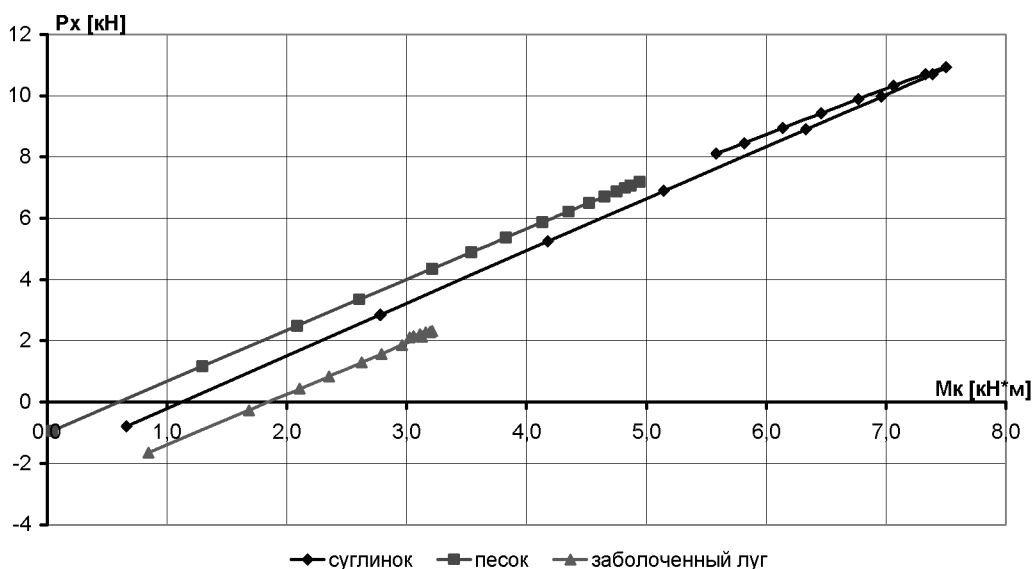




**Рисунок 3 – Взаимозависимость между суммарной продольной составляющей  $P_x$  усилия, создаваемой двухколесной осью, от подведенного к ней через трансмиссию суммарного момента  $M_k$**

#### Литература

1. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М., «Машиностроение», 1981, 231с.
2. Петрушов В.А., Московкин В.В., Евграфов Ф.Н. Мощностной баланс автомобиля. М., «Машиностроение», 1984, 160с.
3. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 11447 от 29.08.2008г. «Математическая модель работы эластичного колеса при его взаимодействии с недеформируемой опорной поверхностью». Авт.: С.В. Бахмутов, А.В. Лепёшкин.

#### Топливный насос нового поколения

д.т.н. проф. Максимов Ю.В., д.т.н. проф. Соковиков В.К., к.т.н. доц. Бекаев А.А.,  
Строков П.И.

Университет машиностроения  
[bekaev@list.ru](mailto:bekaev@list.ru)

**Аннотация.** На основе электрогидравлического эффекта, также известного как «эффект Юткина», была разработана принципиально новая конструкция электрогидравлического топливного насоса (ЭГ-насос) высокого давления, обеспечивающего превосходящие (по давлению и расходу) рабочие характеристики современных топливных насосов высокого давления двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Применение разработанного ЭГ-насоса в ДВС позволит полностью отказаться от использования какого-либо механизированного привода, являющегося неотъемлемой частью современных топливных насосов, а значит, существенно упростить конструкцию и принцип работы топливной системы, уменьшить ее металлоемкость, стоимость и уровень шума.

**Ключевые слова:** электрогидравлический эффект, импульсный разряд в жидкости, преобразование электроэнергии, топливный насос высокого давления.

При решении задач по повышению технического уровня дизелей всё более востребованными становятся разработки новых топливных систем впрыска, обеспечивающих повышение комплексных показателей надёжности и эффективности использования дизельных двигателей с улучшенными топливно-экологическими характеристиками [1, 2].

Создание топливных компонентов для дизелей, которые бы удовлетворяли современным требованиям по экологическим показателям: дымности, содержанию токсичных веществ в отработавших газах и уровню звукового давления шума, генерируемого в процессе работы, и одновременно обеспечивали бы существенное снижения трудоёмкости изготовления и технического обслуживания, – следует отнести к весьма сложной задаче, если идти по пути совершенствования топливных систем традиционного исполнения на базе топливных насосов высокого давления (ТНВД).

Перспективным вариантом решения этой задачи является использование так называемого электрогидравлического эффекта (эффект Юткина) [5] при разработке топливных насосов нового поколения [3, 4]. В этом случае открываются новые горизонты и перспективы для совершенствования топливных систем двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Известно, что модернизация современных топливных систем впрыска, использующих ТНВД распределительного типа, насосы-форсунки или устройства типа Common Rail [1], может обеспечить некоторое повышение эффективности и экологичности дизельных двигателей, однако неизменными остаются следующие недостатки: сложность конструкции, высокая металло- и трудоёмкость изготовления, сборки, настройки и регулировки; ограниченность уровня рабочих давлений; низкая надёжность кинематических элементов механизмов; высокий уровень мощностных затрат силового привода; высокий уровень звукового давления в процессе работы, соизмеримый с общим уровнем шума двигателя.

Для устранения указанных недостатков в настоящей работе предлагается к применению принципиально новое устройство – электрогидравлического насос (ЭГ-насос), представляющий собой простое конструктивное решение (корпус насоса в виде оболочки с внутренним пространством – рабочей камерой, два высоковольтных электрода и два обратных гидроклапана), способный встраиваться в любую топливоподающую систему ДВС как в виде насосов-форсунок, так и в системах Common Rail в качестве ТНВД с принципиально новым принципом действия.

Работа ЭГ-насоса осуществляется посредством формирования в объёме его рабочей камеры (заполненной топливом) импульсных электрических разрядов, обеспечивающих устойчивое развитие быстротекущих процессов в следующей последовательности: электрический пробой топливной среды и образование канала разряда; мгновенное выделение энергии в канале с интенсивным локальным разогревом топлива; образование парогазовой полости (с большим внутренним давлением и высокой концентрацией энергии) в виде перегретого ионизированного газа и топливных паров; расширение полости, сопровождающееся генерированием высокого импульса давления с образованием расходящегося потока топливной среды; пульсацией образовавшейся полости.

Так, после электропробоя топливной среды вокруг зоны сформированного разряда образуется плазменный канал с высокой температурой ( $> 15000^{\circ}K$ ), за счёт которого происходит интенсивный локальный разогрев топлива и его испарение с высокой концентрацией энергии в виде перегретого ионизированного газа и топливных паров.

Последующее расширение канала разряда в виде парогазовой полости (пузыря) под действием внутреннего давления создаёт в окружающей (практически несжимаемой) жидкой топливной среде ударную волну с высоким уровнем давления, которое в результате образовавшихся паров и последующего их смешения с парами находящихся в топливе газов формирует трёхфазную среду. Расширение полости продолжается до тех пор, пока давление в ней из-за инерции потока топлива не станет меньше или равно давлению внешней (относительно полости) топливной среды. С этого момента начинается обратное движение топлива, полость захлопывается, и давление в ней газопаровой топливной смеси опять резко возрастает. Процесс повторяется в виде нескольких постепенно затухающих пульсаций полости. После первого цикла гидравлического удара, получив ускорение в канале разряда, паротопливная смесь перемещается во все стороны, образуя на том месте, где был разряд, значительную по объёму кавитационную полость. Расширяющаяся паротопливная смесь после её выхода через обратный гидроклапан (напорный гидроклапан) из рабочей камеры насоса в напорную

линию воздействует с высокой скоростью на находящееся в ней топливо, обеспечивая его подачу в форсунки цилиндров дизельного двигателя. На этом первый цикл работы ЭГ-насоса заканчивается, а образовавшийся в рабочей камере вакуум обеспечивает её заполнение топливом через обратный гидроклапан (всасывающий гидроклапан) всасывающей насосной магистрали, и цикл полностью повторяется.

В настоящее время авторским коллективом, состоящим из преподавателей двух кафедр «Гидравлика и ГПП» и «Автоматизированные станочные системы и инструменты» Университета машиностроения разработана конструкторская документация и изготовлен лабораторный образец (макет) ЭГ-насоса (рисунок 1) для оценки функциональных возможностей и контроля рабочих параметров происходящих процессов.

Как показали полученные результаты экспериментальных исследований, проведенные на макете ЭГ-насоса, создаваемое избыточное давление топлива в канале разряда  $P_{разр.}$  рабочей камеры насоса зависит от емкости конденсатора  $C$  и индуктивности цепи разряда  $L$  электронного блока преобразователя.

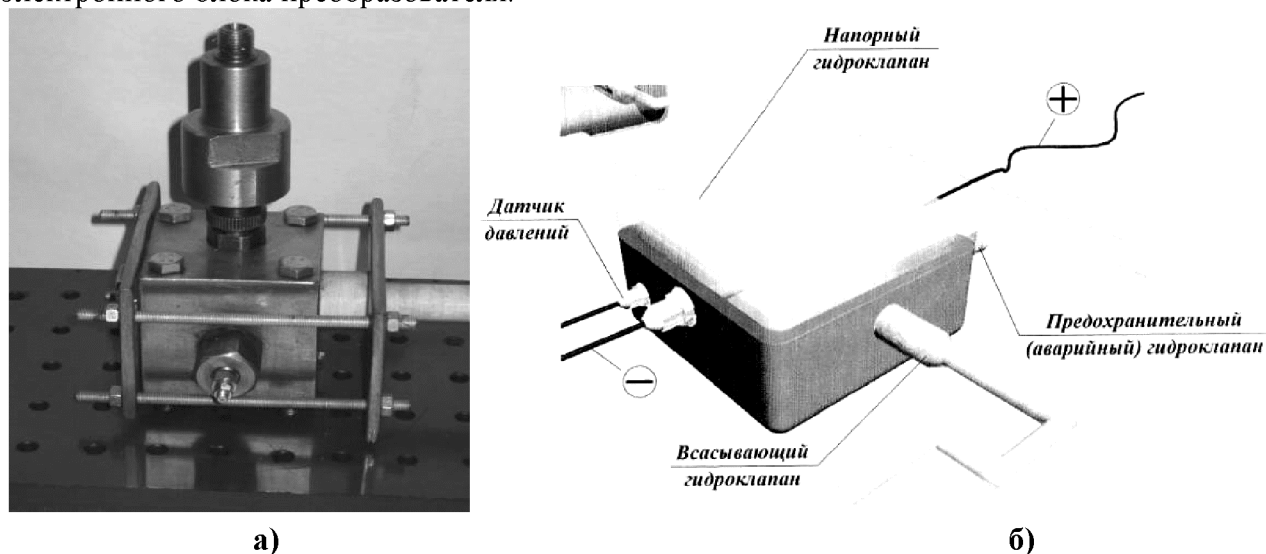


Рисунок 1 – Топливный ЭГ-насос высокого давления: а) общий вид; б) эскиз (в 3-D).

Так, на рисунках 2 и 3 представлены экспериментальные зависимости давления  $P_{разр.}$  в функции индуктивности  $L \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$  и емкости  $C \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$  при напряжении пробоя на высоковольтных электродах  $U_{пр.} = 40 \text{ кВ}$ .

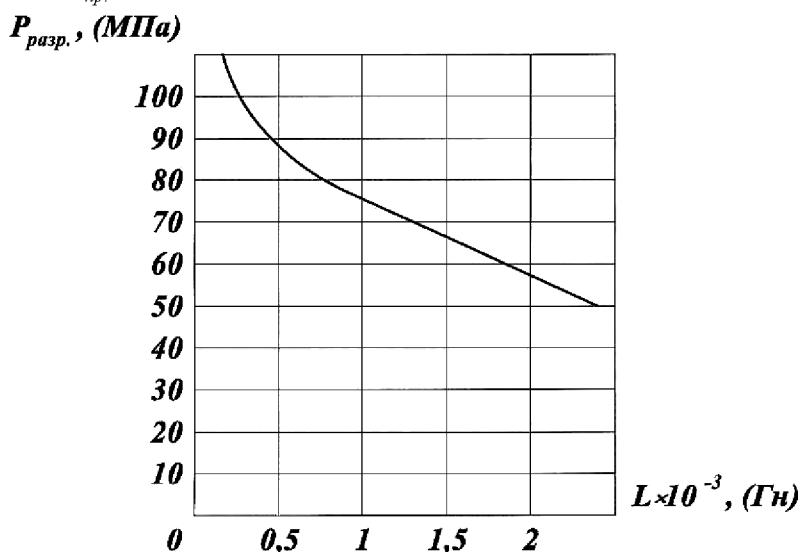
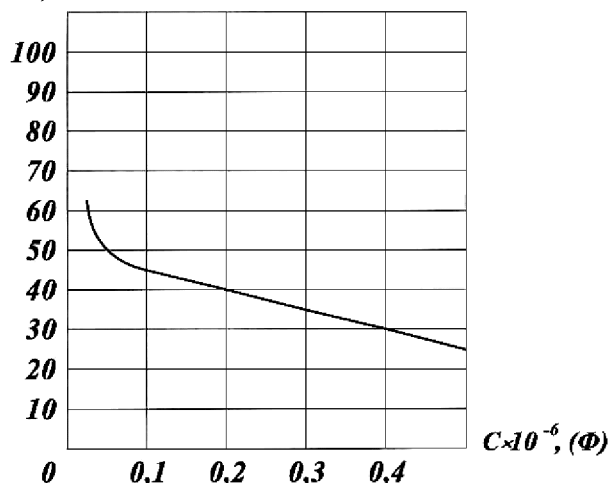


Рисунок 2 – Зависимость давления в канале разряда от индуктивности цепи при  $U_{пр.} = 40 \cdot 10^3 \text{ В}$  и постоянной электроемкости  $C = 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$

$P_{разр.}, (МПа)$



**Рисунок 3 – Зависимость давления в канале разряда от электроемкости цепи при  $U_{пр.} = 40 \cdot 10^3 В$  и постоянной индуктивности  $L = 2,2 \cdot 10^{-3} Гн$**

Из графика 2 видно, что уменьшение индуктивности с  $2,2 \cdot 10^{-3} Гн$  до  $0,02 \cdot 10^{-3} Гн$  приводит к увеличению давления разряда с  $62 МПа$  до  $130 МПа$  при постоянной электроемкости  $C$  (грубая регулировка давления), а с уменьшением емкости с  $0,5 \cdot 10^{-6} Ф$  до  $0,01 \cdot 10^{-6} Ф$  и постоянной индуктивности  $L$  (рисунок 3), давление  $P_{разр.}$  возрастает с  $25 МПа$  до  $62 МПа$  (тонкая регулировка давления). Следовательно, для увеличения  $P_{разр.}$  и КПД ЭГ-насоса целесообразно уменьшать индуктивность  $L$  и емкость конденсатора  $C$  блока преобразователя.

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований (реальной апробации), проведенных на лабораторном макете ЭГ-насоса (при частоте электроразрядов от 1 до  $20 Гц$ ) показали:

- Возможность практического использования разработанной конструкции насоса, работающей на эффекте Л.А. Юткина, без использования какого-либо электромеханического привода;
- Возможность создания больших избыточных давлений ( $> 100 МПа$ ) насосом нового типа по сравнению с серийно выпускаемыми ТНВД ( $< 100 МПа$ );
- Возможность плавной (грубая и тонкая) регулировки создаваемых избыточных давлений топлива в рабочей камере насоса.

Экспериментальные исследования подтвердили правильность результатов теоретических разработок, выполненных для обоснования возможности применения ЭГ-насоса высокого давления в топливных системах дизельных ДВС, а высокий КПД и надежность работы насоса, главным образом, связаны с его простотой конструкции и отсутствием каких-либо приводных кинематических цепей.

### Выводы

На основании полученных результатов исследований считаем, что разработанный топливный ЭГ-насос высокого давления может быть рекомендован для практического использования в ДВС вместо традиционных плунжерно-поршневых ТНВД после прохождения ряда промышленных испытаний, а его основными достоинствами являются:

- Возможность стабильной работы ЭГ-насоса без использования какого-либо электромеханического привода, что исключает мощностные затраты, связанные с приведением в движение привода топливонасоса и снижает шумность работы ДВС;
- Возможность создания, по сравнению с серийными ТНВД, больших избыточных давлений, под действием которых топливо будет качественно распыляться в камерах внутреннего сгорания, повышая топливно-экономические показатели ДВС;
- Возможность гибко управлять работой разработанного насоса с помощью электронного

пульты управления, что улучшает процесс контроля дозирования и впрыска топлива в камеру сгорания, повышая эффективность работы ДВС в целом;

- Применение ЭГ-насоса также позволяет значительно снизить металлоемкость конструкции и стоимость топливной системы ДВС, а также упростить ее техническое обслуживание.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что приведенные результаты научно-исследовательских работ, направленных на создание топливного насоса нового поколения, свидетельствуют (в рамках реализованных теоретических и экспериментальных исследований) о возможности эффективного использования разработанного ЭГ-насоса высокого давления в топливных системах современных дизелей, причем область его применения не ограничивается только двигателестроением, а имеет потенциал в других областях промышленности.

### Литература

1. Грехов Л.В. Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания типа Common Rail: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ, 2000, 64 с.
2. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением: Учебно-практическое пособие. М.: «Легион-Автодата», 2003, 176 с.
3. Заяц Ю.А., Голубев Д.С., Строков П.И. Состав системы топливоподачи дизеля с использованием электрогидравлического эффекта // Известия МГТУ «МАМИ», № 2(8), 2009, с. 93-102.
4. Патент РФ на изобретение №2270356 Способ создания высокого давления топлива, впрыскиваемого в камеры сгорания дизелей, и система топливоподачи для его осуществления. Оpubл. 20.02.2006.
5. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, ленингр. отд., 1986, 253 с. ил.

### Моментная теория клина

д.т.н. проф. Мартынов В.К., Зверев А.И.  
Университет машиностроения  
8(495)223-05-23 [zverev13@yandex.ru](mailto:zverev13@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены различные виды нагружения клина в процессе работы, рассмотрены силы, действующие на клин при различных видах нагружений, и предложена методика учета возникающих нагрузок.

**Ключевые слова:** клин, сила трения, приведенный коэффициент трения, скольжение, деформация, расчетная модель, эксцентриситет.

В технологическом оборудовании, станках, механизмах имеется целый ряд узлов, перемещаемых при работе по клиновым направляющим скольжения. Для их привода необходима информация по определению сил сопротивления перемещению, влиянию параметров клиновой пары.

В работе [1], названной пространственной теорией клина, по существу решалась лишь частная краевая задача на примере нагружения короткого клина. Не исследовалось расположение сдвигающей нагруженный клин силы для случая, продолжительного по длине контакта, пренебрегалось эксцентриситетом действия этой силы по отношению к силам трения, неправомерно оценивалось действие нормальных сил как результата изменения только контактных деформаций, излишне упрощенной была принята расчетная модель. Однако решение поставленной задачи имело большое прикладное значение, поэтому целесообразно продолжить начатое исследование и внести уточнения с тем, чтобы в общем случае рассмотреть действительную пространственную теорию нагружения клина, помещенного в клиновую канавку основания (рисунок 1а). При этом возможны два случая: первый – основание неподвижно, под действием осевой силы  $F$  сдвигается клин (рисунок 1б), второй – клин неподвижен, под действием осевой силы  $F$  сдвигается основание (рисунок 1в).