

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ «ЭФФЕКТА Л.А. ЮТКИНА» В ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Медвинская Надежда Сергеевна, Матюхов Роман Александрович

Студенты 4 курса, группы 8-АТП-1

кафедра «Автоматизированные станочные системы и инструменты»

Университет машиностроения

Научные руководители:

1). А.А. Бекаев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные станочные системы и инструменты», Университет машиностроения

2). Т.В. Мусакова, учитель физики, МБОУ «Ликино-Дулевская гимназия»

Молния – типичный импульсный разряд в газе (воздухе), который сегодня хорошо изучен, и его легко можно получить в лабораторных условиях. Однако той же молнии, но возникающей в жидкости, до настоящего времени не уделялось должного внимания, хотя такие исследования проводились и проводятся [1, 4, 5 и др.].

В частности, одними из первых исследователей молнии в жидкости были естествоиспытатели (XVIII век) Т. Лейн и Дж. Пристли, позже (XX век) – Т. Сведберг и Ф. Фрюнгель, установившие, что электрический пробой жидкостей, так же как и воздуха, носит характер искры, воспринимаемой в виде отшнурованного узко и ярко светящегося канала. Однако они не заметили, что миллиметровый разряд в жидкости может стать прообразом нового способа трансформации электрической энергии в механическую и широко использован в самых различных областях науки и техники. Сделал это только советский ученый Л.А. Юткин (05.08.1911-05.10.1980), который первым сформулировал новый способ трансформации электроэнергии в механическую, посредством жидкости, назвав его электрогидравлическим эффектом (ЭГЭ).

Сущность этого эффекта состоит в том [9], что при движении электроразряда высокого напряжения через жидкость в открытом или закрытом сосуде некоторый объем этой жидкости, находящийся в межэлектродном пространстве, мгновенно вскипает, в результате чего в сосуде образуется газожидкостная смесь. При расширении образовавшегося газа (объем которого превышает изначальный объем жидкости) возникают высокие и сверхвысокие избыточные гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу. То есть, если в закрытом сосуде установлен подвижный поршень, то можно получить его практически мгновенное перемещение – рабочий ход, а после прекращения действия избыточного давления происходит конденсация (релаксация) ранее образовавшихся паров жидкости, и поршень совершит обратный ход.

Это открытие стало базой для создания множества технологических процессов, которые широко применяются во многих отраслях промышленности всего мира – машиностроительной, металлургической, горно-геологоразведочной, нефтяной и др. Но наиболее актуальными, на взгляд авторов настоящей статьи, являются методы использования ЭГЭ в стремительно развивающихся автомобильной и строительной отраслях. Особенно автомобильной промышленности, находящейся под жесточайшим контролем свода экологических норм и правил, разработанных Комитетом по внутреннему транспорту ЕЭК ООН. В связи с чем, автопроизводителям не остается иного выхода, как создавать более совершенные, экологически чистые и экономически выгодные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и/или использовать силовые установки комбинированного типа (гибриды) на основе ДВС. Однако, в настоящее

время, им пока приходится иметь дело с традиционными ДВС и их системами. И прежде всего с системой топливоподачи, в центре которой находится топливный насос высокого давления (ТНВД) – устройство, которое к сожалению, имеет ряд недостатков, связанных, главным образом, с ограниченными техническими возможностями используемого электромеханического привода (сложностью конструкции, технологии изготовления и сборки; высокой стоимостью и недолговечностью прецизионных плунжерных пар, большими мощностными затратами на его работу), ограниченными (не более 100 МПа) возможностями по давлению впрыскивания и др., что крайне затрудняет решение все ужесточающихся норм по выбросам вредных веществ в атмосферу. Для решения данной проблемы возможно использование совершенно иного принципа работы ТНВД, разработанного авторами статьи.

Предложенную идею подтверждают многочисленные испытания лабораторной установки – макета принципиально новой конструкции, разработанного авторами, топливного электрогидравлического насоса высокого давления (ЭГ-насоса), работающего на эффекте Л.А. Юткина. Их результаты показывают – современные серийно выпускаемые ТНВД могут быть успешно заменены более простыми, компактными, надежными и менее металлоемкими насосными ЭГ-установками [6, 8].

Разработанный ЭГ-насос конструктивно состоит (рис. 1) из рабочей камеры (корпус насоса); всасывающего и напорного гидроклапанов, работающих по принципу “ниппеля”; датчика контроля давлений, установленного в рабочей камере насоса; двух высоковольтных электродов с контакторами «+» и «-».

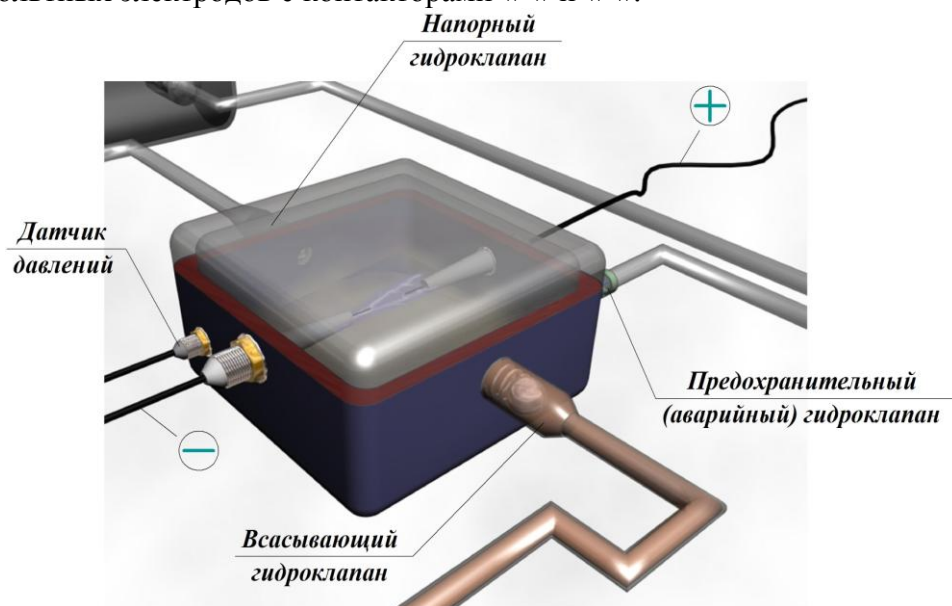


Рис. 1. Разработанный электрогидравлический насос (ЭГ-насос) высокого давления.

Электрогидравлическая схема топливоподачи с ЭГ-насосом (в 3-D) приведена на рис. 2. Принцип ее работы состоит в создании серии (ступеней) ударных волн давлений в рабочей камере насоса, создаваемых за счет пропускания электроразряда между высоковольтными электродами. Эти волны создаются в моменты открытия/закрытия напорного и всасывающего гидроклапанов, что обеспечивает дозированную подачу топлива.

Так, в момент начала импульса в межэлектродном промежутке рабочей камеры ЭГ-насоса происходит резкое повышение температуры, и интенсивное испарение некоторой части топлива, в результате чего образуется паротопливная смесь, которая быстро расширяется и, создавая избыточное давление, на том месте, где был разряд, образует значительную по объему кавитационную газовую полость.

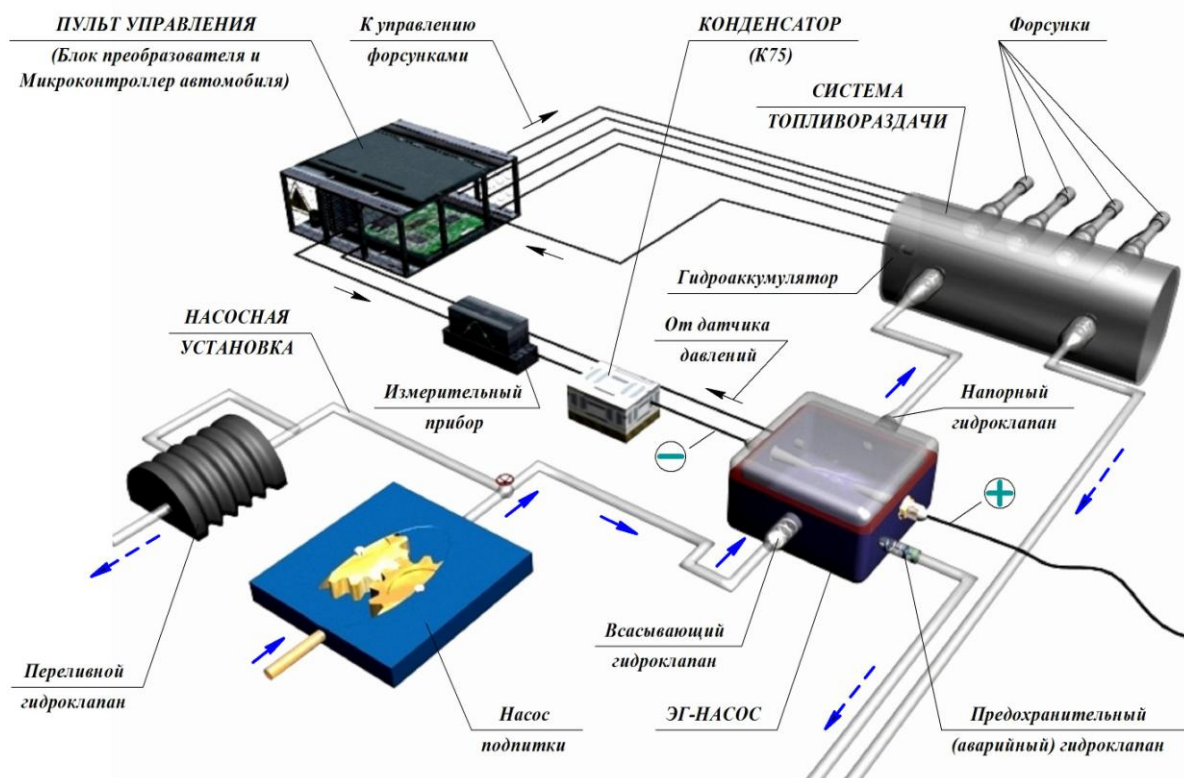


Рис. 2. Электрогидравлическая схема топливоподачи со встроенным ЭГ-насосом.

Под действием избыточного давления шарик напорного гидроклапана, преодолевая усилие пружины, отходит от седла и перепускает смесь из рабочей камеры в гидроаккумулятор системы топливодачи (в этот момент всасывающий гидроклапан полностью закрывается).

Оставшаяся в насосе кавитационная газовая полость после выхода топлива через напорный гидроклапан мгновенно сжимается (релаксирует), что приводит к образованию разряжения (вакуум) в рабочей камере, под действием которого открывается всасывающий гидроклапан (напорный гидроклапан полностью закрывается), и камера насоса заполняется новой порцией топлива. Далее процесс повторяется.

Результаты экспериментальных исследований [6], проведенные на лабораторном образце ЭГ-насоса показали, что создаваемое избыточное давление $P_{разр}$ топлива в канале разряда рабочей камеры насоса зависит как от емкости конденсатора C , так и от индуктивности цепи разряда L электронного блока преобразователя. Это хорошо видно из рис. 3 и 4, на которых приведены зависимости этого давления $P_{разр}$ в функции индуктивности $L \cdot 10^{-3} Гн$ и емкости $C \cdot 10^{-6} Ф$ при постоянном напряжении пробоя $U_{пр}$ на высоковольтных электродах, равном $40 кВ$.

Так, из рис. 3 можно заключить, что уменьшение индуктивности с $2,2 \cdot 10^{-3}$ до $0,02 \cdot 10^{-3} Гн$ резко увеличивает давления разряда с 62 до $130 МПа$ при постоянной электроемкости C (грубая регулировка давления), а из рис. 4 видно, что с уменьшением емкости (тонкая регулировка давления) с $0,5 \cdot 10^{-6}$ до $0,01 \cdot 10^{-6} Ф$ и постоянной индуктивности L давление $P_{разр}$ будет плавно нарастать с 25 до $62 МПа$. Следовательно, для увеличения давления разряда и КПД насоса целесообразно

уменьшать (до определенных значений) индуктивность L и емкость C конденсатора блока преобразователя.

$P_{\text{разр.}}, (\text{МПа})$

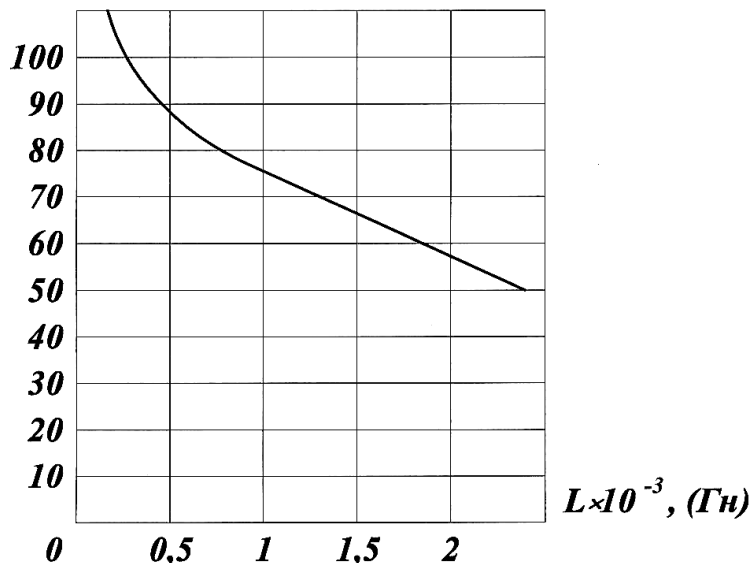


Рис. 3. Зависимость давления в канале разряда от индуктивности цепи.

$P_{\text{разр.}}, (\text{МПа})$

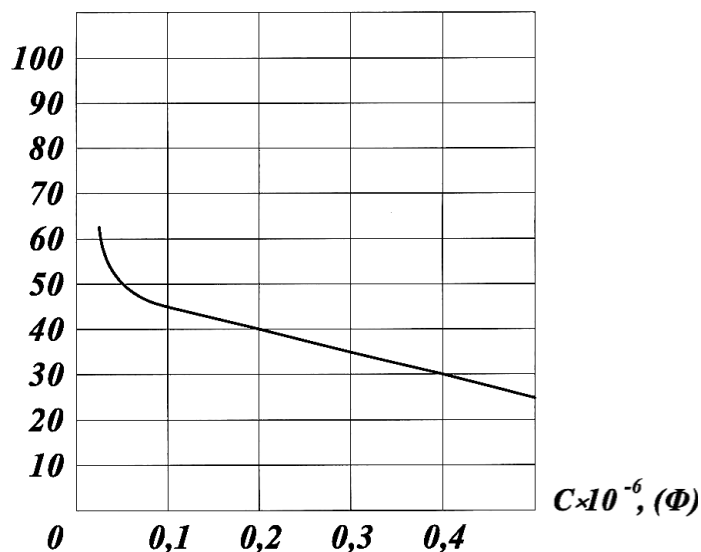


Рис. 4. Зависимость давления в канале разряда от емкости цепи.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показали, во-первых, возможность практического применения рассматриваемой конструкции насоса (не имеющей аналогов в мире), работающей на эффекте Л.А. Юткина без использования какого-либо электромеханического привода; во-вторых, возможность создания больших избыточных давлений, существенно превышающих 100 МПа (здесь, граница создаваемых давлений будет определяться прочностью стенок корпуса насоса); и, в-третьих, плавной (грубая и тонкая) регулировкой избыточных давлений топлива, создаваемых в рабочей камере насоса (гибкое управление).

К другому актуальному направлению практического применения “эффекта Юткина” следует отнести ЭГ-устройства, предназначенные для долбления и дробления твердой породы. Так, авторами была разработана новая конструкция электрогидравлического отбойного молотка – по сути, электрогидравлического

перфоратора (ЭГ-перфоратор), предназначенного для использования в строительном и горнодобывающем деле, когда необходима регулируемая сила и частота удара [2, 3].

Как установлено, самым ближайшим аналогом такого устройства является инструмент с электрогидравлическим приводом [7], спроектированный на основе ручной электродрели с очень низким расчетным значением КПД ($\approx 37\%$). Кроме того, он недостаточно надежен, что обусловлено высокой сложностью конструкции (а соответственно ее стоимостью), и к тому же, у него возникает необходимость в ограничении реализуемой силы удара (из-за возникновения мощной отдачи).

Авторами же разработана более простая, легкая, компактная и надежная установка ЭГ-перфоратора [3]. Разработанный ЭГ-перфоратор (рис. 5) имеет рабочую камеру 1, которая заполнена водой с присадками, обеспечивающими ее незамерзание при отрицательных температурах и уменьшающих трение между слоями жидкости (за счет малой вязкости). В ней два (2 и 3) электрода с фторопластовой или аналогичной изоляцией, на которые от сети, аккумулятора или генератора, подают высокое напряжение, которое может регулироваться до требуемых величин.

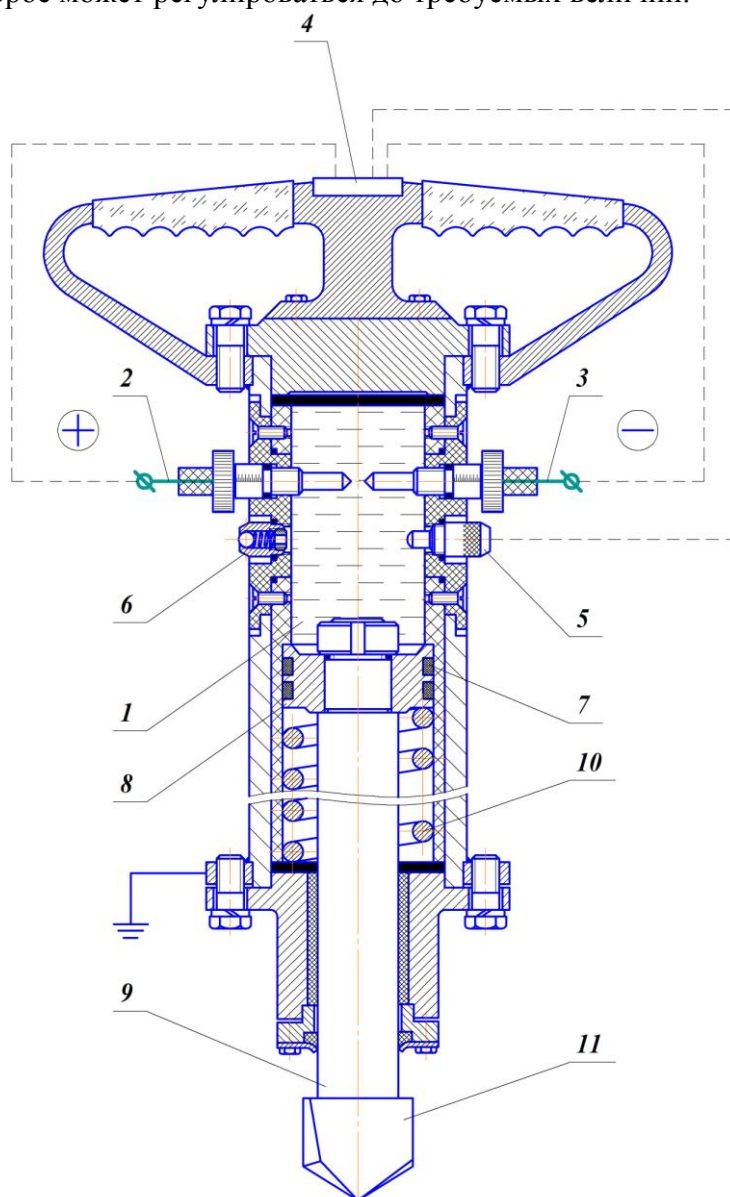


Рис. 5. Конструктивно-принципиальная схема ЭГ-перфоратора: 1 – рабочая камера; 2 и 3 – электроды; 4 – пульт управления; 5 – датчик давления; 6 – обратный гидроклапан; 7 – уплотнительные кольца; 8 – поршень; 9 – шток; 10 – пружина; 11 – сменный наконечник.

В рабочей камере установлен датчик давления 5, сигнализирующий о необходимости дополнительной подпитки ее жидкостью через обратный гидроклапан 6. Это можно сделать шприцем или аналогичными средствами (однако в этом практически не возникнет необходимости из-за хорошего уплотнения поршня кольцами 7).

При подаче с пульта 4 управления напряжения разряда между электродами возникает электрическая дуга, происходит мгновенное испарение (кипение) жидкости. Возникающее при этом давление парожидкостной смеси давит на шток 9 поршня 8, который, перемещаясь, преодолевает усилие пружины 10, обеспечивая рабочее действие сменным ударным наконечником 11.

После совершения ударного действия идет процесс конденсации (релаксации) воздушных пузырьков, в рабочей камере 1 создается вакуум, и при растяжении пружины 10 поршень 8 смещается в верхнее положение. Далее процесс повторяется.

Величину усилия и частоту удара, очевидно, можно регулировать напряжением, подаваемым на вход электродов от пульта управления 4.

Результаты экспериментальных исследований также показали, что КПД ЭГ-перфоратора, работающего “на воде”, существенно отличается от КПД ЭГ-перфоратора, работающего на других (менее вязких) жидкостях.

Так, при исследовании КПД лабораторного образца ЭГ-перфоратора было установлено, что при ходе поршня, равном или меньшем 12мм, в воде с присадками (минеральное масло) КПД ЭГ-перфоратора составлял около 27–30%, а при больших ходах поршня уменьшался.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований, выполненных Л.А. Юткиным [9], который установил, что КПД электрогидравлических устройств, работающих на воде, может быть равен $\eta \approx 40\%$ при удалении поршня от канала разряда на расстояние $\geq 20\text{мм}$, а при использовании других жидкостей КПД будет зависеть от их вязкости.

Следовательно, для увеличения КПД ЭГ-перфоратора необходимо подбирать такую жидкость, у которой коэффициент вязкости (коэффициент внутреннего трения слоев жидкости) был бы как можно меньший. Например, альтернативой воде может выступить полиметилсилоксан (кремнийорганическая жидкость), имеющий вязкость, почти в 2 раза меньшую вязкости воды ($0,0065\text{Ст}$) и более широкий диапазон рабочих температур (от -40 до $+200^\circ\text{C}$).

Вместо воды или в сочетании с ней может быть также рекомендована силиконовая жидкость марки «*DOW Corning 200*» с той же вязкостью и температурным диапазоном применения, что и полиметилсилоксан.

Обобщая вышеизложенное, можно сказать, что ЭГ-устройства, работающие на “эффekte Юткина”, могут найти широчайшее применение в автомобильной и строительной индустрии, так как они технически более совершенны, чем любые существующие их аналоги.

Так, ЭГ-насос обладает следующими достоинствами.

Во-первых, он может работать без использования какого-либо электромеханического привода, что исключает мощностные затраты, связанные с приведением в движение привода ТНВД, и снижает шумность работы ДВС.

Во-вторых, на его основе можно создать бóльшие, чем у серийных ТНВД, избыточные давления, под действием которых топливо будет более качественно распыляться в камерах сгорания, повышая топливно-экономические показатели ДВС.

В-третьих, он позволяет с помощью электронного пульта управления гибко управлять его работой, что улучшает процесс контроля дозирования и впрыскивания топлива в камеру сгорания.

В-четвертых, его применение значительно снижает металлоемкость конструкции и стоимость топливной системы ДВС, а также упрощает ее техническое обслуживание.

В-пятых, получается “попутный” эффект – разогретое топливо, частично содержащее пары, обеспечивает наилучшее сгорание в цилиндрах ДВС.

Применение ЭГЭ в ЭГ-перфораторе обеспечивает возможность регулировки (с пульта управления) силы и частоты ударов; защищает оператора от повышенной шумности, свойственной пневматическим и бензиновым отбойным молоткам; позволяет работать как от электрической сети, так и от батареи аккумуляторов или автомобильного бортового генератора; причем и в том, и в другом, и в третьем случае обеспечивается экологическая чистота рассматриваемых устройств, поскольку они потребляют только электрическую энергию.

Литература

1. *Базелян Э.М., Райзер Ю.П.* Искровой разряд. – М.: МФТИ, 1997. – 320 с.
2. *Бекаев А.А.* Использование электрогидравлического эффекта в дорожно-строительных машинах // Строительные и дорожные машины. – 2011, №3. – с. 30-32.
3. *Бекаев А.А., Медвинская Н.С., Матюхов Р.А.* Реализация «эффекта Юткина» в ЭГЭ-перфораторе // Материалы Юбилейной XXV Международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов (МИКМУС-2013). – М.: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, ноябрь 13-15, 2013. – с. 84
4. *Драбкина С.И.* О канале искрового разряда // ЖЭТФ. – 1951, Т. 21. – с. 473-483.
5. *Зингерман А.С.* Теория и механизм пробоя газа // Успехи физических наук. – 1941, Т. 25. – с. 254-286.
6. *Максимов Ю.В., Соколов В.К., Бекаев А.А., Строков П.И.* Топливный насос нового поколения // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012, №2(14). Т. 2. – с. 241-245.
7. *Патент РФ на изобретение №2015873* «Инструмент с электрогидравлическим приводом», опубл. 15.07.94.
8. *Соколов В.К., Бекаев А.А., Строков П.И.* Электрогидродинамический двигатель // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013, №3(33). – с. 26-30.
9. *Юткин Л.А.* Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, ленингр. отд., 1986. – 253 с. ил.