

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Министерство образования и науки Алтайского края
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова

В. О. Свещинский, С. П. Бобров, И. С. Терещенко

**КРАТКАЯ ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ
ТОПЛИВОПОДАЮЩИХ СИСТЕМ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА**

Учебное пособие

Рекомендовано

*Алтайским государственным техническим университетом им. И.И. Ползунова
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки
13.03.03 «Энергетическое машиностроение» (профиль «Двигатели внутреннего сгорания»)*

ISBN 978-5-7568-1418-7



АлтГТУ
Барнаул • 2022

Об издании – [1](#), [2](#)

© Свещинский В. О., Бобров С. П.,
Терещенко И. С., 2022
© Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова, 2022

УДК 621.43
ББК 31.365

Рецензенты:

Грехов Л.В. – д.т.н., профессор кафедры «Поршневые двигатели»
МГТУ им. Н.Э Баумана
Тер-Мкртчян Г.Г. – д.т.н., профессор, начальник управления «Топливные системы»
ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»

Свещинский, В. О. Краткая история создания и развития топливоподающих систем аккумуляторного типа : учебное пособие / В. О. Свещинский, С. П. Бобров, И. С. Терещенко; под ред. В.О. Свещинского. – Барнаул : АлтГТУ, 2022. – 107 с. – URL : http://elib.altstu.ru/uploads/open_mat/2022/Sveshinskiy_KISiRTSAT_up.pdf. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7568-1418-7

Работа посвящена вопросам истории создания и развития техники, которые недостаточно освещены в учебной литературе по двигателям внутреннего сгорания. Рассмотрены малоизвестные факты истории топливных систем аккумуляторного типа, в том числе – систем Common Rail.

Учебное пособие

Минимальные системные требования
Yandex (20.12.1) или Google Chrome (87.0.4280.141) и т.п.
скорость подключения - не менее 5 Мб/с, Adobe Reader и т.п.

Дата подписания к использованию 28.09.2022. Объем издания – 4 Мб.
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, <https://www.altstu.ru>.

ISBN 978-5-7568-1418-7

© Свещинский В. О., Бобров С. П.,
Терещенко И. С., 2022

© Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова, 2022

[вперед \(содержание\)](#)

ВЫРАЖЕНИЕ БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы считают своим приятным долгом принести искреннюю благодарность:

- руководителю исторического отдела компании DEUTZ AG Д. Фосу,
 - основателю компании Ganser-CRS AG М. Гансеру,
 - коммерческому руководителю компании Ganser-CRS AG А. Гансеру,
 - профессору Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана Л.В. Грехову,
 - ученому секретарю Ученого совета Коломенского института (филиал) Московского политехнического университета М.Ю. Сергомасову,
 - сотруднику компании United Machinery AG А. Смолянину
- за предоставленные материалы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1 От Христиана Гюйгенса до Сэмюэля Мори	7
1.1 1678-1826 г.г.: Пороховые двигатели. Первые опыты подачи жидкого топлива. Идея впрыска под высоким давлением. Водородный баллон Исаака де Риваза	7
1.2 Целесообразность создания высокого давления впрыска топлива.....	11
Связанные с этим проблемы. Первые устройства для впрыска.	11
1.3 1833-1895 г.г.: Появление газовых аккумуляторов в системах подачи топлива.	13
Газовые аккумуляторы Лемюэля Райта	13
<i>Контрольные вопросы</i>	21
Глава 2 Эпоха Рудольфа Дизеля. 1879-1897 г.г.	22
<i>Контрольные вопросы</i>	28
Глава 3 Первая половина XX века. Механическая доминанта.....	29
3.1 Бескомпрессорное распыливание. Расположение аккумуляторов на двигателе	29
3.3 1913-1940 годы. Зарождение электромагнитного управления впрыском.	43
<i>Контрольные вопросы</i>	49
4 Время электронных систем	50
4.1 1960-е. Роберт Хубер и Марко Гансер.....	50
4.2 1970-1990 г.г. ТПСАТ для двигателей твердого топлива.	56
4.3 FIAT Group. М. Рикко.....	57
4.4 Поколения ТПСАТ.....	59
4.5 ТПСАТ DENSO Corp.	60
4.6 ТПСАТ R. Bosch GmbH.....	65
4.7 ТПСАТ DELPHI Technologies.....	72
4.8 ТПСАТ SIEMENS	75
4.9 ТПСАТ Caterpillar	79
4.10 ТПСАТ HEINZMANN	80
4.11 ТПСАТ в современных судовых двигателях	84
<i>Контрольные вопросы</i>	86
5 Российские ТПСАТ.....	87
5.1 Коломенский тепловозостроительный завод. Ф.И. Пинский	87
5.2 Работы МГТУ им. Н.Э. Баумана.....	91
5.3 Начало работ по созданию серийных ТПСАТ. ТПСАТ с насос-форсунками. ППП «Дизельавтоматика». HEINZMANN GmbH & Co. KG.....	93
5.4 Переход на «классический Common Rail». Создание производственной кооперации ..	97
5.5 Перспективы развития отечественных ТПСАТ дизельных двигателей	100
<i>Контрольные вопросы</i>	102
Список литературы	103

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АЗПИ	- Алтайский завод прецизионных изделий
ГСКБД	- головное специальное конструкторское бюро двигателей
ДВС	- двигатели внутреннего сгорания
КФ ВЗПИ	- Коломенский филиал Всесоюзного заочного политехнического ин-та
КЗ	- Коломенский тепловозостроительный завод
НАТИ	- Научно-исследовательский автотракторный институт
НИИД	- Научно-исследовательский институт двигателей
НИКТИД	- Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт двигателей
НИОКР	- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
НТЦ КАМАЗ	- научно-технический центр КАМАЗ
ОГК	- отдел главного конструктора
ПО	- программное обеспечение
СОАТЭ	- Старооскольский завод автотракторного электрооборудования им. А.М. Мамонова
ТА	- топливная аппаратура
ТНВД	- топливный насос высокого давления
ТПСАТ	- топливоподающие системы аккумуляторного типа
ТС	- топливная система
ЦИАМ	- Центральный научно-исследовательский институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова
ЦНИДИ	- Центральный научно-исследовательский дизельный институт
ЦНИТА	- Центральный научно-исследовательский институт топливной аппаратуры
ЭБУ	- электронный блок управления
ЯЗДА	- Ярославский завод дизельной аппаратуры

ВВЕДЕНИЕ

Реальность настоящего времени такова, что для двигателей внутреннего сгорания топливоподающие системы аккумуляторного типа, в том числе – системы Common Rail – заняли ведущие позиции. Они прочно «прописались» в автотракторной технике, их применяют в авиационных, судовых и специальных ДВС. Широкое распространение ТПСАТ требует их изучения, более внимательного, чем изучения, например, топливных систем с карбюраторами. Вероятно, это положение сохранится, по крайней мере, еще лет пятнадцать-двадцать.

Информация по истории развития топливной аппаратуры рассеяна по многим литературным источникам. Большая часть этих источников труднодоступна или вовсе недоступна российскому читателю. Многие современные работы не освещены вовсе или могут быть прослежены только в патентной литературе. В существующих книгах, посвященных топливной аппаратуре, обычно рассматривают сложные проблемы, излагают методы расчета, испытаний, технологии производства. Зачастую авторы историю считают делом второстепенным и освещают ее весьма скупо. «За бортом» остаются многие создатели интересных конструкций, исследователи, изобретатели. Это, безусловно, обедняет учебный курс по специальности «ДВС».

Перефразируя классика, можно сказать: «все системы хороши, выбирай на вкус». Все системы двигателей внутреннего сгорания интересны, история их эволюции – захватывающая, но в данной работе акцент будет сделан на топливной аппаратуре, и то не на всей, а лишь на довольно специфическом ее типе.

Основные цели настоящего пособия сводятся, во-первых, к сохранению памяти о событиях и людях, ставших вехами в истории развития этой области техники, и, во-вторых, к пробуждению у студентов и молодых специалистов интереса к топливной аппаратуре двигателей внутреннего сгорания, желания заниматься ею. Задачи настоящего пособия: вычленив из истории развития двигателей то, что касается ТПСАТ, проследить пути их развития, вспомнить замечательных людей, работавших над созданием и исследованием ТПСАТ.

Подробное описание конструкций компонентов топливоподающих систем аккумуляторного типа в настоящем пособии сознательно опущено. Конструктивные особенности различных систем достаточно подробно изложены в многочисленных учебниках и руководствах, приведены на сайтах сети интернет. Поэтому при упоминании тех или иных разработок даны в основном лишь их общие данные.

Иллюстративный материал, кроме случаев, оговоренных особо, заимствован из общедоступных ресурсов интернета, не содержащих указаний на авторов этих материалов и каких-либо ограничений для их заимствования

«Очерк истории возникновения этого принципа работы имеет поэтому особый интерес, который еще увеличивается, как и всегда при великих изобретениях, многочисленными спорам за право первенства»

Г. Гюльднер «Газовые, нефтяные и прочие двигатели внутреннего сгорания. Их конструкция и работа. Их проектирование»

«История создания ДВС содержит много полезного для тех, кто хочет заниматься или занимается изобретательством»

А. Моравский, М. Файн «Огонь в упряжке»

Глава 1. От Христиана Гюйгенса до Сэмюэля Мори

1.1 1678-1826 г.г.: Пороховые двигатели. Первые опыты подачи жидкого топлива. Идея впрыска под высоким давлением. Водородный баллон Исаака де Риваза

Считается, что первый поршневой двигатель был предложен в 1680 году голландским инженером-механиком, математиком и физиком Христианом Гюйгенсом. Двигатель Гюйгенса называют пороховым или вакуум-пороховым. В англоязычной литературе такие двигатели называли взрывными (explosive engine). Вопросы приоритета, то есть первенства технических решений, будут неоднократно упоминаться ниже. Приоритет Гюйгенса оспаривает, в частности, профессор Д.А. Юинг: «За двадцать лет до патента Савери¹, различные изобретатели предлагали поднимать воду посредством взрывчатой силы пороха. ... По видимому ни один из этих проектов не получил практического применения, и над ними производились только опыты. Наиболее интересной из пороховых машин, была машина Гюйгенса (Huygens) (1680), который впервые применил для тепловых машин поршень и цилиндр» (1).

С большой натяжкой пороховые двигатели можно считать твердотопливными ДВС. Здесь они упомянуты лишь в предположении, что через сто с лишним лет могли послужить пищей для размышления французским изобретателям братьям Ньепсам.

Около 1807 года Ньепсы построили свой тепловой двигатель, который назвали «пиролофор». Первоначально он был рассчитан на использование твердого топлива: братья пытались сжигать смесь измельченных спор *Lycopodium*, угольной пыли и смолы. Применение Ньепсами ликоподия (споры плауна) может показаться странным и экзотичным, но имеет простое объяснение: споры плауна широко использовались в театральных постановках для эффектных вспышек на сцене². Ньепсы взяли то, что было у них под рукой. Другой вопрос, что для промышленного применения ликоподий оказался дефицитным компонентом. Франция, практически, не имела угольных месторождений. Ньепсы перепробовали много разных смесей, но полностью заместить уголь им не удалось. В записке о пиролофоре, написанной для

¹ - Томас Севери получил патент на паровую машину 2 июля 1698 года

² - Дугалд Клерк прямо указывает на это в своей книге (9) на с. 410: «The familiar explosive combustion of lycopodium, and the disastrous explosions caused in the exhausting rooms of flour mills by the presence of finely divided flour in the air, have also suggested to inventors the idea of producing explosions for power purposes from combustible solids» («Знакомое взрывное горение ликоподия и катастрофические взрывы, вызванные в вытяжных помещениях мукомольных заводов присутствием в воздухе мелкодисперсной муки, также подсказали изобретателям идею создания взрывов для энергетических целей из горючих твердых веществ»)

публичного доклада, в качестве топлива указана смесь, состоящая из четырех частей каменного угля и одной части смолы» (2). Несмотря на большие усилия, которые были затрачены при доводке пиреолофора, достичь существенных результатов не удалось. Видимо, одной из главных причин было несовершенство системы питания. В конечном итоге, Клод Нисефор обратился к жидкому топливу. Нам неизвестно, знал ли он об опытах Роберта Стрита³, или нет.

Когда Ньепсы начали эксперименты с жидким топливом, точно неизвестно, но в конце 1816 года Клод пытался впрыскивать так называемое белое нефтяное масло, более всего напоминающее современный керосин.



Joseph Nicéphore Niépce,
07.03.1765-05.07.1833



Claude Félix Abel Niépce

Рис. 1.1 – Братья Ньепсы

Слова Жозефа Нисефора в письме к Клоду: «As a matter of fact if you succeed in injecting white oil of petroleum with enough energy to get instant vaporisation, it is sure, my dear friend, that you should obtain the most satisfying result»⁴ можно рассматривать, как первую формулировку идеи повышения давления впрыска для увеличения тонкости распыливания. Трудно представить себе другой способ обеспечения «enough energy».

Более двухсот лет идея повышения давления впрыска довлеет над создателями топливной аппаратуры, и современные тренды развития ТС только подтверждают ее жизнеспособность.

Какова связь между работами братьев Ньепсов и ТПСАТ? На первый взгляд, никакой. Существуют, однако, обстоятельства, которые указывают на косвенную взаимосвязь. Первое обстоятельство заключается в том, что вся последующая – после Ньепсов - история развития топливной аппаратуры двигателей внутреннего сгорания имела общим трендом именно повышение давления. Безусловно, как всегда существовали отличные мнения. Далее будут упомянуты книги В.В. Власова и Ф. ДеЛука, где прямо указано на нецелесообразность «бесконечного» повышения давления впрыска и на возможности избежать многих проблем, связанных с созданием высокого давления впрыска, применяя, в частности, компрессорное распыливание. Тем не менее, мы видим, что давления впрыска топлива неуклонно растет. Независимо от того, насколько этот тренд обоснован, очевидно, что создать такое давление можно – на нынешнем уровне развития технологии – либо с помощью насос-форсунок, либо с помощью ТПСАТ. Выбор между тем или иным техническим решением в так называемой коммерческой⁵

³ - Британский патент №1983 за 1794 г. (9)

⁴ - «На самом деле, если вам удастся впрыснуть белое нефтяное масло с достаточной энергией, чтобы получить мгновенное испарение, мой дорогой друг, вы наверняка получите наиболее удовлетворительный результат»

⁵ - В СССР эта техника называлась народно-хозяйственной, за рубежом ее принято называть коммерческой. Оба определения подразумевают технику не специального, то есть гражданского назначения

технике определяется ценой. Насос-форсунки – более дорогое решение, поэтому преобладают ТПСАТ⁶ типа Common Rail. Получается, что рецепт Жозефа Ньепса в настоящее время – необходимое условие, реализуемой, в основном, с помощью ТПСАТ.

Идея подачи топлива под давлением к месту образования топливно-воздушной смеси братьям Ньепсам не принадлежит. В 1791 году в Англии Джон Барбер получил патент на двигатель, где газ и воздух сжимались отдельными компрессорами и подавались отдельно в камеру сгорания, в 1801 году Филипп Лебон получил похожий⁷ патент во Франции. Другое дело, что приведенная выше цитата указывает на замеченную Нисефором Ньепсом взаимосвязь между давлением подачи и тонкостью распыливания.

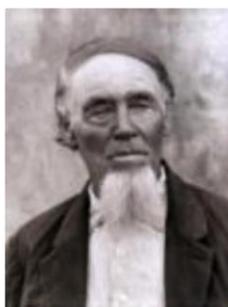


Рис. 1.2 – John Barber, 1734-1801



Рис. 1.3 - Philippe Lebon, 29.05.1767/1769 - 01.12.1804

В 1807 году франко-швейцарский артиллерийский офицер и изобретатель Исаак де Риваз, сконструировал несколько успешных паровых экипажей, или шаретт, как он называл их на французском языке.



Рис. 1.4 – Francois Isaac de Rivaz, 19.12.1752 - 30.06.1828,
вероятно, создатель первой ТПСАТ и первого двигателя внутреннего сгорания с ТПСАТ

Вероятно, армейский опыт работы с пушками привел его к мысли использовать заряд взрывчатого вещества для приведения в движение поршня вместо пара. Еще в 1804 году он

⁶ - В общем случае, ТПСАТ не исключает использование насос-форсунок, это показано далее.

⁷ - Похожий в отношении отдельного сжатия газового топлива и окислителя и их подачи в камеру сгорания

начал экспериментировать со взрывами, пытаясь построить стационарный двигатель взрывного типа. В качестве топлива де Риваз выбрал водород. В 1806 году он приступил к применению этой конструкции к тому, что стало первым в мире автомобилем с двигателем внутреннего сгорания (3). Приоритет де Риваза в отношении автомобиля в данном случае не важен. Гораздо интереснее схема его двигателя, изображение которой на рис. 1.5 заимствовано из работы (4). Элемент, обозначенный на рис. 1.3 литерой «К» представляет собой баллон с водородом - есть не что иное, как аккумулятор в топливной системе. Вероятно, это – первый случай практического использования ТПСАТ, а Исаак де Риваз, таким образом, первый конструктор двигателя с ТПСАТ.

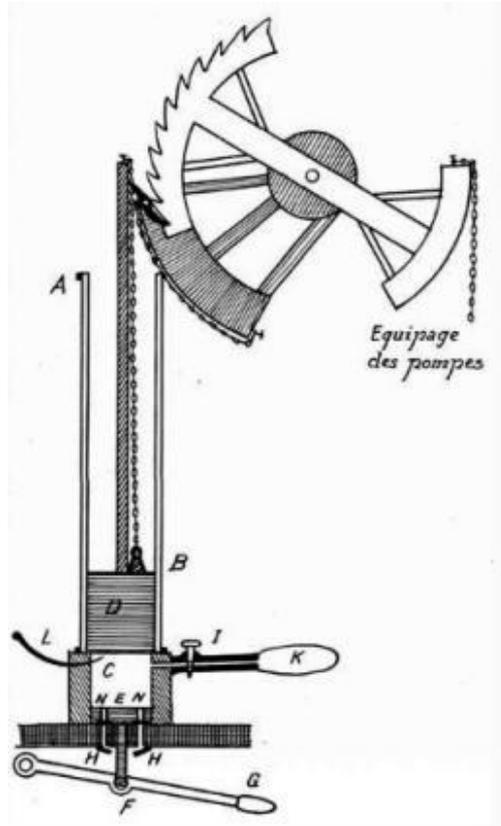


Рис. 1.5 – Схема двигателя де Риваза

Примерно в это же время по ту сторону Атлантики инженер Сэмюел Мори экспериментирует с различными видами твердых топлив. Мори пытается использовать деготь, канифоль, скипидар, алкоголь, жидкое масло, сало, уголь, смолу, сосновую древесину, древесные сучки, кору березы, семена тыквы, подсолнечника, льна и др.

В 1826 году опубликован отчет С. Мори о работе по созданию «взрывного двигателя» (5).



Рис. 1.6 – Samuel Morey, 23.10.1762 – 17.04.1843

Мори, в частности, пишет: «I have caused the explosion to compress, in a reservoir, a quantity of atmospheric air, and make use of that compressed air, for working an engine, similar to a double stroke high pressure steam engine»⁸.

Хотя слова свидетельствуют о наличии на двигателе воздушного аккумулятора, причислять конструкцию к ТПСАТ оснований, вероятно, нет. Речь может идти, скорее, о пневматическом накопителе энергии.

Опыты де Риваза и С. Мори интересны, как, вероятно, первые случаи использования пневмоаккумуляторов на двигателе.

Итогами почти сто сорока летнего периода развития топливной аппаратуры двигателей, начало которого можно связать с именем Христиана Гюйгенса, а конец - с именами Джона Барбера, Филиппа Лебона, братьев Ньепсов, Франсуа Исаака де Риваза и Сэмюэла Мори, стали полученный опыт применения в двигателях внутреннего сгорания порошковых топлив и аккумуляторов, а также вывод о целесообразности повышения давления топливоподачи. До более-менее успешного применения порошкового топлива в ДВС оставалось еще около 100 лет. До отказа от карбюраторов – более 150 лет. Но идея о целесообразности высокого давления впрыска оказалась живучей, а ее симбиоз с идеей применения аккумулялирующих емкостей - весьма перспективным.

1.2 Целесообразность создания высокого давления впрыска топлива. Связанные с этим проблемы. Первые устройства для впрыска

Первые аккумуляторы топливоподающих систем двигателей внутреннего сгорания были газовыми. Объяснение этому факту очень простое. Твердое топливо перед подачей в двигатель не нужно сжимать. Более того: сжатие порошка может привести к образованию агломератов – комков.

Сжатие жидкого топлива⁹ требует специальной аппаратуры, которая начала появляться только в конце XIX века, а первые более-менее успешные промышленные образцы ее относятся уже к началу XX века.

Перед рассмотрением истории появления и развития аккумуляторов в системах питания двигателей, использовавших жидкое топливо, нужно остановиться на оценках целесообразного значения этого давления и на проблемах, связанных с созданием высокого давления впрыска жидкого топлива.

Совет Жозефа Ньепса брату Клоду о целесообразности повышения давления подачи жидкого топлива был хорош. Пожалуй, он имел лишь один изъян: создать высокое давление при впрыске жидкого топлива ни тогда, ни еще в течение более полувека не удавалось: не существовало ни конструкций агрегатов впрыска топлива, ни технологии их промышленного производства. Само определение величины давления – «высокое» - относительно. С 1913 года, когда компания Vickers Ltd. установила свою ТПСАТ на двигатель подводной лодки, и до настоящего времени максимальное давление впрыска выросло более чем в 5 раз.

Примерно через 60 лет после опытов Клода Ньепса был выпущен двигатель Хока (Нок), в котором на «первой половине своего хода поршень всасывает немного воздуха и жидкого бензина через два маленьких клапана с соплами, помещенными в днище цилиндра. Эти сопла направлены под прямым углом друг к другу, так что струи воздуха и

⁸ - «Я вызвал взрыв, чтобы сжать в резервуаре, количество атмосферного воздуха и использовать этот сжатый воздух для работы двигателя, аналогичного двухтактному паровому двигателю высокого давления»

⁹ - слово «сжатие» в отношении жидкого топлива должно пониматься в практическом смысле, как создание давления в емкости с топливом: коэффициент сжимаемости, например, дизельного топлива составляет порядка $(5...6) \times 10^{-4}$ МПа⁻¹

бензина сталкивались¹⁰, бензинъ распыливался и лучше перемѣшивался съ воздухом» (6). Похожая идея была реализована еще через 12-15 лет в двигателе Эмиля Кэпитана (Emile Carpitaine), построенном в 1889-1891 годах фирмой Swidersky в Лейпциге (там же, с. 87). Давление впрыска определялось давлением воздуха и не могло быть слишком большим. Хотя Г. Гюльднер и используется выражение «керосиновая пыль»¹¹ для характеристики топливно-воздушной смеси в пространстве камеры сгорания, нужно понимать, что это – больше качественная, чем количественная характеристика.

В конце первой половины XX века топливные насосы высокого давления уже получили распространение, и у Г. Юнкерса была техническая возможность развить сравнительно высокое давление. Но во времена Хока и Кэпитана получение высокого давления впрыска было почти неразрешимой проблемой. Однозначного ответа на вопрос, насколько высоко должно быть это давление, не было в те времена, нет его и теперь.

До экспериментов Дизеля, в 1891 г., британская компания Richards Hornsby & Sons выпускала плунжерные насосы, по принципу действия напоминающие современные. Однако для уплотнения плунжера в таких насосах использовался комплект сальников, что не позволяло получить достаточно высоких давлений, необходимых для качественного распыливания топлива. Частичное решение проблемы утечек было найдено еще в 1912 году американцем Отто Перссоном (Otto Persson), который предложил отказаться от системы сальниковых уплотнений, заменив их точной (прецизионной) подгонкой плунжера и втулки (7).

Создание прецизионных пар, то есть подвижных соединений высокоточных деталей, образующих гидравлические элементы, более, чем на полвека решило проблемы с созданием уплотнений высокого давления. Но на каждом этапе развития техники происходят открытия не только новых решений, но и новых проблем.

Много лет спустя после работ Э. Кэпитана, при создании конструкции электроуправляемых форсунок и насос-форсунок специалисты Алтайского завода прецизионных изделий впервые для себя столкнулись с эффектом объемной деформации корпусных деталей при давлениях от 1500 кг/см² и выше. Было обнаружено, что утечки топлива через прецизионный зазор в паре при таких давлениях могут изменяться непрогнозируемо и при некотором уровне давления для данной конструкции принимать лавинообразный характер.

Не все современные молодые специалисты знают об опытах Клода Ньепса. Многие лишь наблюдают за развитием топливной аппаратуры. Наиболее заметным признаком этого развития является гонка за все более высоким давлением впрыска, гонка, которая порой представляется безудержной, а давление впрыска - чуть ли не самоцелью этой гонки.

Интересное рассуждение приводит в своей книге В.В. Власов (8): «... обращает на себя внимание, что в то время, как при воздушном распылировании уже достаточная равномерность и тонкость распыливания получается уже при 75 ат давления, такую же тонкость распыливания при механическом впрыскивании удается получить лишь при давлении в 300 ат. Причина этого лежит в различии природы обоих процессов распыливания.

При воздушном распылировании происходит пульверизация топлива воздухом, раздробление его при продавливании через распылитель форсунки, скорость воздуха больше, энергия распыливания выше.

При механическом впрыскивании распыливание происходит вследствие разрыва капелек не под действием постороннего тела, как при воздушном распылировании, а под влиянием

¹⁰ - спустя примерно 50 лет в двигателях германского выдающегося конструктора Гуго Юнкерса (Hugo Junkers) будет применена схема встречного впрыска.

¹¹ - надо уточнить, что в настоящей работе даются цитаты и ссылки не на оригинальный текст монографии Гюльднера, а на ее перевод на русский язык.

энергии, создаваемой давлением в самой струе, поэтому и требуются большие давления для создания нужной энергии»¹².

Подготовка жидкого топлива к его смешению с воздухом могла состоять либо в испарении, либо в распыливании¹³.

До появления агрегатов впрыска под давлением, не менее 200 кг/см², транспортировку жидкого топлива в камеру сгорания и его распыливание обеспечивал сжатый воздух, ничего другого в распоряжении конструкторов не было. Тем более, как видно из приведенной выше цитаты, требуемое давление воздуха намного ниже требуемого давления жидкого топлива, если подавать последнее без использования сжатого воздуха. Создать даже 75 ат для воздуха намного проще, чем 300 и даже 200 ат для жидкого топлива. Другие технологии, другие точности. Не требуется то, что позднее было названо обобщенным термином «прецизионное производство».

Осознанное проектирование, в том числе - топливной аппаратуры, подразумевает постоянные размышления над эффективностью выбираемых путей развития конструкций, над обоснованностью принимаемых решений. Как показывает опыт общения со студентами и многими специалистами, работающими даже в конструкторских бюро, тренд на повышение давления впрыска многими считается безальтернативным. К сожалению, казалось бы, закономерный вопрос о разумных пределах этого повышения не рассматривается. Было бы интересно знать мнения братьев Ньепсов, доживи они до наших дней.

1.3 1833-1895 г.г.: Появление газовых аккумуляторов в системах подачи топлива. Газовые аккумуляторы Лемюэля Райта

Следующей после опытов Сэмюэля Мори с его сжатием воздуха попыткой применения аккумулятора можно считать, вероятно, патент №6525 Лемюэля Уэллмана Райта (Wellmann Wright), выданный 1833 году. Но если, эксперименты Мори относить к способам накопления энергии, то в случае с опытом Райта речь идет уже непосредственно о топливном аккумуляторе. Райт запатентовал газовый двигатель, в котором «газ и воздух подаются в цилиндр двигателя от отдельных насосов через два резервуара, при давлении на несколько фунтов выше атмосферного» (9).

Резервуар, в котором давление топлива на любую величину, пусть даже на «несколько фунтов», выше атмосферного, можно с полным на то основанием интерпретировать, как топливный аккумулятор.

Биографические данные Лемюэля Уэллмана Райта, которые удается обнаружить из общедоступных источников, весьма скудны. Родился Райт, по всей видимости, 9 апреля 1790 в Плайнфельде, в Нью-Гемпшире, скончался 25 апреля 1886 года в Нью-Йорке. Его портрета обнаружить не удалось.

В 1838 г. в Англии был выдан патент №7615 Уильяму Барнетту (William Barnett), который предложил газ и воздух предварительно сжимать в отдельных цилиндрах, а смесь перед воспламенением дожимать в рабочем цилиндре двигателя. Отдельный цилиндр, в котором газ (топливо) находился под избыточным давлением, можно интерпретировать, как аккумулятор. Был ли Уильям Барнетт знаком с идеями Лемюэля Уэллмана Райта, неизвестно.

¹² - компрессорное распыливание в настоящее время не применяется серийно, но его сторонников можно адресовать к работам В.С. Кукиса с сотрудниками: Владимир Самойлович долго и тщательно занимался вопросами использования сжатого воздуха для распыливания жидкого топлива; опубликовано довольно много его интересных работ по этому направлению.

¹³ - это обстоятельство отчетливо проявилось в развитии карбюраторов: все их многообразие принято было делить на «испарительные» и «впрыскивающие», хотя в конструкциях конца эпохи карбюраторов эти признаки, как правило, присутствовали совместно.

В 1858 году во Франции изобретатель Дегран (Degrand) получил патент №36801 на тепловой двигатель, в котором газ, являвшийся топливом, сжимался до некоторого давления специальным насосом и нагнетался в аккумулятор, чтобы в дальнейшем быть поданным оттуда в цилиндр (10).

В 1865 году был построен и применен, вероятно, первый и самый большой аккумулятор для газового топлива: инженер Пауль Хейнлейн использовал в качестве аккумулятора для своего авиационного двигателя оболочку дирижабля.

Решение оказалось остроумным, но неудачным: четырехцилиндровый горизонтальный газовый двигатель Хейнлейна потреблял около 7 кубометров газа в час. Из-за этого подъемная сила дирижабля постепенно уменьшалась, и, соответственно, уменьшалась дальность полета. Аккумулятор Хейнлейна представляет исторический интерес и может служить характерным примером несистемного подхода, когда решение одной локальной задачи приводит к потере общей конструкцией (в данном случае - летательным аппаратом) своей основной функции.



Рис. 1.7 – Paul Haenlein, 17.10.1835-27.01.1905

Пауль Хейнлейн, вероятно, заимствовал идею Анри Жиффара: 24 сентября 1852 года в пригороде Парижа состоялись испытания дирижабля конструкции А. Жиффара, причем оболочка дирижабля была наполнена светильным газом, а двигателем являлась паровая машина (11). Паровая машина в аппарате А. Жиффара работала на угле, потому количество газа в оболочке оставалось неизменным. К тому же, сжигание угля уменьшало полную массу дирижабля без уменьшения подъемной силы.



Рис. 1.8 – Baptiste Jules Henri Jacques Giffard, 08.02.1825-15.04.1882

Совершенствуя конструкции своих дирижаблей, Жиффар пришел к мысли о комплектации паровой машины двумя котлами, из которых один бы работал на керосине, а второй – на газе из оболочки аэростата.

В 1872-1873 годах Джорджем Брайтоном был построен двигатель, в котором «когда поршень а достигает верхней мертвой точки, сжатый воздух из камеры d устремляется в впускной вентиль e, где он насыщается бензиномъ, образуемая смьсь воспламеняется и при постоянном давлении входит в рабочейй цилиндръ» (6). Изображение этого двигателя, заимствованное из (10), приведено на рис. 1.10.



Рис. 1.9 – George Brayton, 03.10.1830-17.12.1892

Около 1895 года в США компанией Lambert Gas and Gasoline Engine был построен двигатель, в топливной системе которого конструкторы применили газовый аккумулятор - Gas Bag на рис. 1.10. (12).

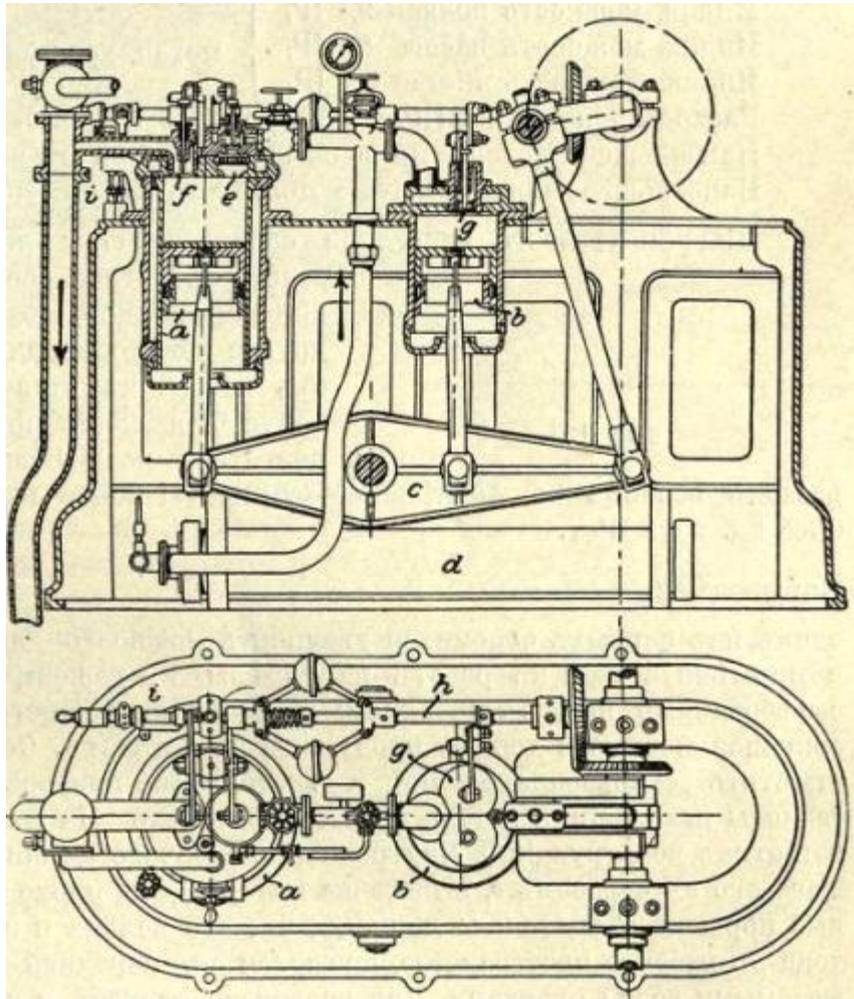


Рис. 1.10 – Двигатель Дж.Б. Брайтона, пневмоаккумулятор обозначен литерой «d»

К концу первого десятилетия XX века ситуация с развитием ТПСАТ выглядела следующим образом: в серийном производстве существовали конструкции газовых аккумуляторов. В качестве газа могло быть газообразное топливо или воздух. Эти аккумуляторы применялись для решения двух задач: запуска двигателя и доставки топлива в камеру сгорания. Сжатый воздух из аккумуляторов представлял собой не только окислитель, необходимый для последующего сгорания топлива, но и своеобразную транспортную среду, был носителем, без которого распылить и доставить топливо в камеру сгорания было бы невозможно.

Сжатый воздух был решением задачи, давно и хорошо известной создателям тепловых машин, в том числе – паровых машин. Паровые машины и двигатели внутреннего сгорания возникли и создавались почти в одно и то же время. Одни и те же специалисты в разные периоды своей жизни занимались то одной, то другой темой. Происходило естественное заимствование технических решений и даже терминологии. Специализация отраслей машиностроения, которые могут быть условно названы теплотехническими – паротурбостроения, котлостроения и двигателестроения – только начинала углубляться.

В начале 1870-х годов, российский инженер – строитель и специалист по прочности конструкций - Владимир Шухов предложил свой вариант устройства для впрыска топлива в топку котла. Шухов назвал свое устройство форсункой от англ. to force – нагнетать.

Неизвестно, является ли это случай первым применением термина «форсунка» для устройств подачи топлива в камеру сгорания. В котлостроении уже во времена В.Г. Шухова применялся термин «инжектор». В книге профессора Д.А. Юинга, изданной в переводе профессора Ю. Ломоносова в Киеве в 1904 году, есть интересные комментарии относительно назначения инжекторов. Юинг, в частности, пишет: «Идея инжектора, принадлежащая Жиффару¹⁴ (Giffard), состоит в том, что струя пара увлекает за собой частицы воды и гонит ее в котель¹⁵» (1).

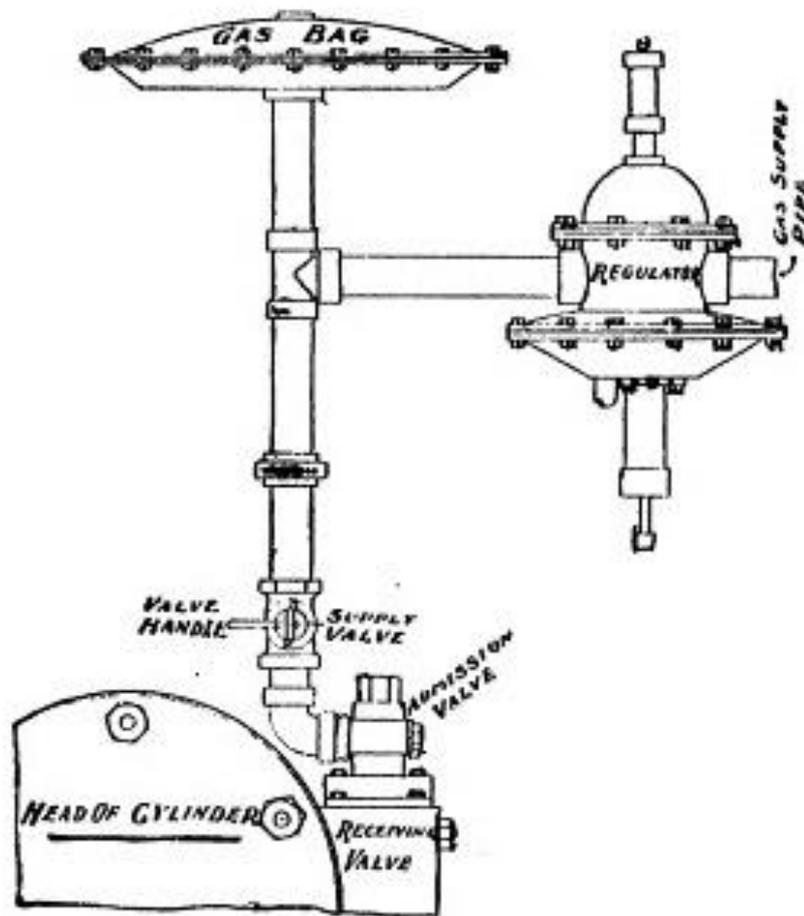


Рис. 1.11 – Двигатель компании Lambert Gas and Gasoline Engine с газовым аккумулятором

¹⁴ - это тот самый Анри Жиффар, конструктор дирижаблей и паровых машин для них

¹⁵ - это и есть принцип использования дополнительной среды для транспорта топлива в камеру сгорания; в этом отношении первый двигатель Р. Дизеля не был новым



Рис. 1.12 – Владимир Григорьевич Шухов, 28.08.1853-02.02.1939

На с. 333 своей книги профессор Ю. Ломоносов дает следующее примечание №104: «Теория инжектора въ общихъ чертахъ одинакова съ теоріей конуса. Оба эти прибора относятся къ такъ называемым* пароструйнымъ аппаратам*. Сюда же слѣдуетъ присоединить и форсунки, употребляемыя для нефтяного отопленія. Теорія пароструйных* аппаратов* была разработана Цейперонъ. На русскомъ языкѣ по этому предмету можно ийти указанія въ приложеніи къ курсу Гидравлики проф. Д. П. Рузскаго ...».

Очевидно, что В.Г. Шухову должны были быть известны распространенные конструкции инжекторов, в том числе – работы выдающегося российского военного инженера А.И. Шпаковского. Александр Ильич Шпаковский «еще в 1866 году ... сконструировал сигнальную лампу — в спиртовой огонек насосом под давлением подавалась пульверизированная¹⁶ струя скипидара. ... После серии опытов Шпаковский к 1866 году создал первую в мире «паровую форсунку», которая позволяла паровому котлу работать не на твердом угле, а на жидком топливе» (13).



Рис. 1.13 – Александр Ильич Шпаковский, 20.08.1823-25.06.1881

Изображение «паровой» форсунки А.И. Шпаковского, заимствованное из работы (11), показано на рис. 1.14.

У многих может вызвать удивление и даже недоверие тот факт, что проектирование форсунок (или инжекторов) было весьма распространенным делом в России второй половины XIX века. Однако, это так: все более ускоряющаяся индустриализация страны требовала развития тепловых двигателей.

«Специфические условия России, богатой ресурсами жидкого топлива, предопределили решение задачи о его сжигании в промышленных условиях! Еще в 1867 г. А. И. Шпаковский разработал метод сжигания жидкого топлива в мелко распыленном состоянии, применив

¹⁶ - термины «пульверизация», «пульверизованная» этимологически происходят от латинского слова «pulveris» - порошок, пыль. Употребляемый в парикмахерских пульверизатор для одеколona – устройство для распыливания. Во второй половине XIX века в России распыливание часто переводили термином «пульверизация».

его в котле сконструированной им пожарной лодки "Русская". 80-е годы ознаменовались целой серией форсунок для разнообразных условий сжигания жидкого топлива. Замечательная форсунка Шухова, и поныне находящаяся в эксплуатации, форсунка Данилина с внутренним подводом распыливающегося пара, форсунка Ленца с плоским факелом горения, форсунка Береснева с плоским факелом, действующим на все 360°, бесшумная форсунка Иванова, механическая форсунка Тентелевского завода, как писал инженер Гулишамбаров, означали, что "... в деле нефтяного отопления Россия далеко оставила за собою все остальные государства и наши приборы для этой цели постоянно служат предметом удивления американцев, приезжающих в Баку" (14).

Идея использования во впрыскивающих устройствах двух различных сред, различных по физико-химическим свойствам, оказалась чрезвычайно перспективной.

В зависимости от решаемых задач можно выделить следующие варианты ее осуществления:

- 1 среда – топливо, 2 среда – средство размельчения и переноса частиц топлива в камеру сгорания;
- 1 среда – топливо, 2 среда – средство переноса частиц топлива в камеру сгорания;
- 1 среда – топливо №1, 2 среда – топливо №2 в ином агрегатном состоянии.

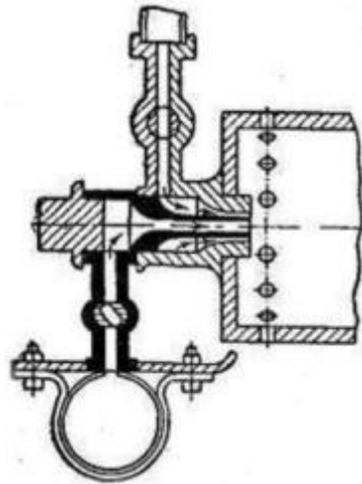


Рис. 1.14 – «Паровая» форсунка А.И. Шпаковского

В 1884 г. Зейнлейном был предложен способ вдувания топлива сжатым воздухом. Вскоре им был получен патент на керосиновый двигатель с подачей керосина посредством сжатого воздуха и зажигания электрической искрой.

Через два года Свидерский в Лейпциге построил двигатель с компрессором, т. е. прибором для распыливания горючего сжатым воздухом.

Двигатели, в которых топливо подавалось в камеру сгорания сжатым воздухом от специального компрессора, получили название компрессорных двигателей. Очень важным обстоятельством является то, что обычно воздух от компрессора попадал в зону смешения с топливом через промежуточный резервуар. Так было удобнее: обеспечивалось постоянное или почти постоянное давление «наддува», сглаживались пульсации. Этот резервуар – не что иное, как воздушный аккумулятор. Полтора века спустя воздушные резервуары, называемые ресиверами, широко используют при стендовых испытаниях ДВС, часто и не подозревая при этом, какую предысторию они имеют.

За несколько лет до опытов Свидерского и Зейнлейна кельнский преподаватель Отто Келлер¹⁷ в своей книге «Теория газовых двигателей» сделал прямое предложение сконструировать двигатель тяжелого топлива с применением самовоспламенения топлива, постепенного введения его в камеру сгорания (15).

Зейнлейну удалось обойтись без компрессора: он применил способ, который в дальнейшем получил название кривошипно-камерной продувки. Изображение схемы распыливания, предложенной Зейнлейном, заимствованное из работы (16), показано на рис. 1.15.

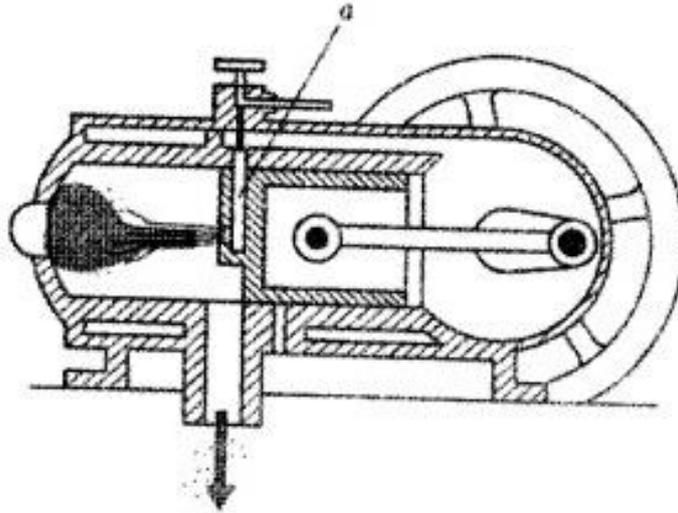


Рис. 1.15 – Схема впрыска топлива в двигателе Зейнлейна

Сжатый в кривошипной камере воздух подавался для распыливания топливной эмульсии через канал *a* в днище поршня.

В книге профессора Юинга упоминается, в частности, двигатель Уильяма Дента Пристманна: «Одним из первых керосиновых двигателей, получивших замѣтное распространение былъ двигатель Пристманна (Priestmann). Въ этомъ двигателѣ керосинъ приводился въ газообразное состояніе не въ цилиндрѣ, а въ особой камерѣ, обогрѣваемой исходящими газами, и имѣющей температуру 100°—150° С. Керосинъ взбрызгивался туда особаго рода форсункой, въ которой движущей жидкостью являлся слегка сжатый воздухъ» (1). Конструкция двигателя Пристманна описана, в частности, в монографии Г.Д. Хискокка (12). На рис. 1.16 приведены изображение двигателя Пристманна и фрагмента устройства подачи топлива в нем, заимствованные из работы (12). Гарднер Хискокк прямо указывает, что топливо вытеснялось из бака давлением воздуха¹⁸.

К концу первого десятилетия XX века аккумуляторы для жидкого топлива, практически, отсутствовали. Можно сказать, что в период, начиная от конструкции Лемюэля Уэллмана Райта до смерти Рудольфа Дизеля включительно, ТПСАТ были представлены газовыми аккумуляторами в двух основных вариантах: для хранения сжатого газа-топлива и для хранения сжатого воздуха. При этом воздух использовался как для сжигания топлива, так и для распыливания и транспорта топлива в камеру сгорания.

Как говорилось выше воздушные аккумуляторы в системе впрыска использовали и используют не только непосредственно на двигателях, но и в экспериментальных установках, на

¹⁷ - из-за сходства русского написания фамилии и совпадения одного из имен можно спутать Отто Келлера (Karl Otto Keller) - главного технического специалиста фирмы William Doxford & Sons и Отто Келлера (Otto Koehler) - одного из критиков работ Рудольфа Дизеля

¹⁸ -«A is the oil tank ... , from which oil under air pressure is forced through...»

испытательных стендах. Вероятно, одним из наиболее ранних примеров может служить вариант Миллера и Бердслея (Miller H.E. and E.G. Beardsley), предложенный ими не позднее 1926 года. Фридрих Засс в своей книге (17) приводит описание их установки, применявшейся при проведении опытов в Аэродинамической лаборатории имени Лангley (США)¹⁹.

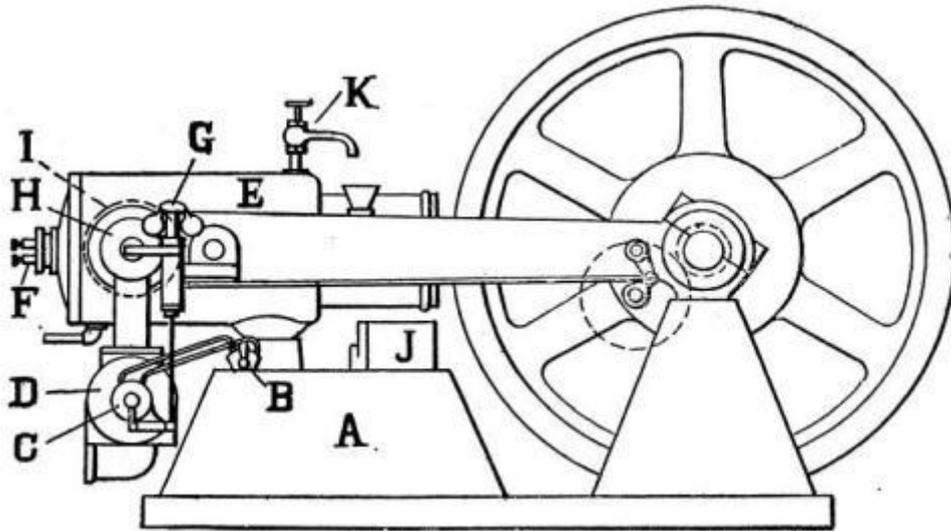


Рис. 1.16 – Двигатель Пристманна, топливный бак, из которого давлением воздуха вытеснялось топливо, обозначен литерой «А»

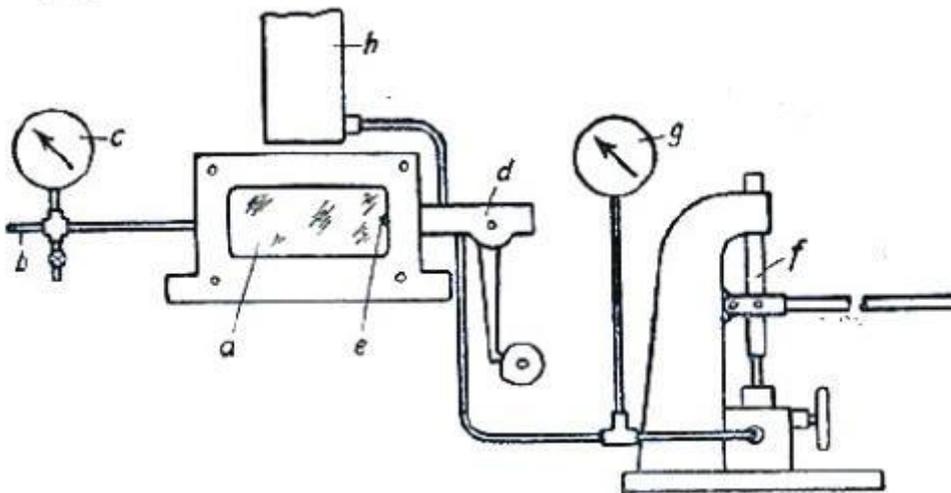


Рис. 1.17 – Экспериментальная установка с воздушным аккумулятором

Струя топлива впрыскивалась в камеру *a* с толстыми стеклянными стенками, которая по трубопроводу *b* наполняли азотом под заданным давлением. Давление контролировали по манометру *c*. Впрыск выполняли форсункой *d*. Распылитель *e* форсунки *d* видно через стекло

¹⁹ - результаты опубликованы Miller H.E. and E.G. Beardsley Spray Penetration with a simple Fuel Injection Nozzle. – Washington, Government Printing Office, 1926

камеры a . Топливо к форсунке d подавали ручным насосом f . Давление топлива контролировали по манометру g . Для поддержания возможно постоянного давления топлива при впрыске, форсунка d была сообщена с воздушным баллоном (аккумулятором) h , который выравнивал падение давления при впрыске.

Контрольные вопросы

1. Для каких газов были предназначены баллоны двигателей С. Мори и И. де Риваза?
2. Двигатель Зейнлейна относился к компрессорным или бескомпрессорным двигателям, с точки зрения системы топливоподачи?
3. Кому принадлежит идея использования дирижабля в качестве газового аккумулятора?
4. Кого можно считать изобретателем первой ТПСАТ? В каком году был построен первый двигатель с ТПСАТ?
5. При одинаковой тонкости какое распыливание требует большего давления: компрессорное или бескомпрессорное?

Глава 2. Эпоха Рудольфа Дизеля. 1879-1897 гг.

С точки зрения эволюции ТПСАТ представляют интерес не только работы самого Р. Дизеля, но и результаты корректировок, вносимых в его проекты в компаниях Maschinenfabrik Augsburg и Friedrich Krupp в 1893-1897 годах, а также позднее - в компании Sulzer Brothers Ltd. и Vickers Ltd. Почему именно эти компании оказались связанными с двигателями, называемыми теперь именем Дизеля, и в том числе с топливной аппаратурой для них, могут понимание дать некоторые исторические подробности событий того времени.



Рис. 2.1 – Rudolf Christian Karl Diesel, 18.03.1858-29.09.1913

Хотя история создания Рудольфом Дизелем двигателя внутреннего сгорания очень интересная, к теме настоящего пособия она не имеет прямого отношения. Поэтому можно только адресовать читателя к прекрасным книгам Л. Гумилевского (15), Г. Гюльднера (6), Ф. Засса²⁰ (10) и А.А. Радцига (18).

20 апреля 1892 года руководство компании Maschinenfabrik Augsburg согласилось изготовить опытный образец двигателя по проекту Р. Дизеля. Правда, далее возникли трудности²¹: предприятие требовало готовый проект, которого у Дизеля не было. 6 февраля 1893 года он отправил в Maschinenfabrik Augsburg чертежи, а 27 февраля составил пояснительную записку объемом 50 листов, в которой изложил расчеты и рекомендации.

Полугодом ранее Дизель рассматривал вариант топливного насоса с плунжером диаметром 20 мм. Но теперь он рассчитывает на диаметр 4 мм и ход 8 мм. В то же время, Дизель «сам не верит в работоспособность этого крошечного насоса и предлагает вместо насоса использовать топливный сосуд²² под давлением и использовать игольчатый клапан для измерения необходимого количества топлива.

²⁰ - в интернете можно встретить написание фамилии «Сасс»

²¹ - трудности, типичные для изобретателей: если они не являются профессиональными конструкторами, то, как правило, они приходят на промышленное предприятие с «голой» идеей. Вполне логично предположить, что за пятнадцать лет после окончания Высшей школы, Дизель мог потерять навыки даже элементарного черчения. А навыки практического проектирования молодые специалисты, вероятно, приобретали тогда так же, как и сейчас – в условиях непосредственной практической работы конструктором. Дизель вряд ли часто чертил, работая у Карла фон Линде директором холодильного завода.

²² - фактически – аккумулятор для жидкого топлива. В оригинале, у профессора Засса написано: «Er glaubt aber selbst nicht an die Ausführbarkeit dieser winzigen Pumpe und schlägt vor, anstelle der Pumpe ein unter Druck gehaltenes Brennstoffgefäß zu verwenden...»



Рис. 2.2 – Hugo Güldner, 18.07.1866-12.03.1926, (10)
выдающийся германский инженер, с 1899 года главный конструктор Allgemeine
Gesellschaft für Dieselmotoren в Аугсбурге

При первых испытаниях двигатель был снабжен таким сосудом, который удерживался при желаемом давлении впрыска с помощью ручного насоса» (10). Если не считать двигателя Дж.Б. Брайтона, упомянутого в первой главе настоящего пособия, первоначальный образец мотора Р. Дизеля можно рассматривать, как первый двигатель с чисто гидравлическим аккумулятором.



Рис. 2.3 – Friedrich Sass, 06.01.1883-26.02.1968, (19),
выдающийся германский инженер-конструктор,
теоретик и историк двигателей внутреннего сгорания

Напомним, что в двигателе Дж.Б. Брайтона тоже был аккумулятор, и, вообще говоря, он был наполнен жидким топливом. Аккумулятор Дж.Б. Брайтона интересен тем, что он представлял собой комбинированный сосуд, в котором существовало избыточное давление и воздуха, и топлива.

Предварительно Дизель оценивал необходимое давление впрыска величиной 50 до 60 атмосфер, то есть лишь не на много выше, чем давление сжатия (44 атмосферы), которое он планировал получить²³.

Стоит обратить внимание на величину давления, вспомнив замечание инженера В.В. Власова в его книге (8).

Причины неиспользования аккумулятора для жидкого топлива, вероятно, заключаются не в конструктивных особенностях самого аккумулятора.

Ведущий специалист фирмы AMBAC Int., историк топливной аппаратуры, Фрэнк Де-Лука излагает собственную версию: «Когда Рудольф Дизель в 1893 году заключил контракт с

²³ - очень важным моментом здесь является то, что фактически Р. Дизель предлагает аккумулятор для жидкого топлива. К сожалению, судя по изображению двигателя после переделки, в дальнейшем «сосуд» для топлива не использовался, а был заменен «пневмоаккумулятором для вдувания» («Druckakkumulator fuer Einblasen»).

Аугсбургом и Круппом из Германии на разработку более эффективного двигателя внутреннего сгорания, одной из его целей было использовать в качестве топлива кучи порошкообразного угля, которые скапливались по всей сельской местности... в конце концов в качестве топлива было принято жидкое топливо... оно механически впрыскивалось в двигатель. Результаты, вероятно, были неудовлетворительными из-за оборудования для впрыска..., поэтому доктор Дизель прибегнул к использованию оборудования для сжатого воздуха, доступного в результате его экспериментов с угольной пылью... Таким образом, на ранних стадиях разработки этого нового двигателя подчеркивалась важность процесса впрыска топлива для сгорания двигателя, и последующий прогресс в разработке дизельных двигателей в значительной степени зависел от улучшений в процессе впрыска топлива» (20).

27 марта 1893 года чертежи были закончены, 12 июля Дизелю сообщили, что изготовление двигателя завершено, и испытания можно начать 17 июля.

Двигатель оказался неработоспособным.

«Въ слѣдующіе затѣмъ годы появились еще три различныхъ опытныхъ модели двигателя и такимъ образомъ, мало-помалу, былъ выработанъ тотъ способъ дѣйствія, который едва ли даже сохранилъ что-либо общее съ таковымъ «раціональнаго двигателя»...» (6).

На рис. 2.5 показан поперечный разрез двигателя после первой переделки, заимствованный из фундаментального труда Ф. Засса (10). Одной из особенностей двигателя было использование воздушного компрессора, который подавал сжатый воздух в пневмоаккумулятор, откуда воздух поступал в форсунку, смешивался с топливом и впрыскивался в камеру сгорания.

В Эссене был построен двигатель «по мотивам» предложений Р. Дизеля. Изображение этого двигателя, заимствованное из работы (6), показано на рис. 2.6. На рис. 2.7 показана общая схема компрессорных двигателей Дизеля, заимствованная из работы (21).

В 1897 году трудами инженеров Maschinenfabrik Augsburg и Friedrich Krupp удалось путем глубокой переделки создать работоспособный двигатель с удовлетворительными техническими характеристиками²⁴.

Летом 1897 года сам Дизель фактически отошел от творческой работы, переключившись на маркетинг и улаживание патентных споров. В 1897 году ГФД заключает лицензионный договор – но не с Дизелем, а с Maschinenfabrik Augsburg и Friedrich Krupp. Это очень показательный факт. Уже в 1898 году, ГФД строит первый дизельный двигатель собственной конструкции. В 1901 году лицензионный договор был расторгнут.

²⁴ - в истории создания работоспособных образцов двигателей по идеям Р. Дизеля должно быть упомянуто имя конструктора Maschinenfabrik Augsburg, почти совершенно неизвестное советским и российским студентам: Иммануэль Лаустер. Фридрих Засс, которого справедливо считают одним из крупнейших историков ДВС, пишет о Лаустере, что «мы должны признать (за ним) самую большую заслугу в преодолении технических трудностей, из-за которых дизельный двигатель грозил выйти из строя на рубеже веков» (10). Высокую оценку трудам Лаустера дает и сын Рудольфа Дизеля, Eugen Diesel (там же): «Лаустер ... прилагал все мыслимые усилия, не жалел усилий, чтобы немедленно вмешаться, если произошел сбой. Каждое утро он в полном молчании ходил к одному из первых моторов, работавший на заводе... сам заводил машину, потому что мастер-механик из-за ужасного треска двигателя не набрался смелости сделать это. Лаустер стремился понять все большие и маленькие ошибки, и через множество ... улучшений ... постепенно привел к повышению надежности работы дизельного двигателя»



Рис. 2.4 – Imanuel Lauster, 28.01.1873-15.03.1948, (10), с 02.01.1896 - инженер-конструктор в лаборатории двигателей Р. Дизеля в Maschinenfabrik Augsburg (будущая компания М.А.Н.), с 1904 - начальник отдела дизельных двигателей М.А.Н., в 1913 вошел в совет директоров М.А.Н., главой которого он стал в 1932 году

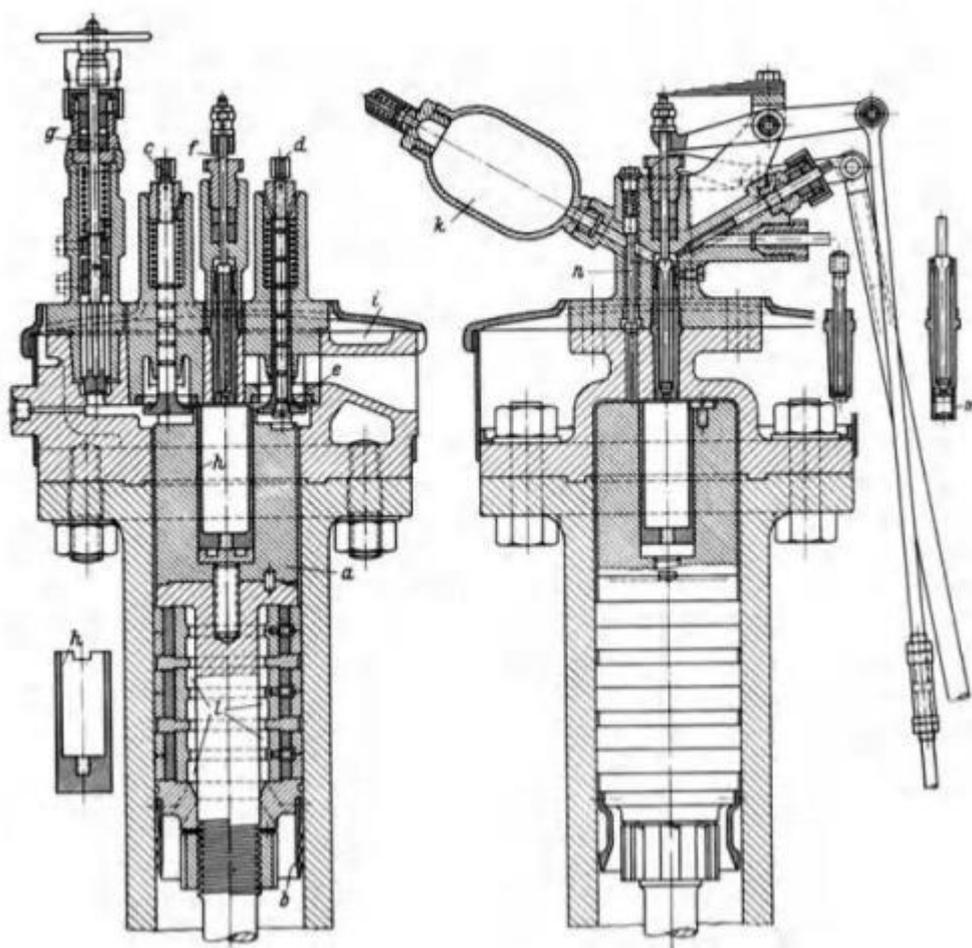


Рис. 2.5 – Опытный двигатель Р.Дизеля после первой переделки пневмоаккумулятор обозначен литерой «k»

В 1898 году первый дизельный двигатель собственной конструкции построят и в компании Sulzer Brothers Ltd. Впоследствии фирма Sulzer Brothers Ltd. будет много заниматься ТПСАТ.

Не вдаваясь в дискуссию о приоритете идей Р. Дизеля по организации смесеобразования и сгорания, нужно отметить, что, с точки зрения применения сжатого воздуха для распыливания топлива, опытные образцы, построенные при его участии, не являются новыми.

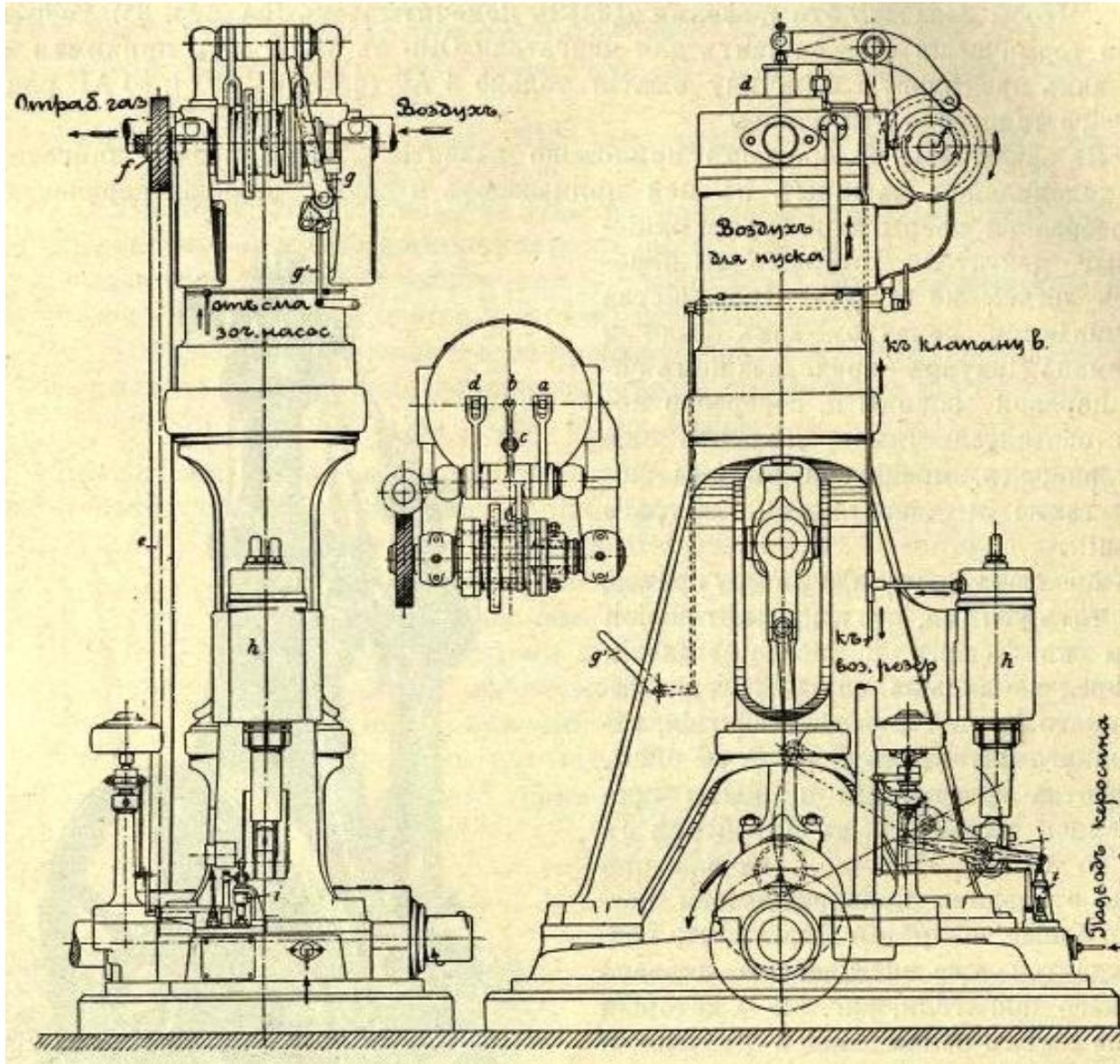
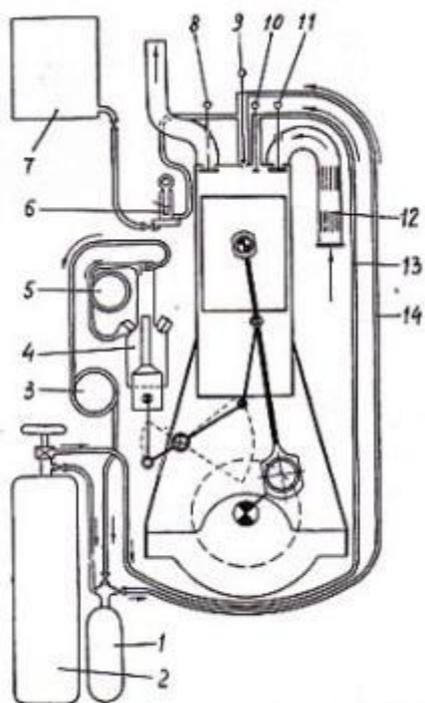


Рис. 2.6 – Воздушный насос обозначен литерой «h», пневмоаккумуляторы отдельно не показаны

Фрэнк ДеЛука подробно описывает принцип действия компрессорных систем впрыска в двигателях конца XIX – первой трети XX века: «Принцип действия большинства систем впрыска топлива был аналогичен тому, который впервые был использован Рудольфом Дизелем. Топливо дозировалось и подавалось насосом в распылитель, который был соединен с резервуаром для хранения с высоким давлением, создаваемым воздушным компрессором, и впрыск происходил, когда клапан форсунки открывался механизмом, приводимым в действие кулачком. Затем воздух высокого давления поступал в цилиндр двигателя, неся с собой дозированное топливо в виде мелко распыленного аэрозоля...» (20).



- 1 – баллон рабочего воздуха;
 2 – баллон пускового воздуха;
 3, 5 – охладители воздуха; 4 – компрессор;
 6 – топливный насос; 7 – топливный бак;
 8 – выпускной клапан; 9 – форсунка;
 10 – пусковой клапан; 11 – впускной клапан;
 12 – фильтр-глушитель;
 13, 14 – воздухопроводы

Рис. 2.7 - Схема компрессорного двигателя Дизеля, [7]

Из рис. 2.7 видно, что на двигателе Дизеля было не менее двух баллонов сжатого воздуха. По крайней мере, один был предназначен для подачи топлива и, по крайней мере, еще один – для пуска. Впоследствии термин «воздухопуск» получил широкое распространение именно в дизельных двигателях, особенно в двигателях специального назначения, в частности, танковых.

В Англии была предпринята попытка применения для впрыска топлива пара: здесь очевидна связь с форсунками А.И. Шпаковского и В.Г. Шухова. Инженер Джон Эдвард Торникрофт (Thornycroft) попытался использовать для получения пара отработавшие газы, но потерпел неудачу.

Надо понимать, что ни в одной области человеческого знания, науке и технике не существует ни одного технического решения, которое имело бы только плюсы или только минусы. Инженерная практика всегда предполагает поиск компромиссов, а оптимизация заключается в определении наименьшего зла или наибольшей пользы.



Рис. 2.8 – Frank DeLuca, 18.04.1916-16.11.2014,
 ведущий специалист компании AMBAC Int., историк топливной аппаратуры



Рис. 2.9 – John Edward Thornycroft, 05.09.1872-21.11.1960, британский инженер, президент Института инженеров-механиков (1937 г.)

Компрессорные двигатели не могли не обладать недостатками. Но способ подачи топлива в камеру сгорания с помощью сжатого воздуха²⁵ имел положительные особенности: «Хотя впрыск с помощью воздуха был заменен впрыском только топлива с начала 1930-х годов, знание системы (воздушного впрыска – прим. авт.) и ее характеристик все еще должно представлять интерес. Например, было возможно практически постоянное сгорание, при этом максимальное давление было всего примерно на 120 фунтов на квадратный дюйм выше давления сжатия двигателя. Это стало результатом контролируемой скорости горения и охлаждающего эффекта нагнетаемого воздуха. Успех доктора Дизеля в области впрыска воздуха можно объяснить следующими особенностями этого изделия:

1. Топливная струя была мелко распылена, проникновение было адекватным, и была достаточная турбулентность для смешивания топлива и воздуха в цилиндре для хорошего сгорания с невидимым выхлопом...
2. Во время впрыска не было волн гидравлического давления, которые могли бы прервать или увеличить продолжительность распыления.
3. Процесс допускал использование вязких и даже грязных видов топлива.
4. Механизм впрыска топлива был надежным и доставлял мало хлопот» (20).

Контрольные вопросы

1. К какому типу двигателей, с точки зрения распыливания топлива, относились образцы, построенные при участии Р. Дизеля с 1892 по 1897 годы?
2. Какое давление впрыска Р. Дизель считал достаточным для смесеобразования?
3. В каком агрегатном состоянии находилось (преимущественно) содержимое аккумуляторов на двигателях Р. Дизеля?

²⁵ - важным уточнением в данном случае является то, что сжатый воздух в двигателях мог использовать в трех вариантах: для запуска мотора, для вытеснения жидкого топлива из бака (двигатель Пристманна) и для подачи в камеру сгорания топлива и, одновременно, воздуха.

Глава 3. Первая половина XX века. Механическая доминанта

3.1 Бескомпрессорное распыливание. Расположение аккумуляторов на двигателе

26 ноября 1910 года британское патентное ведомство зарегистрировало заявку и впоследствии выдало патент инженеру Джеймсу МакКехни²⁶ (James MacKechnie) на «Усовершенствования в двигателях внутреннего сгорания».

«Усовершенствования...» касались топливной системы. МакКехни предложил схему топливной системы, в которой плунжер имел пружинный привод, в котором энергия, необходимая для перемещения, накапливалась с помощью кулачкового механизма за счет сжатия пружины. В момент, соответствующий началу подачи, кулачок освобождал пружину, и она приводила плунжер в действие (22). Интересная особенность предложенной системы заключалась в том, что она система была аккумуляторной, причем аккумулятор оформлен, как отдельный агрегат с пружинным регулятором давления. Возможно, это был первый случай применения пружинных аккумуляторов в топливных системах.

Авторы работы (23) отмечают, что, начиная с 1910-х годов, ТПСАТ активно применялись на главных судовых двигателях. МакКехни был техническим директором компании Vickers Ltd.²⁷ и очень логично, что его идеи были воплощены на практике: не позднее 1911 года компания представила свою аккумуляторную систему. Ее изображение, заимствованное из (17), приведено на рис. 3.1. Фридрих Засс прямо называет систему впрыска, предложенную МакКехни в патенте (22), системой Викарс (17).

В ТПСАТ Vickers Ltd. плунжер *a* топливного насоса засасывает топливо через ниппель *b* и всасывающий клапан *c* и подает его через нагнетательный клапан *d* и ТВД в аккумулятор *f*. Скалка *h* аккумулятора *f* нагружена пружиной *g*, величина затяжки которой определяет уровень давления. Доступ топлива в камеру сгорания рабочего цилиндра доступен только в момент подъема иглы *k* рычагом, получающим свое движение от кулака *i*.

По свидетельству Ф. Засса, «почти все английские двигатели для подводных лодок, построенные во время войны ... работали по этому принципу, причем согласно патентной формуле давление впрыска должно было составлять от 2000 до 6000 английских фунтов на квадратный дюйм, т. е. примерно от 140 до 420 *at*, однако и тогда уже предпочитали ныне употребляемое давление в 300 *at*» (17).

Если обратить внимание на величину давления в аккумуляторе ТПСАТ компании Vickers Ltd., можно заметить, что она более, чем в пять раз превышает давление, которого смог достичь Р. Дизель в своих опытных двигателях (6). Интересно, что работы Vickers Ltd. по применению ТПСАТ в 1910 году выполнены в рамках мероприятия по переоборудованию компрессорных дизелей в бескомпрессорные (24).

1916 год был богат на события. В этом году истек срок действия последних патентов Р. Дизеля – за их использование можно было больше не платить. Вероятно, это повлияло на завершение объединения в США компаний Atlas Engine Co. и Imperial Gas Engine Company. Новая организация стала называться Atlas Imperial Diesel Engine Company. До объединения обе фирмы выпускали бензиновые двигатели, но после объединения построили первый дизельный мотор. Компания Atlas Imperial Diesel Engine Company в последующие двадцать лет становится одним из активных мировых центров создания ТПСАТ.

²⁶ - в литературе встречается написание МакКечни

²⁷ - небезынтересным является тот факт, что на испытаниях двигателя Р. Дизеля в октябре 1897 года присутствовали представители Vickers Sons & Maxim из Лондона и Burmeister & Wain из Копенгагена (10). В 1911 году Vickers Sons & Maxim была переименована в Vickers Ltd.

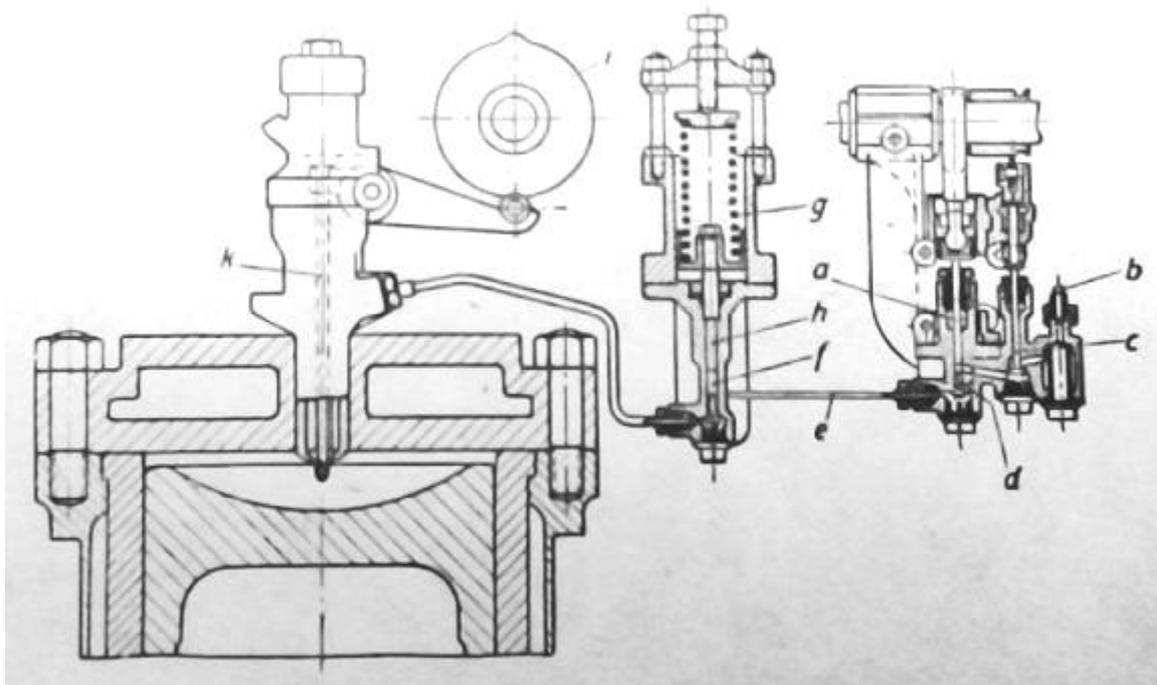


Рис. 3.1 – ТПСАТ компании Vickers Ltd., (17)

В 1916 году Vickers Ltd. применила двухтактные двигатели с ТПСАТ, на подводных лодках. В системе использовались четыре ТНВД, обеспечивающих давление до 3000 фунтов на квадратный дюйм²⁸ каждые 90° вращения, чтобы поддерживать давление топлива в аккумуляторе на достаточно постоянном уровне. Подачу топлива в отдельные цилиндры можно было перекрыть с помощью клапанов в ТВД между аккумулятором и форсунками.

В этом же – 1916 - году компания Doxford Engines установила ТПСАТ на своем двигателе (25). Двигатель развивал 250 л.с. при 130 мин⁻¹.



Рис. 3.2 – Karl Otto Keller, 1877-22.07.1942

главный конструктор фирмы Doxford Engines с 1911 г.

При этом фирма Doxford Engines начинала с варианта аккумуляторной топливной системы с механически управляемыми форсунками-дозаторами, а затем перешла к применению отдельных клапанных дозаторов для каждого цилиндра с механическим приводом от небольшого распределительного вала, через которые топливо поступало из общей аккумуляторной системы к обычным гидравлическим форсункам (26).

²⁸ - примерно 21 МПа

В дальнейшем схема была изменена (см. рис. 3.3): для каждого цилиндра двигателя был предусмотрен собственный аккумулятор 2, в который топливо поступало из ТНВД 1. Дозирующее устройство 4 соединяло аккумулятор 2 с форсункой 7.

Принцип действия этой системы следующий: ТНВД 1 нагнетает топливо в аккумулятор 2. Геометрическое начало подачи определяется моментом открытия клапана 3, управляемого через кинематическую систему кулачной шайбы 6. Заданная величина цикловой подачи устанавливается продолжительностью открытия клапана 3. Это осуществляется за счет изменения зазора в приводе клапана 3 с помощью эксцентрика 5. При полной нагрузке двигателя давление топлива в аккумуляторах составляет от 450 до 500 кг/см².

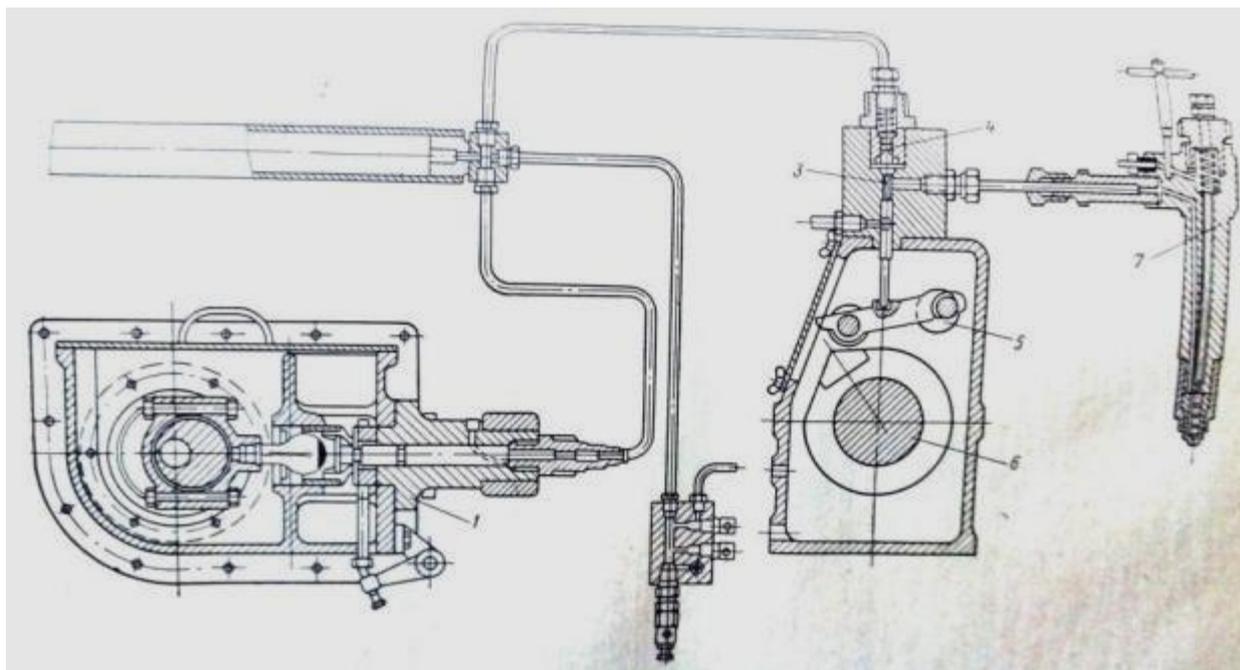


Рис. 3.3 – ТПСАТ Doxford Engines, (24)

ТПСАТ устанавливали на малооборотные судовые двигатели с цилиндровой мощностью 1000-1200 л.с.

Компания Cooper-Bessemer устанавливала на высокооборотные дизели средней мощности аккумуляторную систему, имевшую те же основные узлы, что система Doxford Engines, но несколько в ином исполнении. В ТПСАТ предусматривался единственный ТНВД, работающий на аккумулятор, общий для всех форсунок двигателя. В отличие от системы Doxford Engines, дозирующее устройство было реверсивным. Кроме того, ТПСАТ Cooper-Bessemer была снабжена автоматическим регулятором давления топлива, действовавшим на дробных режимах работы с целью снижения максимального давления впрыска при малых цикловых подачах (24). Схематичное изображение ТПСАТ Cooper-Bessemer, заимствованное из (20), показано на рис. 3.4. Около 1942 года компания Cooper-Bessemer применила ТПСАТ на своем тепловозном двигателе GN-8 (27).

В 1919 году компания Atlas Imperial Diesel Engine Co. построила собственный двигатель с топливной системой аккумуляторного типа. Схема этой системы, заимствованная из работы (20), показана на рис. 3.4. Как видно из рис. 3.5, форсунки этой системы имеют механическое управление. Этот двигатель стал первым в США примером серийного применения топливоподающей системы аккумуляторного типа.

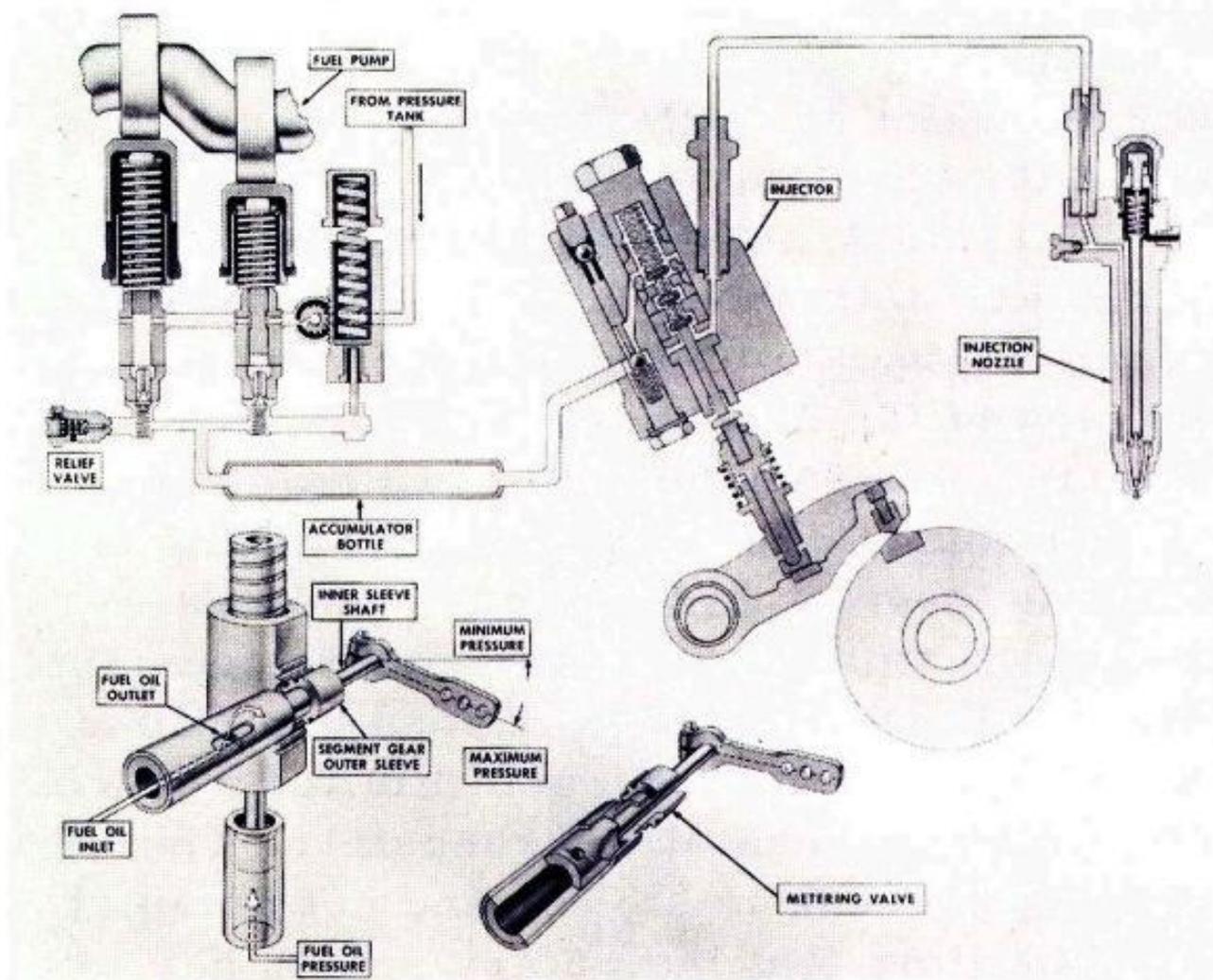


Рис. 3.4 – ТПСАТ Cooper-Bessemer

В 1921 году компания Doxford Engines начала использовать ТПСАТ в своих судовых двигателях с оппозитными поршнями. Многоплунжерный ТНВД создавал давление около 60 МПа, а топливо хранилось в баллонах-аккумуляторах. Регулирование давления достигалось регулируемым ходом нагнетания насоса и «переливным» клапаном.

Интересно, что для испытаний топливной аппаратуры, а, конкретнее, для проверки топливопроводов высокого давления применялись приспособления, очень напоминавшие современные аккумуляторы. Фридрих Засс в своей книге (17) приводит изображение такого приспособления (рис. 3.6).

Изображение на рис. 3.6 поразительно напоминает современный топливный аккумулятор системы Common Rail. Единственное, что «режет» глаз – манометр циферблатного типа. Напомним, что источник, откуда заимствовано изображение на рис. 3.6 – монография Ф. Засса, изданная в СССР в 1935 году.

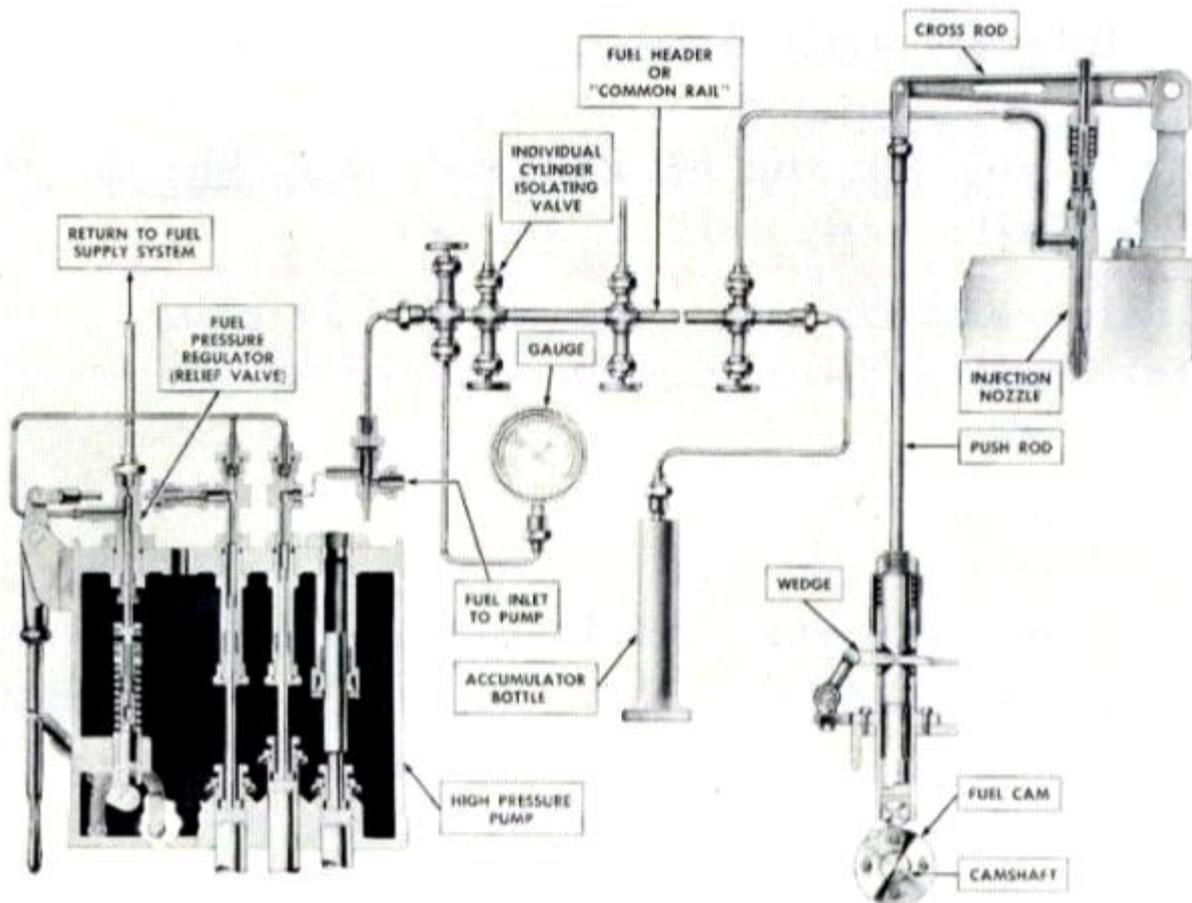


Рис. 3.5 – Схема ТПСАТ двигателей Atlas Imperial Diesel Engine Co.

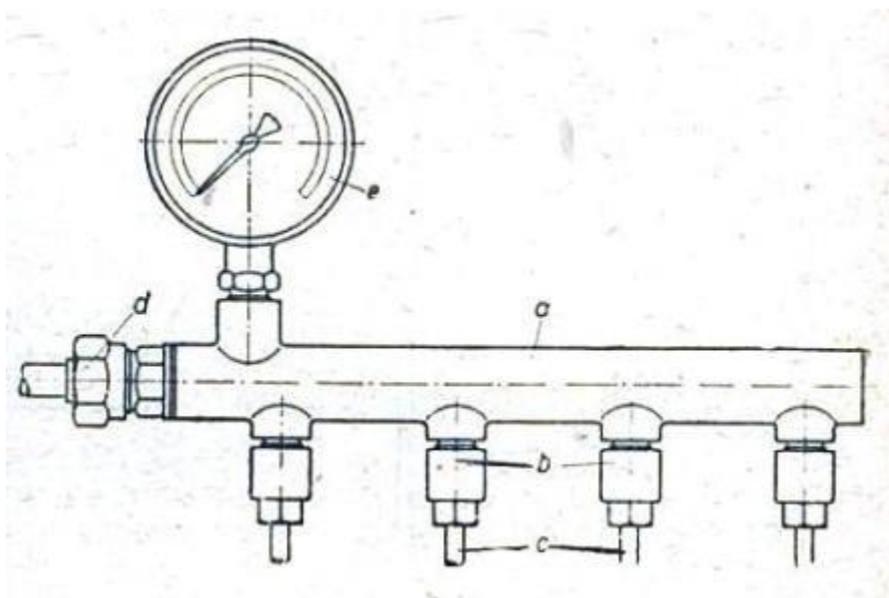


Рис. 3.6 – Приспособление для сравнения сопротивлений нагнетательных топливопроводов

а – распределительный коллектор, б – штуцеры для присоединения труб,
с - испытываемые трубы, d – присоединение для воды высокого давления, e - манометр

Выделение аккумуляторов в отдельный агрегат, последовательно включенный в контур высокого давления топливной системы, на многие годы стал основным – магистральным - путем развития ТПСАТ. Вместе с тем, на протяжении последних ста лет неоднократно предпринимались попытки переноса аккумулирующих объемов, их конструктивного совмещения с форсунками или топливными насосами.

Вероятно, одной из наиболее ранних подобных попыток было предложение Ги Белла (Guy Bell), получившего в 1924 году патент (28). Конструкция ТПСАТ с аккумуляторной форсункой Ги Белла показана на рис. 3.7 (изображение заимствовано из (28)).

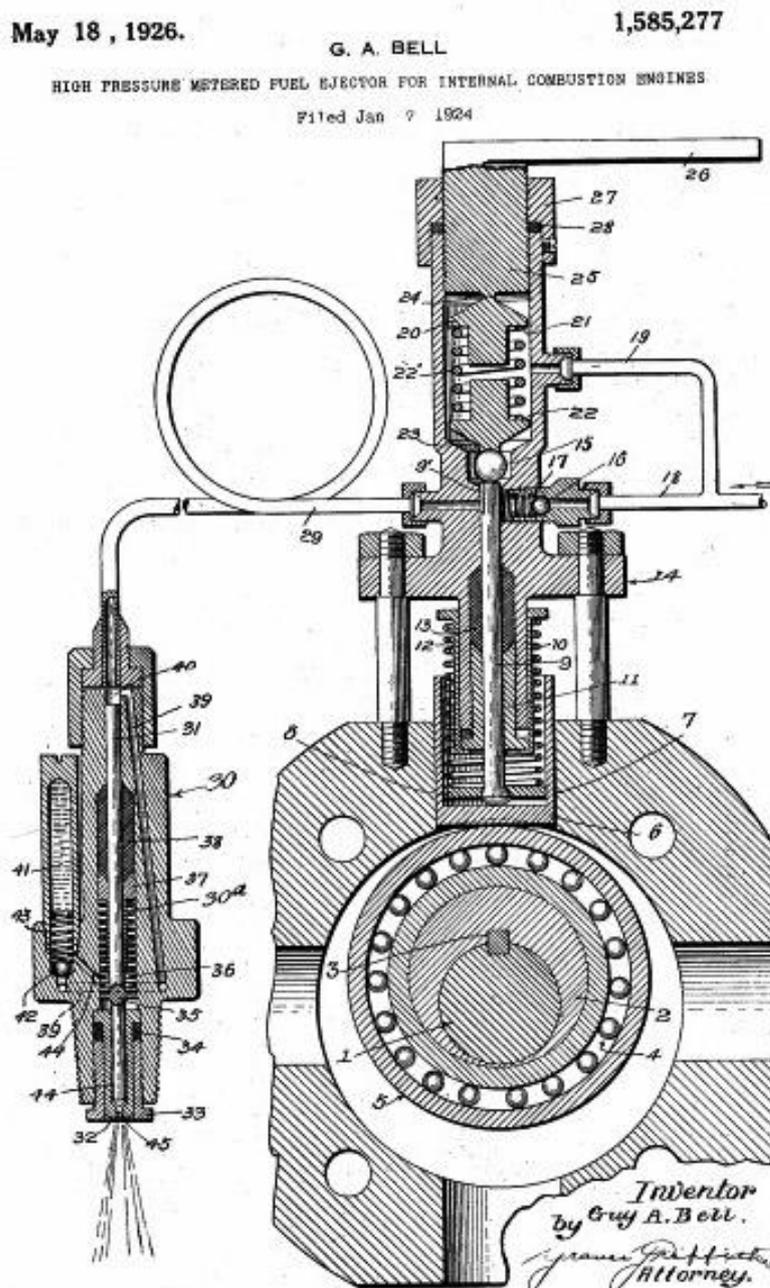


Рис. 3.7 – ТПСАТ с аккумуляторной форсункой Ги Белла, (28), аккумулятор обозначен позицией 41.

Изображение, взятое из патента Ги Белла интересно, кроме прочего, тем, что там четко показана петля на топливопроводе высокого давления (поз. 29). Такие петли выполняли ради выдерживания одинаковой длины ТВД ко всем форсункам. Хотя топливная система с форсункой Ги Белла относится к ТПСАТ, выполнение аккумулятора только в форсунке не исключает необходимости подобных петель, то есть протяженных ТВД от ТНВД к форсунке.

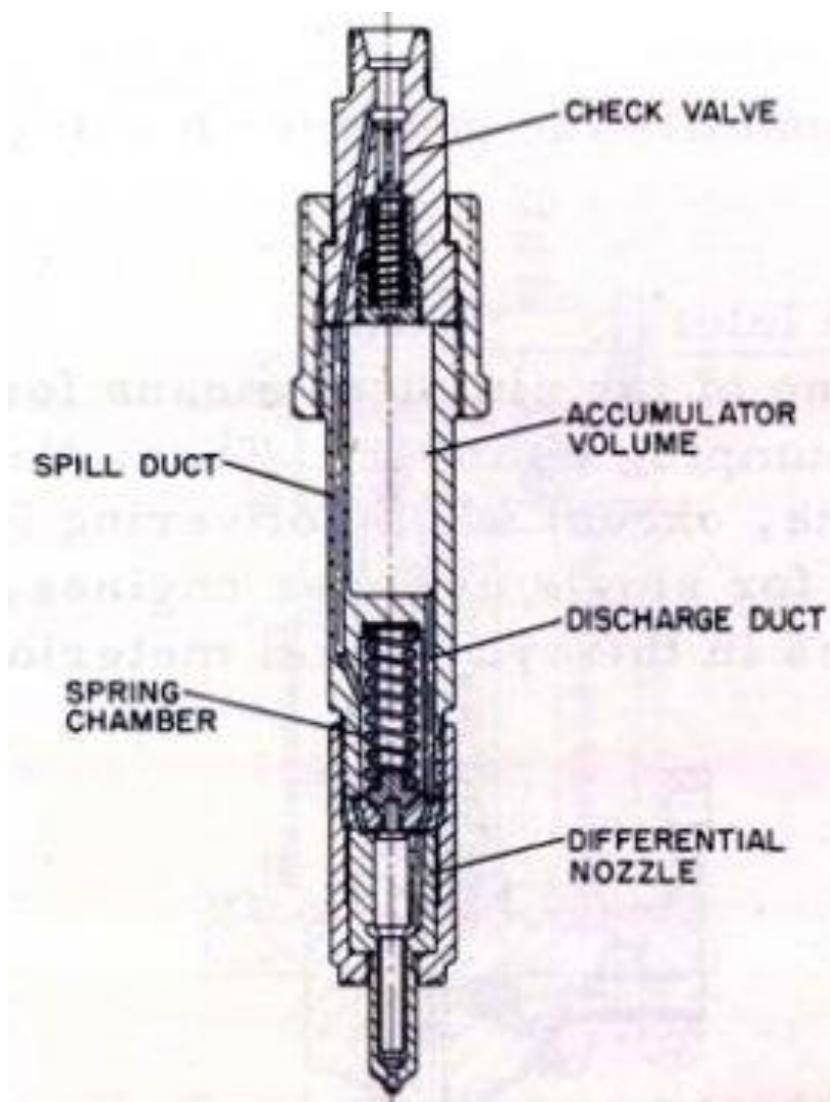


Рис. 3.8 – Аккумуляторная форсунка AMVIC Int.

В дальнейшем аккумуляторные форсунки пытались строить многие ведущие разработки топливной аппаратуры. На рис. 3.8 показана конструкция, предложенная специалистами American Bosch (AMVIC Int.). Изображение заимствовано из работы (20).

В СССР также предпринимались попытки объединения аккумулятора с форсункой. Пример подобной конструкции разработки ЦНИДИ показан на рис. 3.9 (заимствовано из (24)).

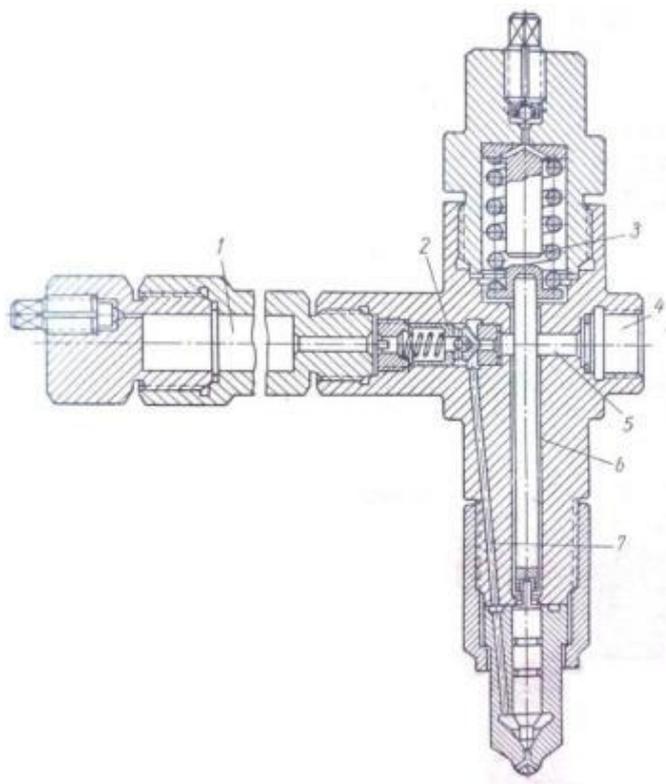


Рис. 3.9 – Форсунка с аккумулятором конструкции ЦНИДИ

Эволюция форсунок двигателей MTU 4000 показана на рис. 3.10, заимствованном из работы (29). Вероятно, неслучайно появление встроенного аккумулятора на форсунках, обеспечивающих давление свыше 2000 кг/см^2 .

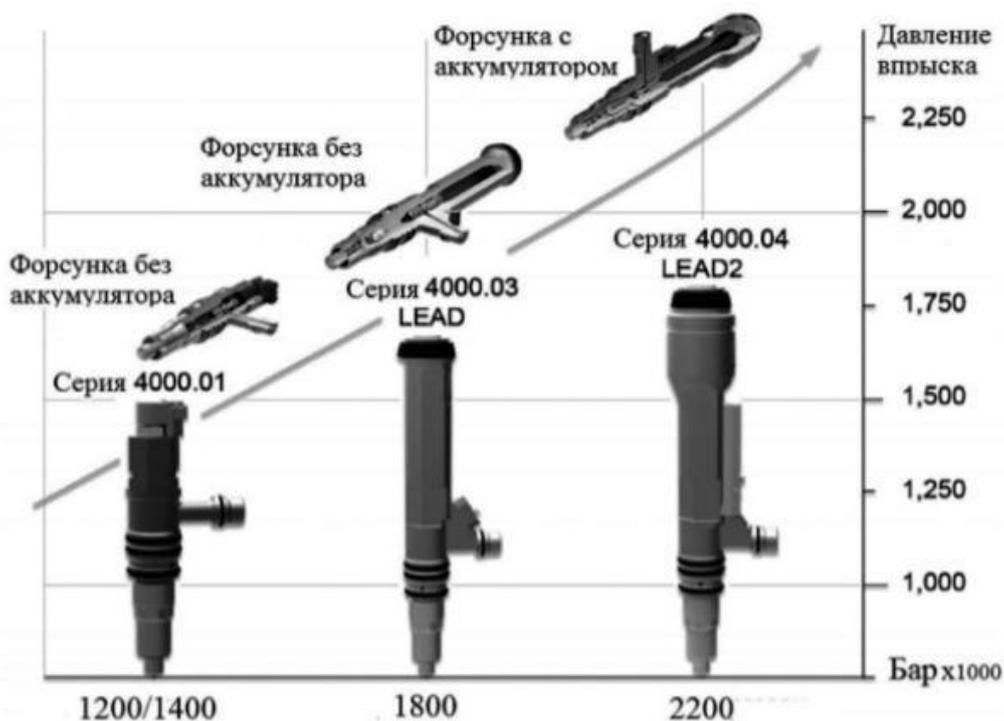


Рис. 5. Изменение давления впрыска двигателей серии 4000 с 1996 г. по настоящее время

Рис. 3.10 – Эволюция форсунок двигателей MTU-4000

На рис. 3.11 показана аккумуляторная форсунка L'Orange двигателей MTU-4000 со встроенным аккумулятором.

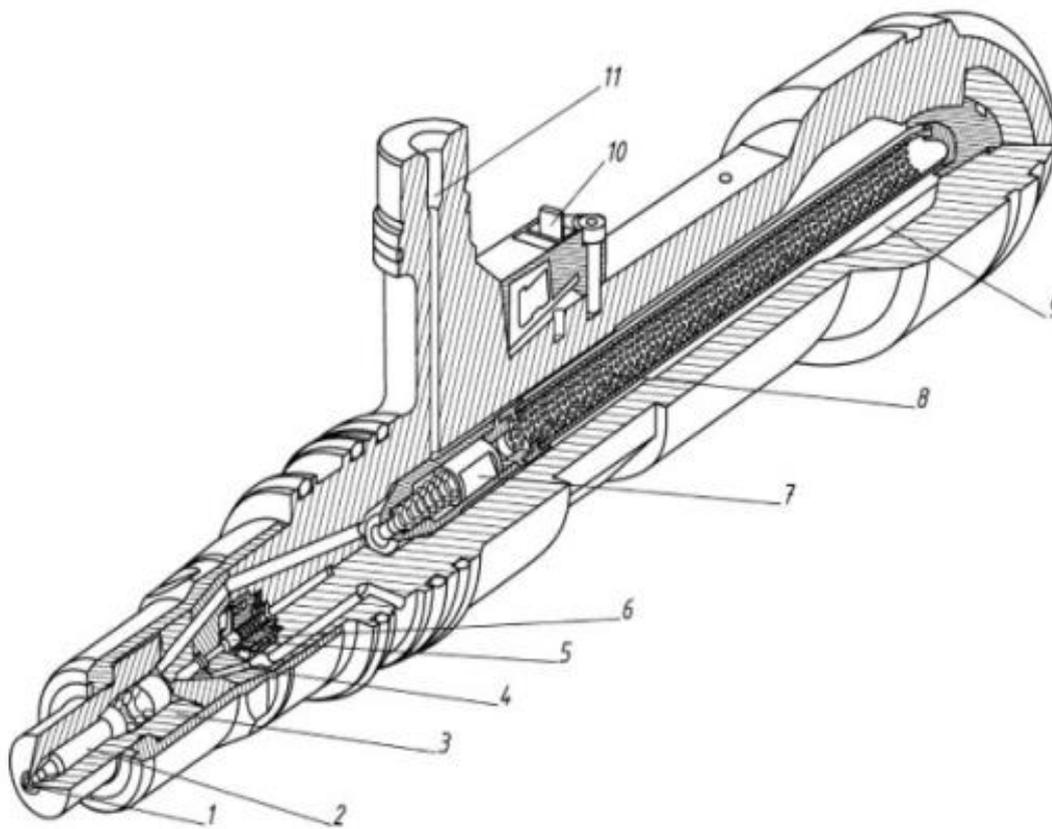


Рис. 3.65

Электроуправляемая форсунка высокооборотного дизеля серии 4000 фирмы MTU с дополнительным аккумулятором в корпусе форсунки:

1 — сопловый наконечник; 2 — игольчатый клапан; 3 — корпус распылителя; 4 — канал слива топлива из магистрали управления; 5 — клапан управления подачей с электроприводом; 6 — катушка соленоида; 7 — поршень системы ограничения максимальной подачи; 8 — фильтр; 9 — полость аккумулятора; 10 — электрический разъем; 11 — штуцер подвода топлива под высоким давлением.

Рис. 3.11 – Аккумуляторная форсунка L'Orange

Были попытки создания конструкций насосов с встроенными аккумуляторами. На рис. 3.12 показаны варианты размещения аккумуляторов в насосных секциях ТНВД, описанные в (24). Широкого распространения такие системы не получили.

Интересным до некоторого времени самостоятельным путем развития топливных систем стало объединение в одном агрегате топливного насоса и форсунки. Одна из первых попытка объединить насос и форсунку в один агрегат была предпринята, вероятно, Карлом Вайдманом (Carl Weidman) в 1905 году. Схема насос-форсунки Вайдмана показана на рис. 3.13, заимствованном из работы (20).

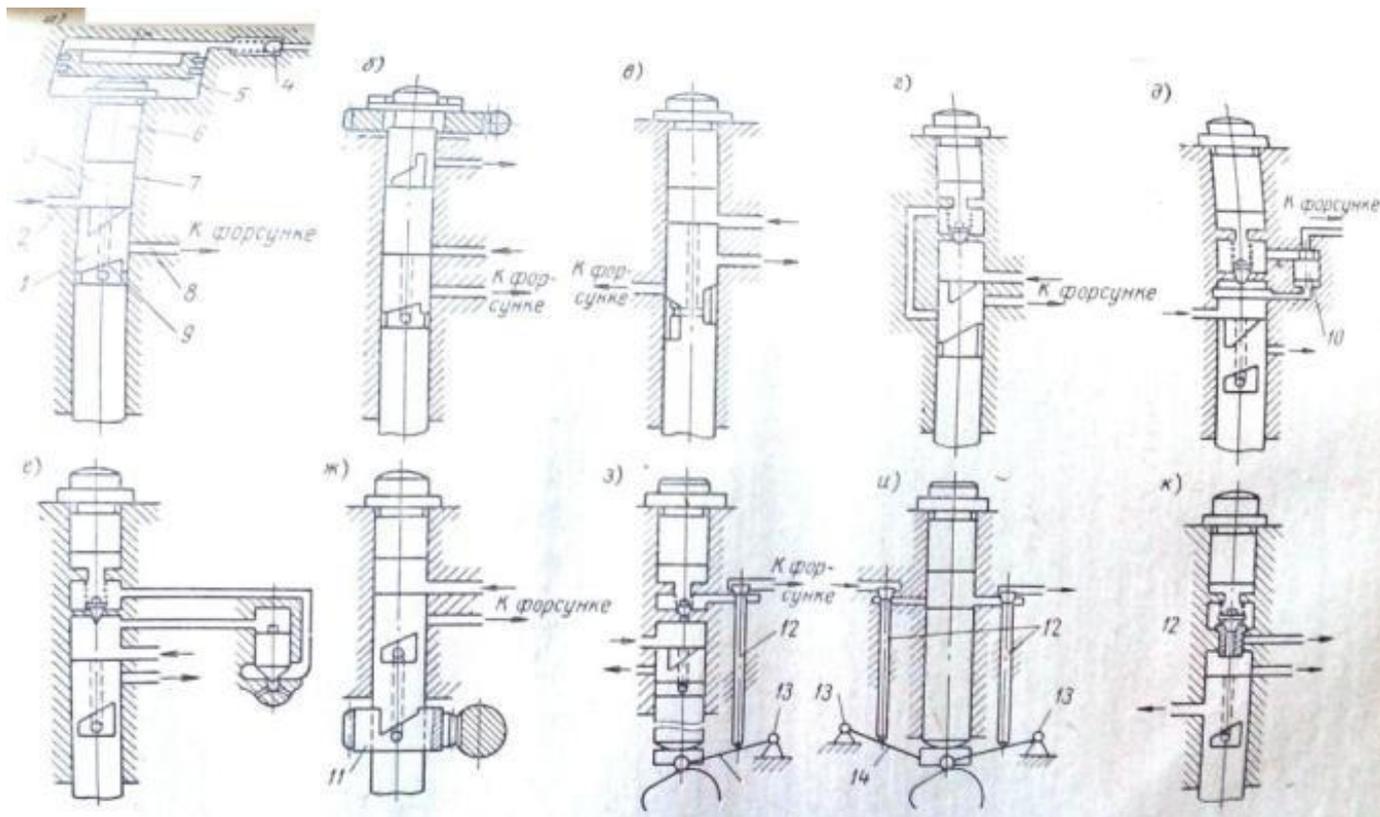


Рис. 3.12 – Принципиальные схемы ТНВД с плунжерными аккумуляторами

Во время работы количество топлива, подаваемое плунжером А и контролируемое периодом открытия всасывающего клапана В, проходило через обратный клапан С в кольцевое пространство распылителя D. Там он смешивался с нагнетаемым воздухом перед выбросом через отверстие сопла. Насос-форсунка Вайдмана представляет собой переходную конструкцию, где, с одной стороны, уже используется плунжерная пара для нагнетания жидкого топлива, и, с другой стороны, организовано смешение топлива с воздухом перед истечением из распылителя.

В 1911 г. Фредерик Ламплауч (Frederick Lamplough) получил британский патент №1517 на устройства, напоминающие те, которые используются сегодня. Изображение насос-форсунки Ф. Ламплауча, заимствованное из работы (20), приведено на рис. 3.14. По современной классификации, такая конструктивная схема, скорее, должна быть отнесена к так называемым столбиковым или индивидуальным топливным насосам.

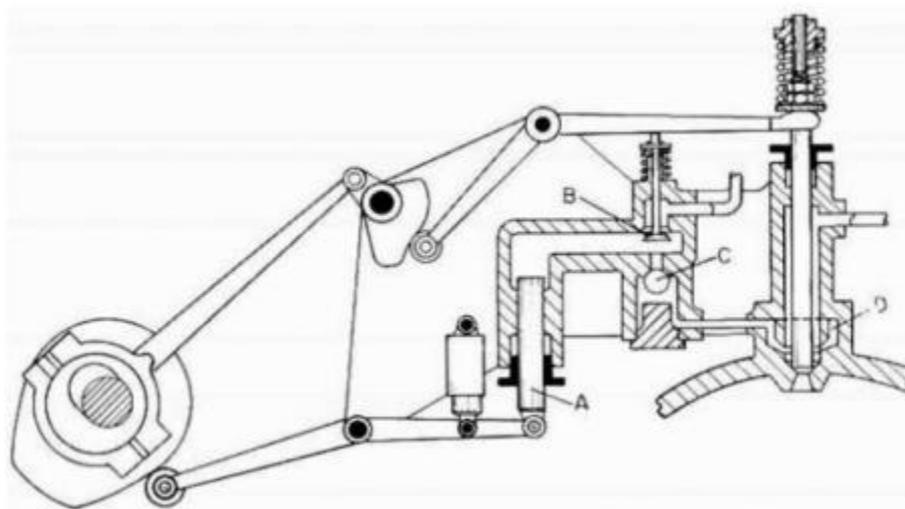


Fig. 13. Early unit injector. (After Carl Weidmstn's German patent No175,932 of 1905.)

Рис. 3.13 – Насос-форсунка Карла Вайдмана

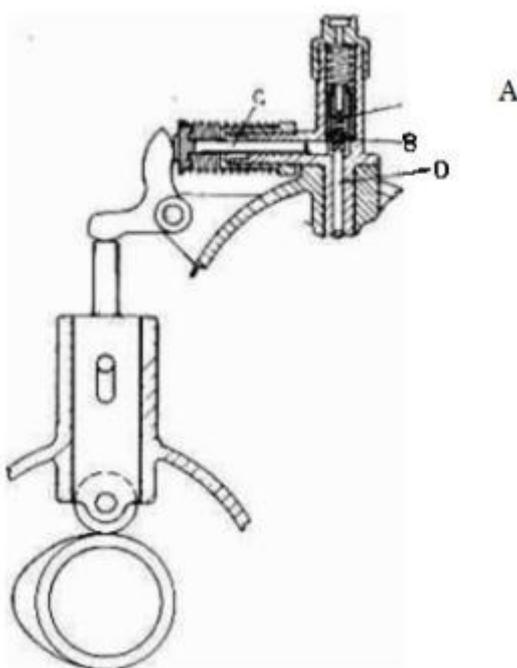


Рис. 3.14 – Насос-форсунка Фредерика Ламплоуча

В России первый четырехтактный дизельный двигатель с насос-форсунками прошел испытания на заводе Мекса в Москве 12 октября 1912 года (30). В США коммерческое применение насос-форсунок началось в 1931 году на двигателях Winton по проекту К.Д. Солсбери. В 1934 году Артур Филден получил патент США US №1981913 на конструкцию форсунки, принятой для двухтактного дизельного двигателя General Motors.

Интересно, что вскоре после появления насос-форсунки стали пытаться совмещать с аккумуляторами. В июне 1927 года Sulzer Brothers Ltd. (Gebrüder Sulzer) предложила два варианта размещения аккумулирующих объемов – в корпусе форсунки и перед ней (рис. 3.15), а в декабре 1929 года - насос-форсунку с встроенным аккумулятором (31) (рис. 3.16).

Управление процессом впрыска в таких системах было механическим.

Примерно в 1921 году компания R. Bosch начала разработку ТНВД для дизельных двигателей. В 1923 году были изготовлены первые образцы.

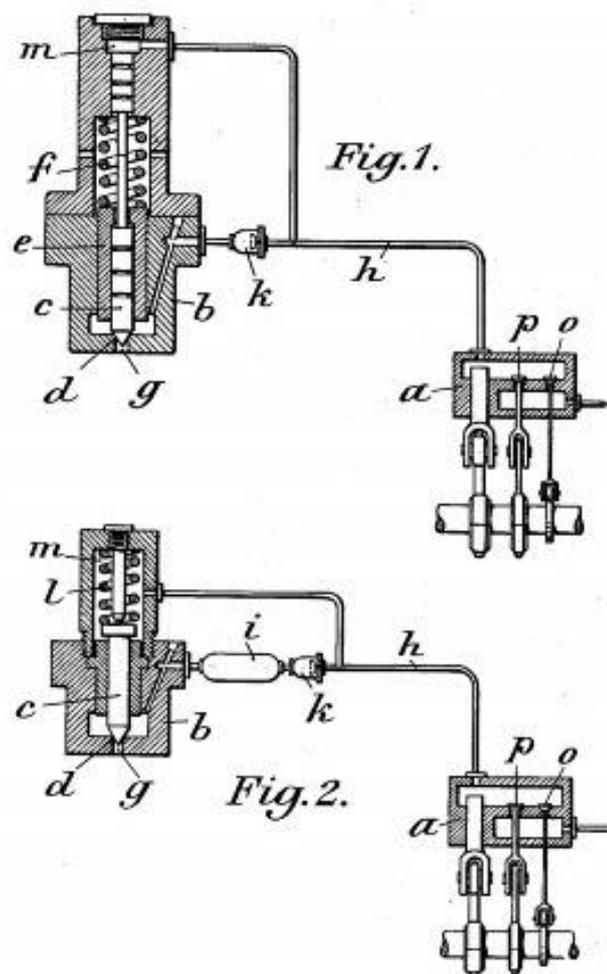
Feb. 5, 1929.

E. VON SALIS

1,701,089

CONTROL OF FUEL INJECTION MECHANISM FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Filed June 17, 1927



INVENTOR:

Eduard von Salis

BY

Pauline, Owen, Meier, Edward
ATTORNEYS

Рис. 3.15 – Варианты размещения аккумулятора по патенту Э. фон Салиаса
 Аккумулятор в форсунке (верхний рис.) обозначен литерой *m*,
 вынесенный аккумулятор – литерой *i*.

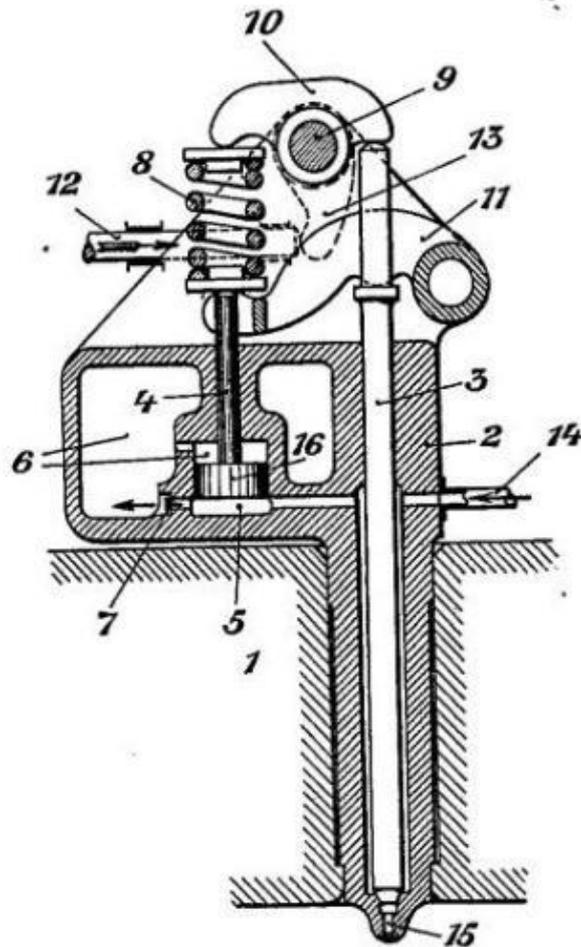


Рис. 3.16 – Насос-форсунка Sulzer Brothers Ltd. со встроенным аккумулятором (31), аккумулятор обозначен позицией 5

Первый дизельный грузовик был произведен в Германии в 1924 году, что позволило инженерам проверить новые насосы в рабочих условиях. Официальной датой начала серийного производства ТНВД для грузовиков считается 30 ноября 1927 года. Уже в 1928 выпущена первая 1000 ТНВД, а в 1934 изготовлен стотысячный насос.

Условно можно было считать, что технологическая проблема изготовления прецизионных пар для давления в несколько сот атмосфер была в принципе решена. Однако, нерешенной оставалась проблема управляемости процессом впрыска. Механические системы не могут обеспечить необходимой гибкости управления, адаптированности к различным режимам и эксплуатационным факторам.

3.2 Итоги механистического периода развития ТПСАТ

Закономерен вопрос: почему топливоподающие системы аккумуляторного типа имели ограниченное распространение в первой половине XX века? Для ответа нужно четко представлять себе преимущества ТПСАТ, по сравнению с прочими топливоподающими системами, и необходимые условия для реализации этих преимуществ.

В таблице 3.1 сведены сравнительные оценки аккумуляторных и прочих топливных систем, с точки зрения потребителя²⁹. Эти оценки носят усредненный, качественный характер.

²⁹ - метод оценки с точки зрения потребителя широко распространен в мировой автомобильной промышленности и используется, в частности, при оценке рисков (Potential Failure Mode and Effects Analysis)

Выбор конструктивной схемы топливной системы определяется несколькими факторами, которые, в свою очередь, должны быть ранжированы по значимости. История развития тепловых двигателей вообще и ДВС, в частности, показывает, что в разные периоды общество выделяло, как наиболее важные, совершенно различные факторы. Кроме того, важную роль играет назначение двигателя. Например, для современных автомобильных моторов общего назначения приоритетным считается их соответствие заданным экологическим требованиям. Для танковых двигателей экология, фактически не играет никакой роли: важнее многотопливность, надежность запуска в экстремальных условиях и ремонтнопригодность. Тем не менее, данные таблицы 3.1 позволяют составить предварительное представление о том, чем можно руководствоваться при выборе в пользу ТПСАТ, и чего потребует такой выбор.

Таблица 3.1

№ п/п	Требование потребителя	Выполнения требования		Особые требования к конструкции ТА и двигателя	
		ТПСАТ	Прочие ТС	ТПСАТ	Прочие ТС
	Обеспечение пуска двигателя при температуре окружающего воздуха ниже минус 40 °С	нет ¹	да	специальная электроника	
				система предпускового подогрева	
	Обеспечение многотопливности двигателя	в общем случае - нет	да	специальный ТНВД	
				согласование характеристик камеры сгорания, системы впуска и топливной аппаратуры	
	Обеспечение выполнения экологических норм EURO-IV и выше	да	нет	Дополнение к другим мероприятиям: системе нейтрализации, перепуску ОГ	
	Снижение расхода топлива за счет оптимизации смесеобразования и сгорания	да	нет		
Снижение шумности работы ²	да	нет			
<p>Примечания:</p> <p>¹ – неожиданная для многих оценка связана с работой электроники и электромеханики: производители абсолютного большинства изделий электронной аппаратуры, в частности, датчиков, электромагнитов, электронных блоков управления гарантируют их работу до температуры минус 40°С. Исключения составляют, в частности, процессоры «КОМДИВ», разработанные в научно-исследовательском институте системных исследований (НИИСИ) Российской Академии наук. Поэтому, когда заказчики требуют от поставщиков ТА обеспечения работы при более низкой температуре, а те вынуждены соглашаться, нужно понимать, что с какого-то момента начинают превалировать надежды, а не уверенность.</p> <p>² – главным источником шума является сгорание топлива. В общем случае с повышением жесткости процесса, шум возрастает. Вихрекамерные двигатели со штифтовыми форсунками, имеющие в настоящее время ограниченное распространение, характеризуются «мягкой» работой. Двигатели с открытой камерой сгорания имеют более «жесткую» работу и, соответственно, больший шум. Снижение шума в ДВС с ТПСАТ происходит за счет менее шумной работы ТНВД и управляемого процесса впрыска, позволяющего регулировать скорость нарастания давления в камере сгорания.</p>					

Как видно из таблицы³⁰, преимущества ТПСАТ напрямую связаны с управлением: именно управление не только величиной цикловой подачи, но количеством топлива, подаваем-

³⁰ - которая, безусловно, может быть значительно расширена

мого в каждый момент впрыска, то есть управление формой закона подачи для решения различных задач является тем инструментом, который отсутствует в традиционных системах. Только этот инструмент оправдывает затраты на преодоление конструктивных и технологических трудностей при создании, производстве и эксплуатации ТПСАТ.

К важным итогам развития топливно-подающих систем аккумуляторного типа в первой половине XX века можно отнести отработку технологии применения гидравлических аккумуляторов в ДВС.

Технологический прогресс – создание и развитие прецизионных производств – позволил осуществлять подачу жидкого топлива без промежуточного носителя, воздуха. Пневматические аккумуляторы полностью перешли к системам воздухопуска. Были отработаны варианты исполнения аккумуляторов в системах топливоподачи в виде самостоятельных агрегатов и в виде встроенных аккумулирующих объемов. Первоначально ТПСАТ применялись на средне- и малооборотных двигателях, где можно было обеспечить управление топливоподачей с помощью механических и электромеханических устройств, то есть без применения электроники. Качество такого управления – достигаемые результаты – были удовлетворительны, с точки зрения обеспечения заданных потребителями требований. Применение ТПСАТ в двигателях других типов, в частности, в автомобильной промышленности, сдерживалось из-за отсутствия электронных устройств управления.

3.3 1913-1940 годы. Зарождение электромагнитного управления впрыском

В 1913 году в США был выдан патент US №1059604 Томасу Трумену Гаффу (Thomas Truemen Gaff), выдвинувшему идею электромагнитного управления подъемом иглы клапана при подаче топлива к форсункам из аккумулятора при постоянном давлении (32). Насколько можно судить по этим признакам, патент Т.Т. Гаффа содержит в себе два ключевых признака современной системы Common Rail. Одна из иллюстраций к патенту Т.Т. Гаффа показана на рис. 3.17.

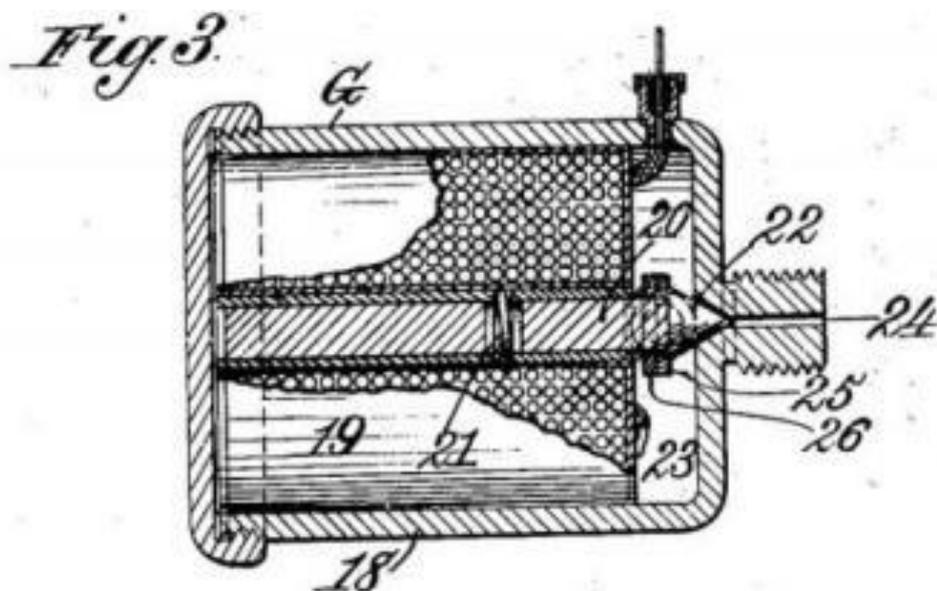


Рис. 3.17 – Электромагнитный клапан из патента Т.Т. Гаффа

В описании к патенту US №1059604, в частности, сказано: «Электромагнитный клапан G состоит из герметичного корпуса 18, в котором надежно размещен соленоид, катушка 19 которого надлежащим образом соединена клеммами с внешней цепью, управляемой таймером

клапана D. На одном конце корпуса G расположена камера 23, которая сообщается с аккумулятором давления и имеет выход 24 в цилиндр двигателя, управляемый разделенным сердечником 20 соленоида, сердечник разделен на две части, между которыми установлена пружина 21, которая стремится удерживать клапан 22 в его седле, чтобы закрыть отверстие 24».

Идея Т.Т. Гаффа не была воплощена в серийном производстве. Несмотря на довольно бурное развитие прикладной электротехники, например, телефонной связи, серийного производства быстродействующих электромагнитов, которые можно было применить в тепловых двигателях, на тот момент не было.

Необходимо понимать, что одного электромагнита для управления топливоподающей системой недостаточно. Нужен аппарат, подающий необходимые управляющие импульсы на электромагниты. В системах Common Rail второй половины XX века такой аппарат стали называть блоком управления.

Попытки создания электроуправляемых форсунок ограничивались электромеханикой. Например, электромагнитный клапан впрыска Atlas Imperial (рис. 3.18, заимствовано из (20)), устройство для дозирования или впрыска топлива конструкции Брукса Уолкера и Гарри Кеннеди (Brooks Walker and Harry E. Kennedy), заявленное в 1929 году (33), и электромагнитный клапан для высокого давления Уоррена Дабла (Warren Doble), заявленный в в 1931 году (34). Часть иллюстраций к этим патентам показаны на рис. 3.19.

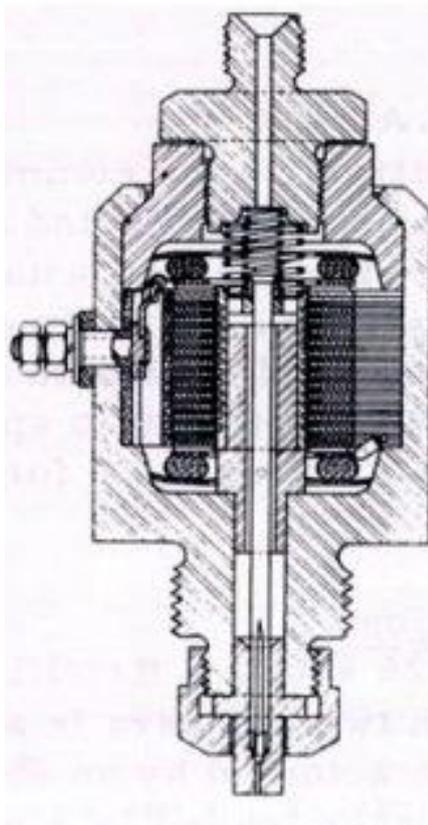
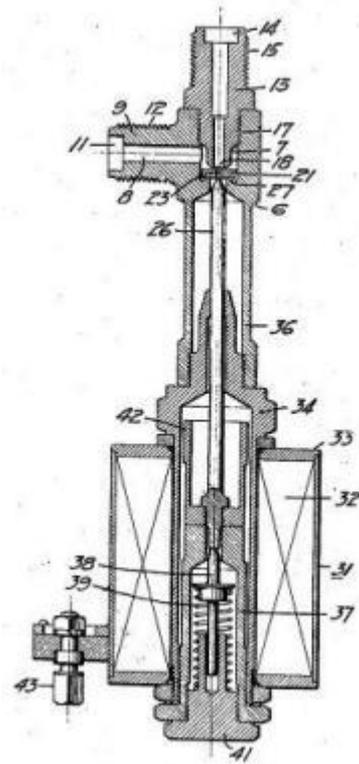
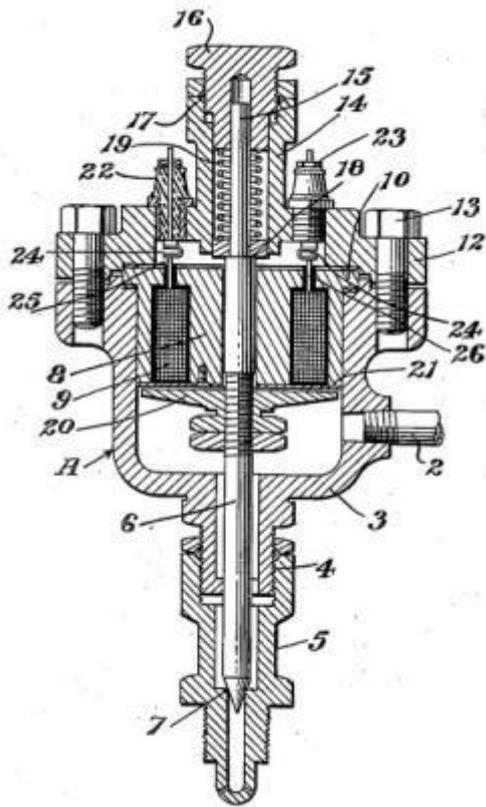


Рис. 3.18 – Электромагнитный клапан впрыска Atlas Imperial



а)

б)

Рис. 3.19 – Электромагнитные устройства управления впрыском:

а) устройство для дозирования или впрыска топлива

Б. Уолкера и Г. Кеннеди, 1929,

Специалисты Atlas Imperial Diesel Engine Co. предложили форсунки с электромагнитным управлением в 1933 году. На рис. 3.20 показан титульный лист руководства по эксплуатации двигателей Atlas Imperial Diesel Engine Co., заимствованный из (35), на рис. 3.21 – фрагмент листа оглавления из этого документа, где в разделе «Топливная система» среди ее компонентов указаны аккумулятор и трубопроводы, а на рис. 3.22 – фрагмент листа 3 из раздела «О» из этого РЭ, где описаны аккумулятор и трубопроводы.

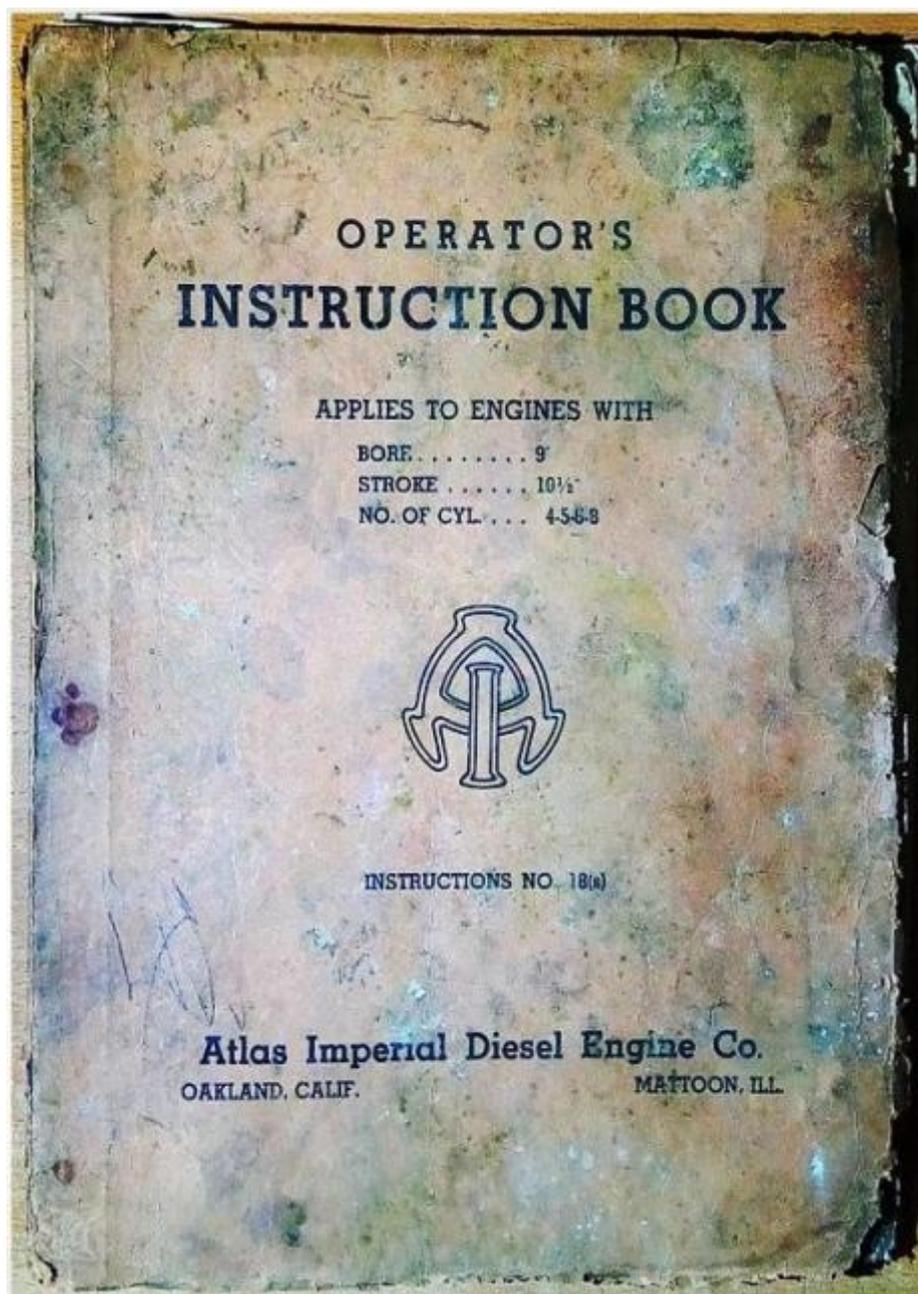


Рис. 3.20 – Титульный лист РЭ двигателей Atlas Imperial Diesel Engine Co.

Аккумулятор, судя по описанию, предназначался для тех же целей, для каких он используется в современных ТПСАТ: предотвращение колебаний давления в системе впрыска и распределение топлива по отдельным форсункам. По данным (35), РЭ, фрагменты из которого приведены на рис. 3.20-3.22, относится к двигателям поставки 1937 г.

	Section	Page
GENERAL ENGINE DATA-----	A	
FUEL AND LUBRICATING OILS-----	B	
INSTALLATION INSTRUCTIONS-----	C	
OPERATING INSTRUCTIONS-----	D	
Starting the Engine-----		1
Running and Stopping the Engine-----		2
LOWER BASE, CRANKSHAFT AND BEARINGS-----	F	
Main Bearings-----		1
Crankshaft Alignment-----		2
CENTERFRAME - CYLINDER BLOCK AND LINER - CYL- INDER HEAD AND VALVES-----	H	
Cylinder Block and Liner-----		1
Cylinder Head and Valves-----		1
Starting Air Valve-----		2
Compression Release and Safety Valves-----		2
PISTON AND CONNECTING ROD-----	K	
Connecting Rod Bearings-----		2
CAMSHAFT AND VALVE OPERATING GEAR-----	L	
Camshaft, Camshaft Removal and Disassembly-----		1
Camshaft Assembly, Lifters and Push Rods-----		2
Valve Timing Table, Flywheel Markings-----		4
Inlet & Exhaust Valve Timing-----		4
Starting Air Valve Timing-----		4
FUEL SUPPLY SYSTEM-----	N	
Fuel Transfer Pump-----		2
Day Tank and Filter-----		2
FUEL INJECTION SYSTEM-----	O	
High Pressure Fuel Pump-----		1
Accumulator and Tubing-----		3
Fuel Pressure Regulating Valve-----		3
Spray Valves-----		4
Spray Valve Servicing-----		6
Spray Valve Operating Mechanism-----		8
Spray Valve Timing-----		9
Balancing Engine for Cyl. Load Distribution-----		9
GOVERNOR-----	Q	
Atlas Standard Governor-----		1
Woodward Governor and Drive-----		2
Overspeed Governor-----		3
LUBRICATING OIL SYSTEM-----		
Lubricating Oil Pump-----		1
Oil Cooler-----		2
Strainer-----		
Lubricator and Drive-----		
MAINTENANCE AND INSPECTION-----	2	
Smoky Exhaust-----		
Maintenance Routine-----		

Рис. 3.21 – Лист оглавления из РЭ Atlas Imperial Diesel Engine Co. с упоминанием аккумулятора и трубопроводов топливной системы

Section O

shows signs of heavy hammering this is usually due to discharge valve seat (12) being loose in the cage. The cage and seat must then be replaced. An auxiliary discharge valve (17), located in the discharge valve fitting makes the pump less sensitive to leakage of the regular valve. It is held against its seat by spring (18), which bears against the end of the fuel tube.

Referring to Fig. O-1 priming pump plunger (27) is actuated by linkage from hand lever (25). (See Fig. O-1) The upper end of the plunger is formed as a valve head, which engages a seat in the barrel, preventing leakage when the engine is in operation. Leakage may be stopped by lapping lightly with fine grinding compound. Packing (29) at the bottom of the barrel seals the plunger when the pump is in use. Vent plugs (20) in each valve head should be loosened when priming the engine to allow the escape of air entrapped in the fuel system. Tighten the plugs as soon as solid fuel appears.

The high pressure fuel pump has been designed to give long trouble-free performance provided that it is given reasonable care. Water, dirt and other impurities in the fuel will materially shorten the life of the plungers and barrels. The normal working pressure is 4000 to 5000 lbs. per square inch but the pump is capable of building up pressures far in excess of this figure. Carelessness in the care of the pressure regulating valve, may cause it to become ineffective, and the resulting high pressure may injure the pump and also damage other parts of the injection system. It is consequently important that the fuel pressure regulating valve be kept in good operating condition so that excessive pressures may not be built up, with consequent damage to the pumps and other parts of the injection system.

3. ACCUMULATOR

To prevent large pressure fluctuations in the injection system each time a spray valve opens or a pump delivers fuel the volume of the system is increased by the addition of an accumulator. The fuel in the accumulator, due to its compressibility, tends to maintain a constant pressure in the fuel system without appreciable fluctuations. The accumulator is located in the push rod compartment of the cylinder block, just below the starting air manifold. It is made of 2½" O.D. seamless steel tubing with plugs welded in each end. The accumulator also serves as a "rail" distributing the fuel to the various spray valves.

4. INJECTION TUBING

All of the high pressure lines used in the injection system are seamless steel tubing. The ends are formed by brazing union sleeves to the tubing, and union nuts fasten these ends to the various fittings. ¼" O.D. x .065" wall thickness tubing is used. A high grade tubing is used, made especially for this service, and standard seamless steel tubing should never be substituted.

The importance of keeping the injection lines clean cannot be overemphasized. When an injection line is removed from the engine the open ends should be covered with clean paper which should not be removed until the tubing is to be placed on the engine again. If there is any doubt as to the cleanliness of an injection line it should be thoroughly cleaned before installing. To clean a line it should be washed repeatedly in cleaning solvent or gasoline and should be blown out with an air hose between each washing. This cleaning process should be carried on until there is no uncertainty as to the cleanliness of the tubing.

The high pressure fuel tubes from the pump to the accumulator and from the accumulator to the pressure regulating valve are carried through the cylinder block wall by special through type elbow fittings, with union tube connections at each end. Isolating valves in each of the injection lines from the rail to the spray valves permit cutting off the fuel to any cylinder. They are gland packed needle valves, located near the top of the cylinder block, with the stem and stuffing box projecting through to the outside of the block. The tubes from the accumulator lead to the lever connections of the valves and extension stems screwed into pipe tapped holes in the tops of the valves project up into the cylinder heads. Injection tubes lead from the ends of these stems to the spray valves. A double isolating valve is also provided, connected into a line leading from the ends of the fuel accumulator. One connection leads to the fuel pressure gage, and the other provides an outlet for testing spray valves, as described in Paragraph 8.

5. FUEL PRESSURE REGULATING VALVE

Injection pressure control is afforded by the adjustable pressure relief valve. This valve is of the by-pass type in which the opposing forces of a spring and the fuel pressure acting on the stem of a needle valve maintain constant fuel pressures. If the pressure starts to drop the spring closes the needle slightly reducing the amount of fuel by-passed with the result that the pressure is held constant.

3.

Рис. 3.22 – Фрагмент из РЭ Atlas Imperial Diesel Engine Co.
с упоминанием аккумулятора и трубопроводов топливной системы

В 1934 году французский инженер, автогонщик и бизнесмен Луи Котален создает авиационный дизель с топливным аккумулятором (36).



Рис. 3.23 – Lois Coatalen, 11.09.1879- 23.05.1962, (36), французский инженер, автогонщик, авиатор

В последующие 100 лет одним из центров развития двигателей внутреннего сгорания и их топливной аппаратуры стала Швейцария³¹.

В 1950-х годах около 10-12% мощных судовых дизелей компаний Atlas Imperial Diesel Engine Co., Doxford Engines и Cooper-Bessemer комплектовались ТПСАТ. Для таких систем было характерно использование гидравлических аккумуляторов большой емкости. Однако, позже наступил откат: количество двигателей с аккумуляторами большой емкости стало уменьшаться. По мнению авторов работы (24), причина этого – в чрезмерной сложности конструкции, относительной малой надежности запорных органов аккумуляторов и появлении на техническом рынке более простых аккумулирующих систем. Интересно, что к «более простым аккумулирующим системам» авторы (24) относят форсунки, насос-форсунки и топливные насосы с плунжерными аккумуляторами.

Контрольные вопросы

1. Какое давление впрыска (кг/см^2) считалось предпочтительным в ТПСАТ двигателей подводных лодок (по Ф. Зассу)?
2. В каком году компания Doxford Engines впервые установила ТПСАТ на свои двигатели?
3. В каком году компания Atlas Imperial Diesel Engine Co. изготовила свой первый двигатель с ТПСАТ?
4. Целесообразно ли использование ТПСАТ с механическим управлением впрыском? В каких двигателях? Аргументируйте свой ответ.

³¹ - безусловно, роль пионера в Швейцарии должна быть отдана компании Sulzer Brothers Ltd. Ее инженеры были непосредственно задействованы с самого начала воплощения Дизелем своих проектов. Достаточно упомянуть, что после неудачи с первым образцом Дизель обратился к специалистам фирм Sulzer Brothers Ltd. и Крупп с просьбой о консультации и помощи.

4 Время электронных систем

4.1 1960-е. Роберт Хубер и Марко Гансер

В истории развития ТПСАТ популярна ссылка на работы швейцарского инженера Роберта Хубера, выполненные им в 1960-х годах. По широко распространенной трактовке, Р. Хубер стал пионером разработки систем, известных в настоящее время, как «Common Rail». Р. Хубер действительно занимался ТПСАТ и получил несколько патентов на различные конструкции электромагнитных топливных форсунок (37), (38). На рис. 4.6 и рис. 4.7 показаны в качестве примеров две предложенные Хубером конструкции.



Рис. 4.1 – Robert Huber, 07.07.1901-07.04.1995, (39)
швейцарский инженер, специалист по двигателям
со свободно движущимися поршнями

Пожалуй, главным увлечением Роберта Хубера были свободнопоршневые двигатели; он работал над их созданием и совершенствованием как минимум до 1967 и был известен своим интересом к ним настолько, что даже получил шуточное прозвище «Mr Free Piston». Технические решения имеют свойство перетекать из одних отраслей промышленности в другие. Роберт Хубер не мог не знать о работах французской компании SIGMA, выпускающей свободно поршневые генераторы газа. К интересным особенностям продукции SIGMA относилось то, что там использовалась ТПСАТ фирмы Брайс с аккумулярованием топлива в ТНВД. Изображение насосной секции ТНВД, заимствованное из работы (40), показано на рис. 4.2. Можно только строить гипотезы насчет того, откуда к Роберту Хуберу пришел интерес к аккумуляторным топливным системам: сыграли тут роль традиции швейцарского двигателестроения, в частности, работы Sulzer Brothers Ltd. или, занимаясь свободно поршневыми двигателями, Хубер впервые для себя обнаружил элементы ТПСАТ в продукции компании SIGMA?

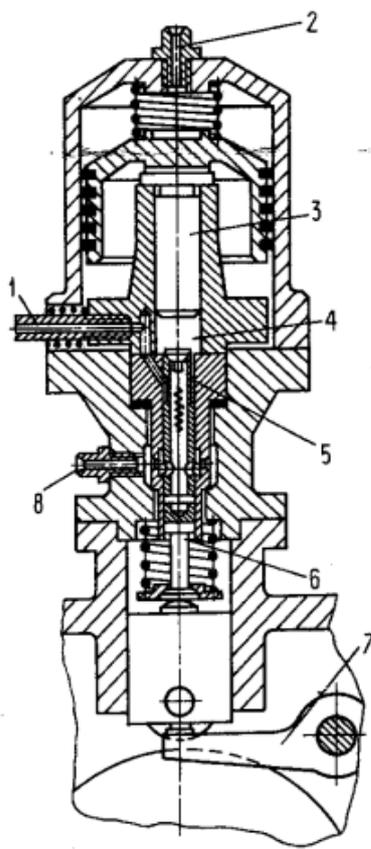


Рис. 4.2 – ТНВД с аккумулярующим плунжером

В конструкциях форсунок, показанных на рис. 4.2 и 4.3 уже можно встретить довольно много деталей, напоминающих современных форсунки систем Common Rail. На рис. 4.6 бросается в глаза корпус управляющего клапана и гайка крепления электромагнита, весьма похожие на конструкции сегодняшнего дня. У форсунки, показанной на рис. 4.3, появляется шариковый клапан и толкатель.

От некоторых решений тех лет в будущем отказались, и это – естественно. Например, кольцевая распределительная канавка на верхнем торце корпуса распылителя (рис. 4.3) могла быть уместна в традиционных системах, в ТПСАТ с их уровнем давления она станет недопустимой. Но это произойдет потом, в ходе напряженных опытно-конструкторских работ.

Очевидно, что наступит время, когда сегодняшние форсунки и ТНВД покажутся примером наивности и недалёковидности, хотя сегодня они кажутся вполне достойными. Рудольфу Дизелю приписывают слова: «Иду на острие технического прогресса». В лучшем случае, это – правда текущего дня.

46c 51-06 AT: 22.10.70 UT: 6.5.71 - 35 - 2051944

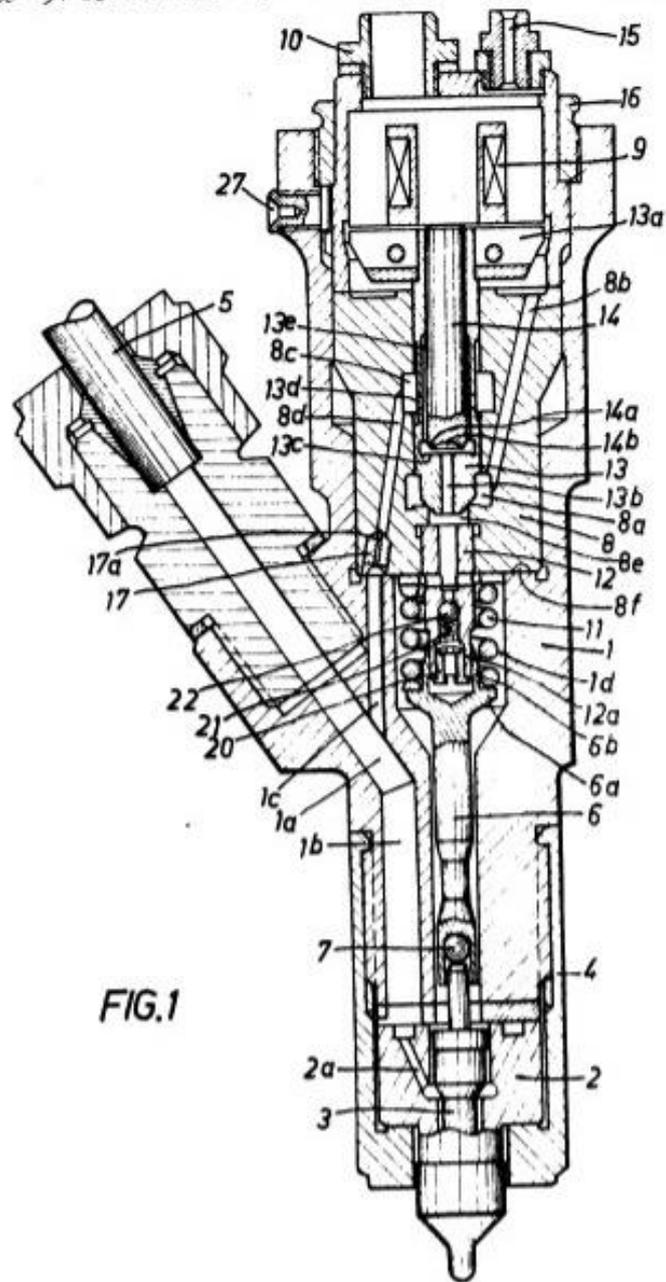


FIG.1

109819/1261

ORIGINAL INSPECTED

Рис. 4.2 – Электроуправляемая форсунка конструкции Роберта Хубера, (38)

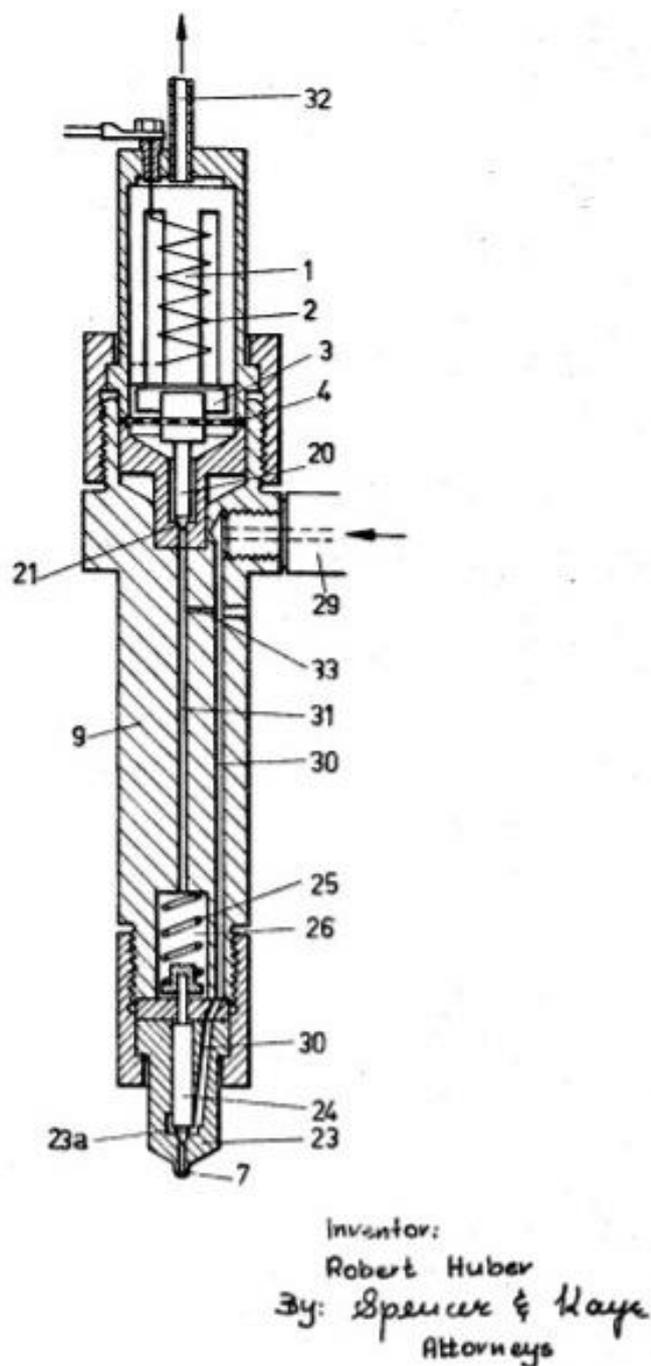


Рис. 4.3 – Электроуправляемая форсунка конструкции Роберта Хубера, (37)

Вопросы приоритета технических решений всегда являются достаточно острыми. Их решение, чаще всего, не удовлетворяет, по крайней мере, одну из сторон³².

³² - в качестве примера можно вспомнить приведенную выше историю с признанием Парижской академией термина «Дизель-мотор». Пикантность истории придает то, что Рудольф Дизель в свое время имел серьезные проблемы с производством двигателей в частности из-за того, что эти двигатели существенно отличались от запатентованных им ранее технических решений.

В этой работе неоднократно сделаны ссылки на труды замечательного историка науки и техники, профессора Фридриха Засса.

О спорах по поводу приоритета того или иного решения он излагает свое мнение, с которым, вероятно, многие не согласятся: «Там, где упоминается за рубежом, я, как правило, воздерживаюсь от проведения приоритетных исследований. Независимо от того, началось ли какое-либо развитие в одной стране немного раньше, чем в другой, в целом не имеет значения. Народы многим обязаны друг другу, и не только в области двигателей внутреннего сгорания; рассматривать это более благоприятно, чем бесплодный спор о приоритетах. ... Этого можно достичь только в том случае, если вы с обеих сторон готовы признать достижения друг друга» (10).

Одной из тенденций развития современного мира является глобализация. Если понимать ее, в частности, как всестороннее сближение, то вероятность параллельного решения задач, в том числе – технических – возрастает. Повышения единообразия систем образования и воспитания инженерных кадров также повышает шансы параллелизма мышления и одновременного «открытия Америки». К этому добавляется существовавший всегда промышленный шпионаж в более или менее легальных формах³³.

Принято считать, что идеи Р. Хубера в отношении систем топливоподачи вдохновили другого швейцарского инженера – Марко Гансера³⁴.

На сайте компании Ganser-CRS AG однозначно говорится о том, что ТПСАТ впервые возникли более 100 лет назад. Это опровергает распространенную оценку роли Роберта Хубера, как «пионера» систем Common Rail.



Рис. 4.4 – Marco Ganser, швейцарский инженер

На рис. 4.5 показана одна из конструкций, предложенных М. Гансером в 1985³⁵ году и приведенная в качестве иллюстрации в европейском патенте (41). Инженер Марко Гансер автор свыше 130 патентов, а возглавляемая им компания даже в своем названии - Ganser-CRS AG – указывает на предмет деятельности: системы Common Rail.

Специалисты Ganser-CRS AG называют традиционные системы, где давление впрыска создается с помощью кулачкового вала ТНВД, системами «рывкового типа» («jerk type

³³ - одной из легальных форм промышленного шпионажа является входящая в моду практика создания так называемых патентных ландшафтов, представляющая собой построение аналитический инструмент в сфере патентования, позволяющий очертить технологический контекст любого исследуемого вопроса, изобретения или решения в области интеллектуальной собственности. Обучение методологии разработки отраслевых патентных ландшафтов в России осуществляет Федеральный институт промышленной собственности.

³⁴ - фотография М. Гансера, приведенная на рис. 4.4, и информационные материалы представлены инженером фирмы United Machinery AG г-ном А. Смоляниным с любезного разрешения г.г. М. и А. Гансеров

³⁵ - приоритет 02.12.1985, заявка CH5121/85

system») и подчеркивают, что ТПСАТ с механическим управлением не имеют перед ними никаких преимуществ. Без электронного управления аккумуляторные системы являются громоздким и не оправдывающим себя компонентом двигателя.

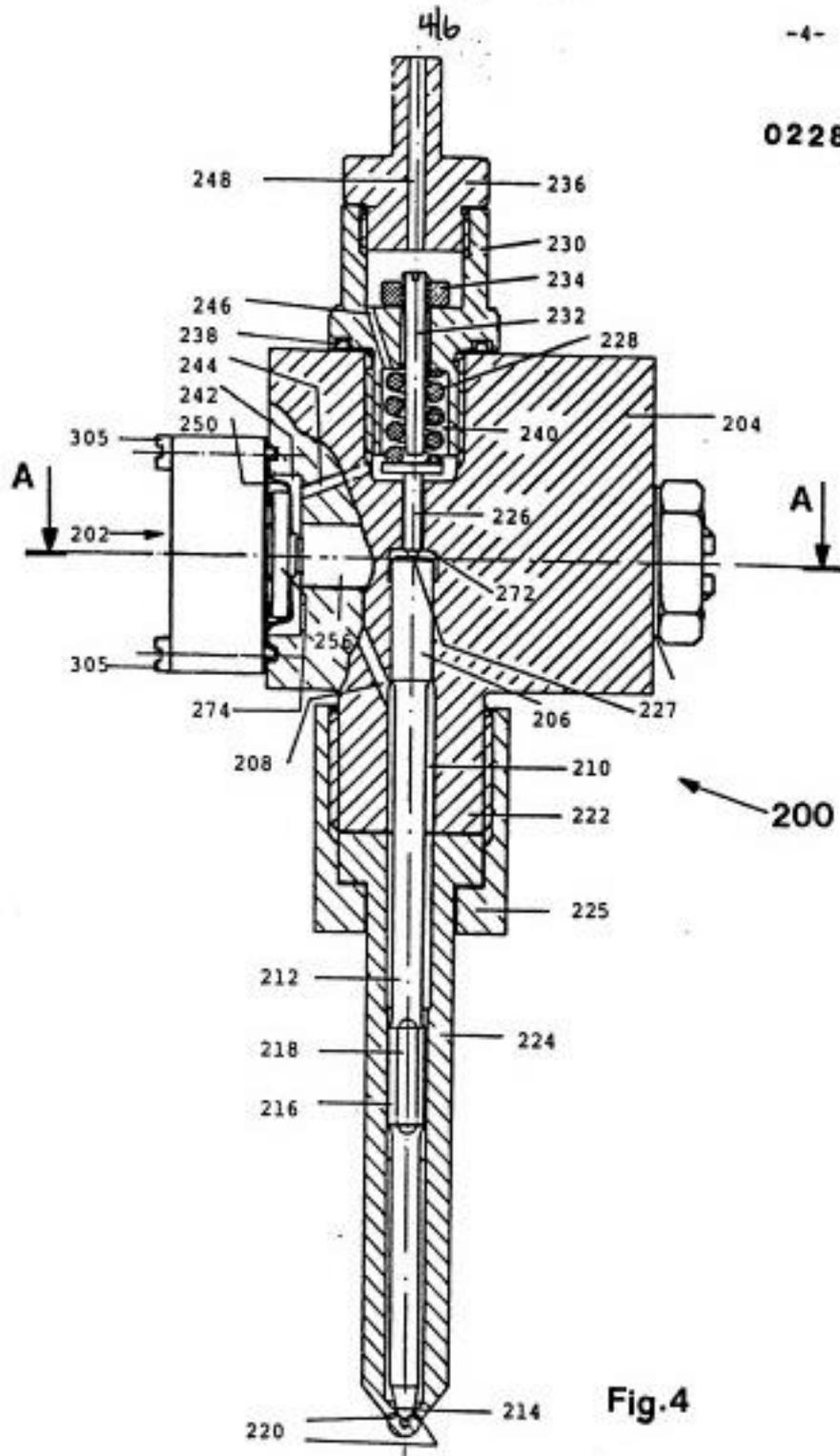


Рис. 4.5 – Электроуправляемая форсунка конструкции Марка Гансера,

Показанная на рис. 4.5 конструкция имеет официальную дату приоритета: 02.12.1985. Это тем более замечательно, что в предложенной М. Гансером форсунке есть, по крайней мере, один элемент, который – с небольшими изменениями – продолжают применять до сих пор. Речь идет об элементе поз. 212. В данном случае он выполняет двойную роль: управляющего поршня и иглы распылителя. При этом в его части, расположенной примерно посередине корпуса распылителя выполнены фрезеровки, а сам корпус распылителя не имеет отдельного топливоподвода – топливо проходит к сопловым отверстиям, омывая иглу, через фрезеровки. Управляющий поршень часто и не без оснований называют мультипликатором, то есть элементом, работа которого связана с различными площадками, на которые действует давление. Он действительно является мультипликатором, но не впрыска, а запирающего распылителя. Соотношение диаметра управляющего поршня, сопрягаемого с корпусом управляющего клапана, и прецизионного диаметра иглы распылителя в широко распространенных форсунках составляет, например, 4,7:4,5 или 4,7:4,0.

Надо сказать, что эти идеи успешно используются в наши дни. Компании R. Bosch и ООО УК «АЗПИ» применяют так называемые «иглы-поршни»: составные конструкции, где две части, изготовленные из различных материалов соединены между собой посредством специальной муфты или лазерной сварки. Фрезеровки на игле распылителя применяют R. Bosch, Denso Corp., ООО УК «АЗПИ».

С этой точки зрения, швейцарский инженер Марко Гансер действительно опередил время. Так же, как Феликс Ильич Пинский, Роберт Хубер и еще многие талантливые конструкторы и исследователи.

4.2 1970-1990 гг. ТПСАТ для двигателей твердого топлива

Идеи братьев Ньепсов, Сэмюэла Мори и других поклонников твердого топлива в сочетании с высоким давлением впрыска стали воплощаться в попытках применять ТПСАТ для двигателей, работающих на водоугольных суспензиях.

С 1978 года инженеры швейцарской компании Sulzer совместно с коллегами из американской компании Thermo Electron проводили исследования по применению топливно-угольной суспензии в двигателях с ТПСАТ (42). Оптимальной была признана суспензия, состоящая из 50% угольной пыли, 30% дизельного топлива и 20% воды. Интересно, что первоначально ТС система представляла собой традиционную систему производства фирмы Bosch, которая часто выходила из строя при работе двигателя на жидких угольных суспензиях. Для исключения попадания угольной пыли в ТНВД топливная система была оборудована специальным аккумулятором, в который с помощью насоса низкого давления подавали топливно-угольную суспензию. Аккумулятор устанавливали непосредственно перед распылителем. Нагнетательная подводная магистраль отделялась от аккумулятора с помощью специального обратного клапана. Аккумулятор был снабжен разделительной диафрагмой, которая непосредственно воздействовала на топливно-угольную суспензию и приводилась в действие с помощью специальной гидросистемы.

Весьма интересным представляется факт активного интереса к ТПСАТ для тепловозных двигателей. Выше упоминались работы Коломенского тепловозостроительного завода. Много информации о разработке и исследованиях ТПСАТ для тепловозных двигателей в США дает Е.В. Белоусов в своей фундаментальной монографии (42). В начале 1980-х годов корпорация General Electric-Transportation Systems выступила инициатором исследований по созданию тепловозных двигателей, работающих на водоугольных суспензиях. В 1985 году к программе исследований присоединились Общественный научно-технический центр (Corporate Research Development Center) и Агентство по защите окружающей среды (Environmental Services). По результатам лабораторных исследований, была предложена схема подачи водоугольных растворов в камеру сгорания двигателя, которая представляла собой топливоподающую систему аккумуляторного типа с электронным управлением. Аккумулятор был размещен в корпусе форсунки, в непосредственной близости от распылителя. Давление

подачи удалось поднять до 80 МПа. В первой половине 1991 начались испытания полноразмерного двенадцатицилиндрового двигателя.

Для двигателей, работающих на топливно-угольных суспензиях, рассматривались три основных варианта топливной аппаратуры: традиционная схема «ТНВД – топливопровод – форсунка», вариант с насос-форсунками и ТПСАТ. В традиционной схеме попадание угольной пыли в ТНВД приводило к его быстрому выходу из строя. Применение насос-форсунок исследовали в компании Electro-Motive Division (42). Было установлено, что для эффективной работы нужно решить серьезные проблемы, связанные с износом насосной секции и распылителя. Американские специалисты пришли к выводу об ограниченности применения систем с насос-форсунками в двигателях, работающих на топливно-угольных суспензиях. ТПСАТ были признаны наиболее перспективными для использования в таких двигателях. Это, в общем, повторяло вывод инженеров фирмы Sulzer.

Технический прогресс не может идти независимо от социальной, политической и экономической ситуации. Многочисленные разноплановые, взаимосвязанные между собой факторы, действующие на разных уровнях – от конкретной корпорации, научно-исследовательского института до государства и мировой геополитической обстановки в целом – могут изменить ход исследований и даже совсем остановить их. Как отмечено далее, отсутствие государственного заказа, финансирования, в конечном счете – заинтересованности государства стали причиной сворачивания НИОКР по ТПСАТ на Коломенском тепловозостроительном заводе.

После 1993 года, в связи со снижением мировых цен на нефть и федеральным дефицитом, работы в США по созданию ТПСАТ тепловозных двигателей, работающих на топливно-угольных суспензиях, были прекращены.

4.3 FIAT Group. М. Рикко

Несмотря на сравнительно мощную производственную базу для создания и производства электронных компонентов, имевшуюся в Западной Европе, в период со второй половины 1960-х по вторую половину 1980-х годов промышленного производства ТПСАТ с электронными системами управления для автотракторных двигателей создать не удалось.

В 1988 году руководством компании Fiat Group было принято решение о создании сети центров разработки инновационных автомобильных компонентов под названием Elasis. Руководителем такого центра в городе Бари был назначен инженер, физик по образованию, Марио Рикко.

В интервью изданию «ilsole24ore» в 2019 году М. Рикко представил свою версию создания ТПСАТ (43): «Что представлял собой Fiat в те годы? Он был крупнейшим производителем легковых автомобилей с дизельным двигателем: он продавал полмиллиона в год. То, что ограничивало количество проданных автомобилей, было не рынком, а поставщиком систем впрыска: Bosch. В Турине это не нравилось. Как решалась эта проблема? Fiat определил в исследовательском центрах в Орбассано и Модуньо ресурсы для разработки собственной системы впрыска. У нас были средства, знания и оборудование. Используя электронику и микромеханику мы могли сделать то, что уже представлял необходимым Рудольф Дизель, но сделать это в его время нельзя было сделать: система впрыска топлива высокого давления с одного бака³⁶ для всех инжекторов, способный повысить производительность и снизить уровень шума, вибрации и особенно выбросы. Система работала. Но для того, чтобы запустить ее в производство, необходим был опыт Bosch, который владел надлежащей технологической тех-

³⁶ - в оригинальном тексте использовано выражение «unico serbatoio», которое можно перевести, как единая емкость

нологией. В 1992 году Fiat не переживал счастливого периода, и было трудно найти финансовые ресурсы и соответствующие технологии, необходимые для производства компонентов common rail. Группа компаний Fiat предложило фирме Daimler переоборудовать новой системой один из автомобилей. Работа заняла два месяца. «Мерседес послал нам двигатель, чтобы превратить его. Через два месяца я позвонил в Германию, чтобы сказать, что он готов к тестированию. Они не поверили...».

23 мая 1994 года, по настоянию фирмы Daimler, в Турине было подписано соглашение о передаче ноу-хау на новую топливную систему.

В интервью изданию L'Espresso 25 сентября 2015 года Марио Рикко подчеркивает, что принцип работы ТПСАТ - далеко не нов: «Архитектура common rail была разработана Рудольфом Дизелем уже в 1892 году, ... но в то время было невозможно реализовать ее на практике. Даже в шестидесятые годы некоторые компании пытались применить ее (ТПСАТ – прим. авт.) на больших насосных системах, таких как корабли, но затем отказались от испытаний, потому что механические решения, которые они использовали, не дали ожидаемых результатов. Нам повезло оказаться в то время, когда электроника для автомобильных приложений стала надежной, и мы поняли, что можем использовать ее для достижения этой революции» (44).

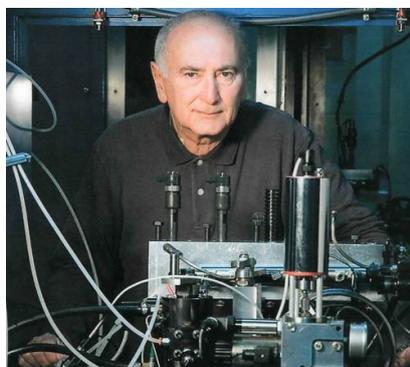


Рис. 4.6 – Ricco Mario, род. 1955
экс-руководитель центра Elasis в Бари, инженер

О том, что создание ТПСАТ с электронным управлением требует качественного изменения производства и колоссальных инвестиций, прямо свидетельствуют следующие слова М. Рикко из его интервью «ilsolo24ore»: «Итальянское новшество, переданное немцам, и упущенная возможность для Fiat? Это - легенда. Я закончил этап доиндустриализации, но common rail был бы слишком деликатным для производства Fiat. Уже Bosch напрягся. Fiat предоставил Bosch патенты. Так, в 1997 году common rail вышла на рынок одновременно на Alfa Romeo 156 и Mercedes C-Class».

Некоторые источники однозначно указывают на М. Рикко, как на создателя первой системы common rail³⁷. С учетом всего вышеизложенного, можно лишь повторить, что вопросы приоритета всегда были и будут зависимы от политических соображений, неоднозначных толкований и недостатка информации³⁸.

³⁷ - цитированное выше издание ilsolo24ore называет Марио Рикко «матерью систем common rail» («la madre» del common rail) потому, что «отец никогда не уверен» («perché «il padre non è mai certo»). Это шутливое забавное объяснение можно истолковать совсем иначе, если немного скорректировать перевод: потому, что в отце никогда не уверены – в этом случае приоритет технической идеи до ее конкретного воплощения становится весьма спорным.

³⁸ - не касаясь вопросов приоритета, необходимо отметить, что Марио Рикко является автором и соавтором большого количества патентов: сайт espacenet.com выдает данные о 663 патентах, дата приоритета наиболее раннего из которых – 25.08.1987. Сотрудники компании NIPPON DENSO Co. подали заявку на ТПСАТ, аналогичную Common Rail, 02.05.1986 г.

4.4 Поколения ТПСАТ

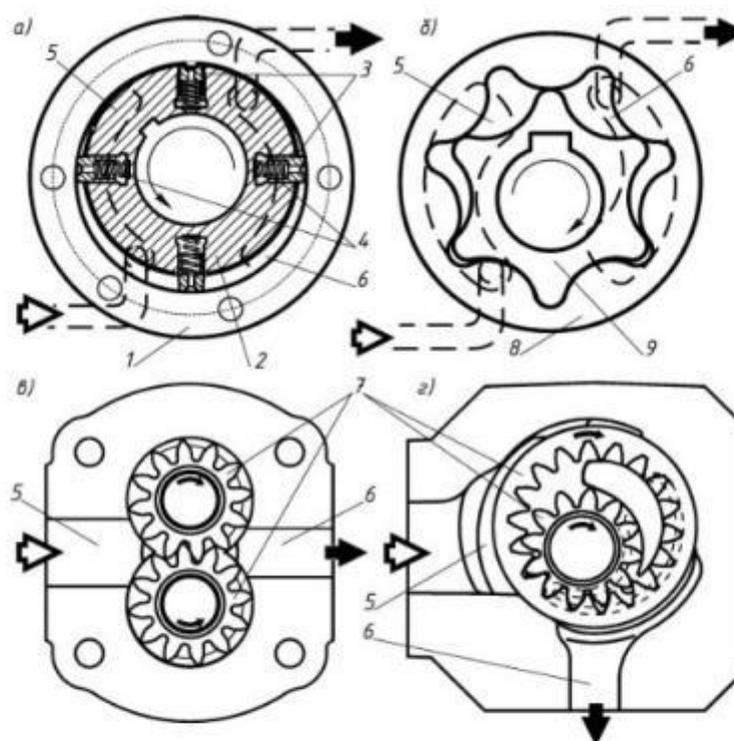
С конца 1990-х годов общепринятым стало различать ТПСАТ по поколениям, ориентируясь при этом на так называемое максимальное системное давление – усредненное, максимальное на карте подачи, давление топлива в контуре высокого давления.

В таблице 4.1 приведено условное распределение ТПСАТ по такому принципу, заимствованное из работы (45).

Таблица 4.1 – Поколения ТПСАТ

Поколение	Максимальное системное давление, МПа	Год начала производства
1	140	1999
2	160	2001
3	180	2005
4	220	2009

Значения максимального системного давления, указанные в таблице 4.1, могут не совпадать со значениями, приводимыми в других источниках, в том числе в проспектах фирм-изготовителей ТПСАТ.



Подкачивающие секции модульных насосов систем Common Rail высокооборотных дизелей:

а – пластинчатый (шиберный) насос; б – героторный гидронасос; в – шестеренчатый с наружным зацеплением; г – шестеренчатый с внутренним зацеплением. 1 – статор пластинчатого насоса; 2 – ротор; 3 – рабочие пластины (шиберы); 4 – возвратные пружины; 5 – наполнительное окно; 6 – нагнетательное окно; 7 – рабочие шестерни; 8 – вращающийся статор героторного насоса; 9 – ротор.

Рис. 4.7 – Варианты исполнения топливоподкачивающих насосов ТПСАТ

Пути развития ТПСАТ у различных компаний и технические решения, реализуемые в конструкциях и технологиях, в основном, схожи. Иначе и быть не может, учитывая общемировую тенденцию к глобализации. Тенденция эта приводит, с одной стороны, к унификации принципов подготовки инженерных кадров: технические специалисты разных стран имеют похожий менталитет и мыслят примерно одинаково. В этом утверждении, безусловно, есть элемент схематизации, но есть и правда. С другой стороны, сотрудничество различных фирм, их слияние и разделение приводят к быстрому распространению удачных решений.

Примером этого могут служить конструкции подкачивающих насосов, применяемых различными фирмами (рис. 4.7). Более глобальный пример: использование актуаторов одного типа – электромагнитных или пьезоэлектрических.

Ниже очень кратко будут рассмотрены примеры развития конструкций некоторых компонентов ТПСАТ лидеров мирового рынка. Их подробное описание можно без труда найти в сети интернет, учебниках и специализированных буклетах фирм. В настоящей работе даны лишь некоторые подробности, которые авторы сочли наиболее интересными.

4.5 ТПСАТ DENSO Corp

По данным (46), «первая в мире коммерчески применимая дизельная система с COMMON RAIL была представлена DENSO Corp. в 1995 году» (46). Если речь идет об одной и той же разработке, интервал в 9 лет между датой заявки и изделием «в металле» выглядит вполне реалистичным. Кроме того, необходимо иметь в виду, что даты представления новой разработки, например, на выставке или конференции могут отличаться от даты начала серийного производства и даты начала продаж.

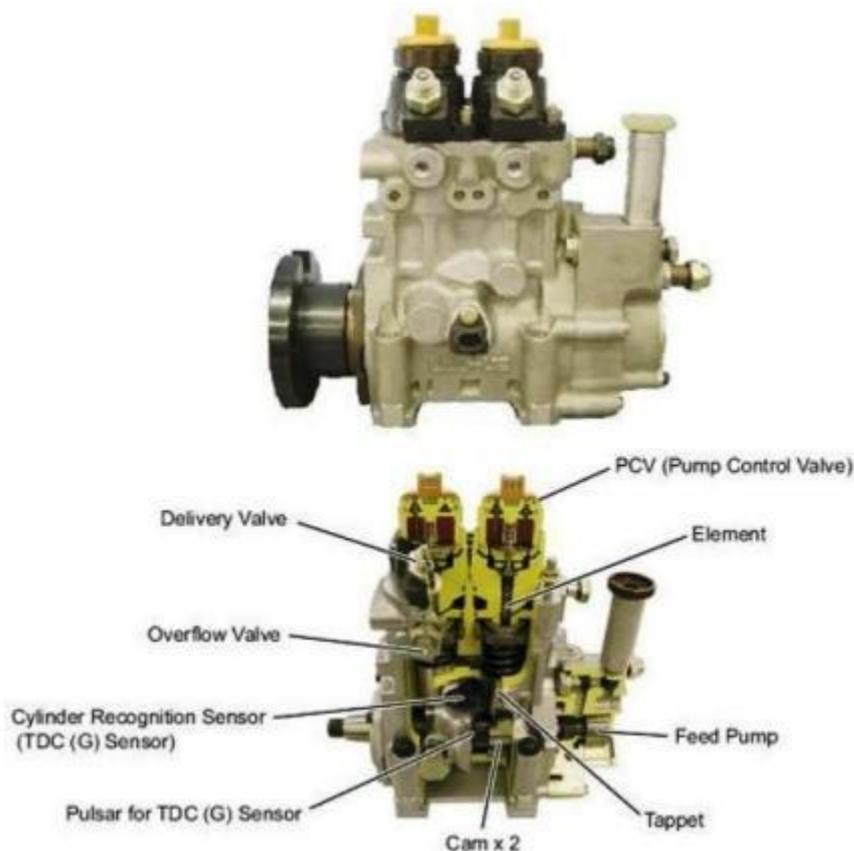


Рис. 4.8 – ТНВД типа HP-0 фирмы DENSO Corp., 1996 г.

ТНВД фирмы DENSO для первой топливоподающей системы аккумуляторного типа представлял собой рядный двухплунжерный насос с шестеренчатой подкачкой и был рассчитан на создание давления до 120 МПа. Он получил обозначение «НР-0». К его интересным особенностям относится регулирование топлива, нагнетаемого в магистраль, с помощью электромагнитных клапанов, установленных на каждой насосной секции. ТНВД применялся на крупно- и среднетоннажных грузовых автомобилях и сельхозтехнике. Изображение этого насоса показано на рис. 4.8

Конструкция насоса для системы НР0 унаследована от предыдущих поколений рядных насосов для атмосферных дизелей типа ЕСD с электронным впрыском. Насос имеет два плунжера расположенных в ряд в верхней части корпуса. Клапан контроля количества топлива (PCV - Pump Control Valve) регулирует уровень давления в аккумуляторе. На задней части корпуса ТНВД расположен механический подкачивающий насос, который подает топливо из бака. ТНВД этого типа имеет передаточное отношение привода, по отношению к коленчатому валу 1: 2. Подкачивающий насос расположен на задней части ТНВД и может быть двух типов: роторного и шиберного.

Следующее поколение ТПСАТ с давлением впрыска до 135 МПа DENSO Corp. выпустила в 1998 г. ТНВД стал роторным с роликовым толкателем, а система получила обозначение НР-2. ТПСАТ с такими насосами высокого давления фирма начала применять на легковых автомобилях.

Конструкция насоса отличается от предыдущего поколения. Привод плунжеров - через роликовые толкатели. Механизм, который сжимает топливо, состоит из внутреннего распределительного вала, который сделан в едином корпусе с приводным валом насоса. Два плунжера расположены парами внутри распределительного вала под прямым углом к друг другу крест на крест. Ролик вращается по внутренней стороне распределительного вала, который имеет эксцентрик. Он нажимает на ролик, а ролик на плунжер и происходит сжатие топлива. Четырехлопастной подкачивающий насос шиберного типа находится в передней части насоса. В отличие от предыдущей модели лопасти насоса имеют пружинку, которая прижимает лопасть к внешнему кольцу, сокращая возможность утечки топлива через насос.

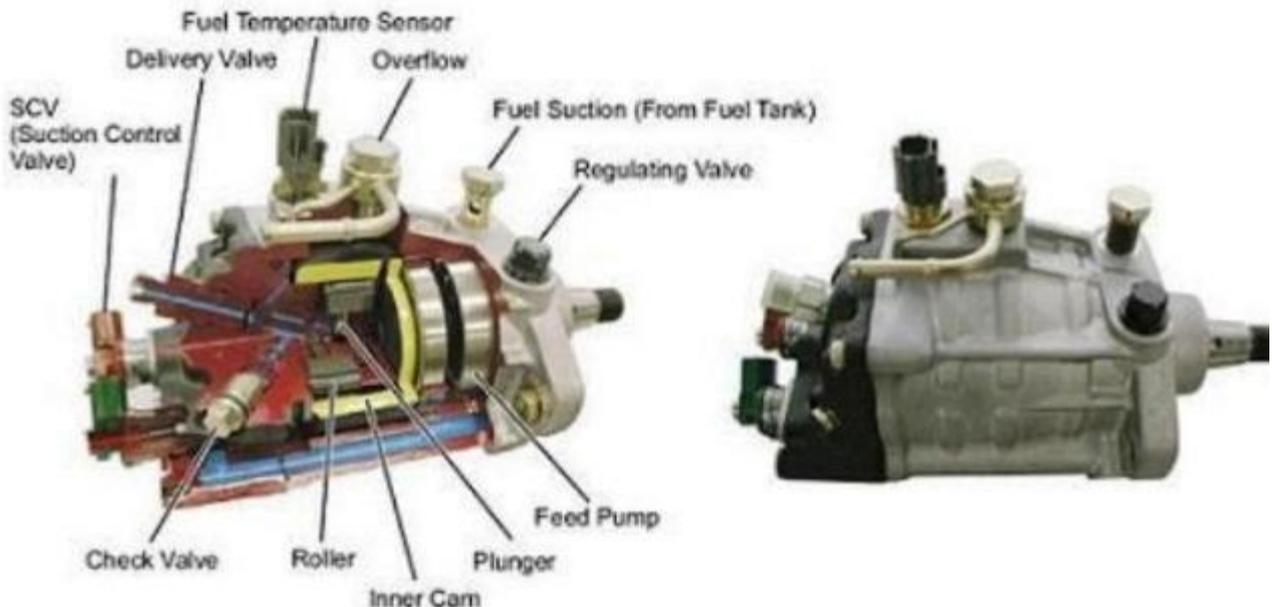


Рис. 4.9 – ТНВД типа НР-2 фирмы DENSO Corp., 1998 г.

Один плунжер расположен горизонтально, второй - вертикально. Их впускные и выпускные каналы находятся в противоположных сторонах. Во время одного оборота распределительного вала плунжер срабатывает два раза. Поэтому при одном обороте топливо подается

в рампу четырьмя последовательными сжатиями. На пути из насоса в рампу находится нагнетательный клапан, который имеет два шарика. Они закрывают два канала с плунжеров и последовательно открывают путь топливу на слив, когда давление в плунжерах становится больше, чем в топливной рампе. Датчик температуры топлива находится на стороне подачи топлива в ТНВД и представляет собой термистор, сопротивление которого меняется с изменением температуры топлива.

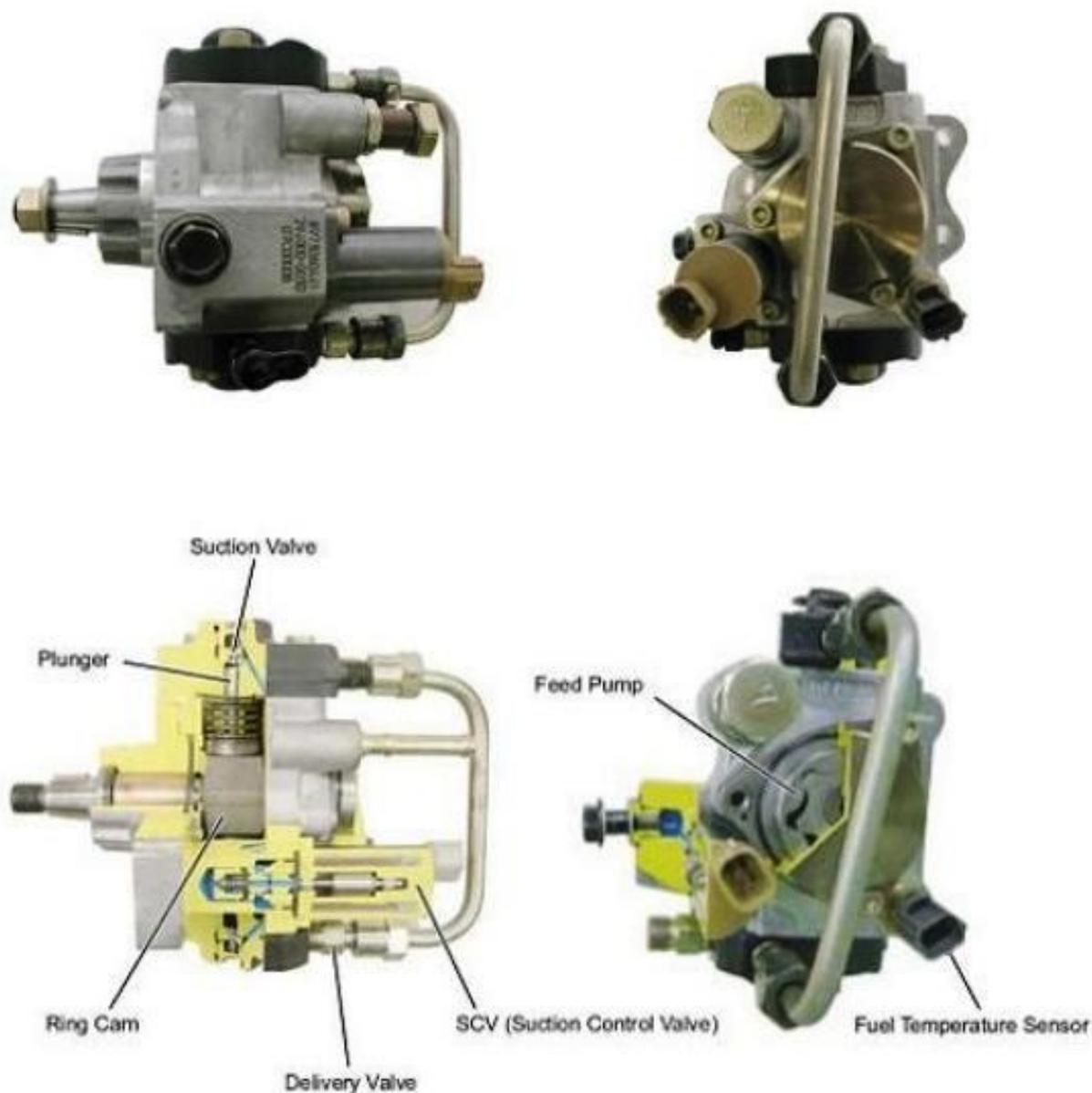


Рис. 4.10 – ТНВД HP-3 фирмы DENSO Corp., 2001 г.

В 2001 году DENSO Corp. выпускает систему HP-3 с давлением до 180 МПа. Фирма перешла на трехплунжерные насосы с радиальной компоновкой плунжеров. На третьем поколении своих ТНВД (HP-3) конструкторы DENSO перешли на использование привода плунжеров от специальной детали, устанавливаемой на эксцентриковый вал. В русскоязычной литературе эта деталь называется призмой, в англоязычной – ring cam. Призма может быть трех- или четырех секционной, в зависимости от конструктивной схемы ТНВД.

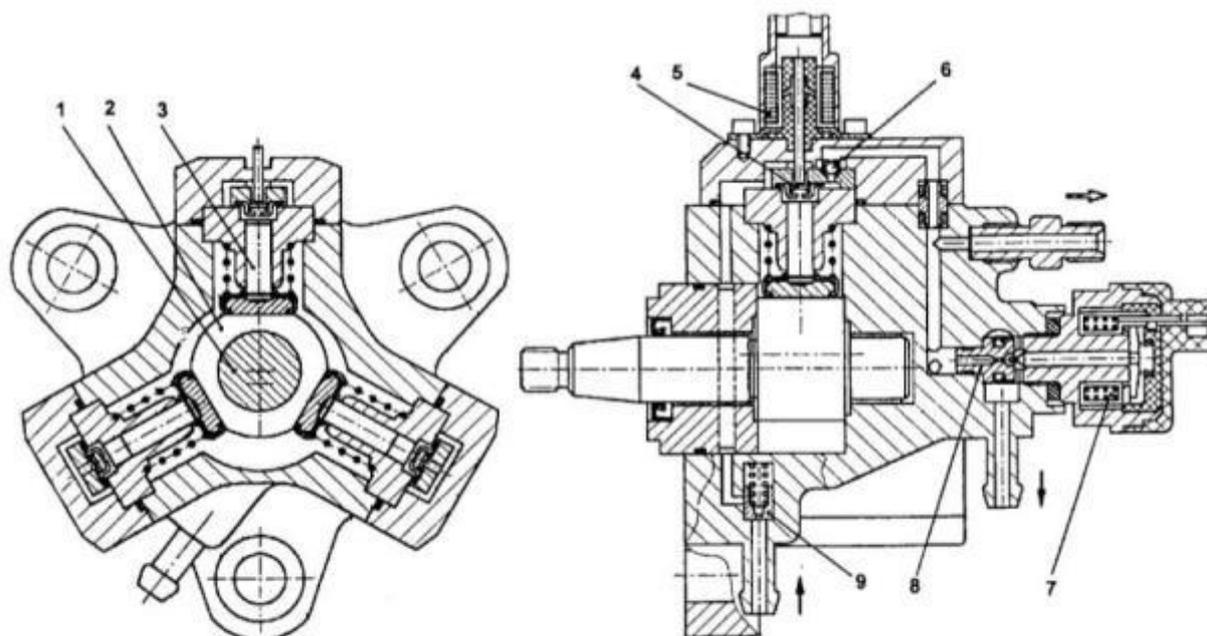


Рис. 3.10. Радиально-плунжерный ТНВД Common Rail первого поколения: 1 - эксцентриковый вал; 2 - эксцентрик; 3 - плунжер; 4 - впускной клапан; 5 - электромагнит впускного клапана; 6 - выпускной клапан; 7 - электромагнит регулятора давления; 8 - седло клапана регулятора; 9 - противодренажный клапан.

Рис. 4.11 - ТНВД CP1 фирмы R. Bosch, 1997 г.

Вероятно, впервые она была применена в ТНВД CP1 фирмы R. Bosch в 1997 году. Этот насос показан на рис. 4.11. Призма обозначена поз. 2 и ошибочно названа авторами работы (23) эксцентриком. Призма получила широкое распространение на насосах различных фирм и конструкций. На рис. 4.12 показана фотография эксцентрикового вала и призмы насоса фирмы Siemens для автомобилей Peugeot 406, 307, Partner, Citroen Berlingo, заимствованная на работы (47).

В 2004 году DENSO Corp. презентовала новую систему Common Rail, получившую обозначение HP-4.



Рис. 4.12 – Эксцентрик и призма насоса фирмы Siemens

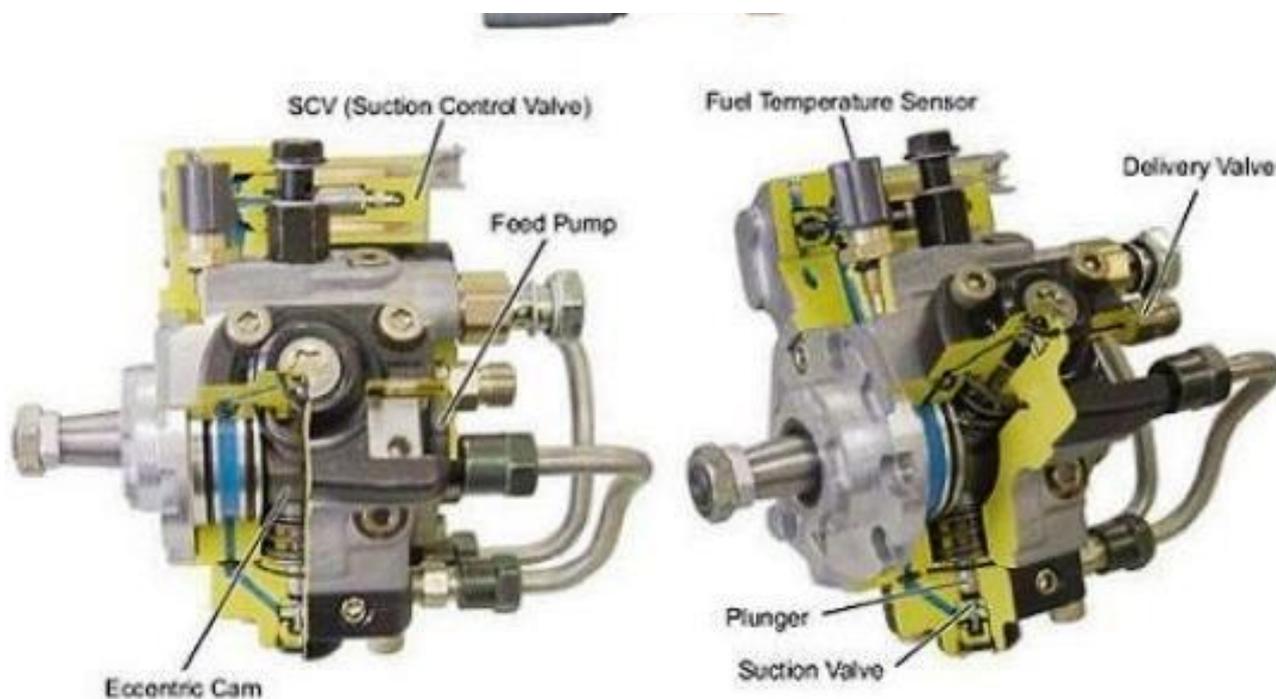


Рис. 4.13 – ТНВД HP-4 фирмы DENSO Corp., 2003 г.

ТНВД этой системы показан на рис. 4.13. Одной из интересных отличительных особенностей насоса является форма топливопроводов высокого давления, соединяющих выход с нагнетательных клапанов насосных секций. Если внимательно посмотреть на ТВД насосов HP-3 и HP-4, можно убедиться, что ТВД HP-4 имеют прогиб в центральной части. Эта «мелочь» на самом деле имеет большое технологическое значение. Угол прогиба является технологическим компенсатором – замыкающим размеров при изготовлении ТВД. Его наличие обеспечивает существенное упрощение и удешевление процесса производства. Появление «прогиба» на ТВД свидетельствует о стремлении разработчиков повышать технологичность конструкции компонентов ТВД. Очевидно, что при любом уровне развития технологий эта задача всегда будет оставаться актуальной и обязательной для проектировщиков.

4.6 ТПСАТ R. Bosch GmbH

Группа компаний R. Bosch традиционно является одним из безусловных лидеров в разработке топливных систем, в том числе ТПСАТ. Выше упоминалось сотрудничество Bosch с группой компаний FIAT. Огромный научно-технический потенциал, разветвленная сеть исследовательских центров позволяют Bosch работать «в одно окно»: потребитель - моторостроительная компания, заключившая с Bosch договор - получает комплект, куда входят не только компоненты топливной аппаратуры, но и электроника: блок управления и полный набор датчиков для двигателя. Bosch предоставляет, практически, полный пакет комплектующих³⁹. Это является мощным конкурентным преимуществом.

Системы управления топливоподачей BOSCH могут быть трех типов: с регулированием давления в рампе на стороне высокого давления, регулирование потока топлива на стороне высокого давления при выходе топлива из ТНВД и так называемый "двойной контроль", когда регулировка происходит с помощью датчика контроля потока в ТНВД и посредством регулятора давления на топливной рампе с помощью дозирующего клапана на линии низкого давления на входе в ТНВД (48).

Визитной карточкой ТНВД аккумуляторных систем Bosch, начиная с первого поколения систем, стала трехлучевая схема расположения насосных секций ТНВД.

Таблица 4.2 – Сравнительная таблица ТНВД ТПСАТ Bosch, (48)

Тип ТНВД	Максимальное давление в рампе (Бар)	Тип смазки
CP1	1350	Диз. Топливо
CP1+	1350	Диз. Топливо
CP1H	1600 / 1800	Диз. Топливо
CP1H+OWN	1100	Диз. Топливо
CP3.2	1600	Диз. Топливо
CP3.2+	1100	Диз. Топливо
CP3.3	1600	Диз. Топливо
CP3.4	1600 / 1800	Масло
CP3.4+	1600	Диз.Топливо
CP2	1400	Масло
CP2.2	1600	Масло
CP2.2+	1600	Масло
CP2.4	1600	Масло
CP4.1	1800 / 2000	Диз. Топливо
CP4.2	1100 / 2000	Диз. Топливо

Насосы Bosch первого поколения типа CP1 (см. рис. 4.11) приводятся в работу с помощью вала, соединенного с распределительным валом двигателя. Они могут иметь модификации CP1K - компактный дизайн и CP1S - стандартный дизайн, но с регулятором давления на корпусе насоса. Система характеризуется наличием погружного электрического топливного насоса, который подает топливо к ТНВД под давлением 2,6 бар и с производительностью 160 л/час (может меняться в зависимости от модели автомобиля). Электрический топливный насос постоянно активирован при работающем двигателе. Лишнее топливо отводится через предохранительный клапан на блоке топливного фильтра в топливный бак. Блок топливного насоса

³⁹ - за исключением, в частности, топливопроводов высокого давления, которыми Bosch не занимается

и указателя уровня топлива оснащен еще одним предохранительным клапаном. При заблокированном топливопроводе предохранительный клапан открывается и подаваемое топливо снова возвращается напрямую в топливный бак. Это позволяет избежать повреждений топливной системы.

Система Bosch CP1H относится ко второму поколению и стала применяться с 2001 года. В отличие от насосов CP1 в CP1H на стороне подачи топлива в рампу расположен электромагнитный клапан контроля количества топлива, подаваемого из насоса в рампу. Эта конструкция впервые была применена на типе CP3, но добавлена к CP1 для увеличения производительности насоса. Это позволяет увеличить эффективность насоса, понизив температуру топлива, нагрузку и повысив создаваемое давление. Привод топливного насоса осуществляется напрямую от выпускного распределительного вала через соединительный элемент. Передаточное число привода соответствует передаточному числу коленчатого вала относительно распределительного вала 2:1. ТНВД рассчитан на максимальное давление топлива от 1600 до 1800 бар. Еще одна особенность системы CP1H - использование деактиватора одного из плунжеров в случае, если нет необходимости развивать максимальное давление в рампе. ТНВД может быть оборудован подкачивающим шестеренчатым насосом. Некоторые модели ТНВД могут быть снабжены автоматической вентиляцией. Насосы типа BOSCH CP2 используются только в коммерческих автомобилях. Их отличие - два вертикально расположенных в линию качающих плунжера. В некоторых редких случаях применялись насосы с четырьмя качающими элементами. Причина использования схемы с вертикальными плунжерами: обеспечение взаимозаменяемости с традиционными плунжерными насосами, где максимальное давление не превышает 400-1150 бар, без необходимости радикального изменения компонентов. Передаточное отношение между валом ТНВД и коленчатым валом равно 1:2.

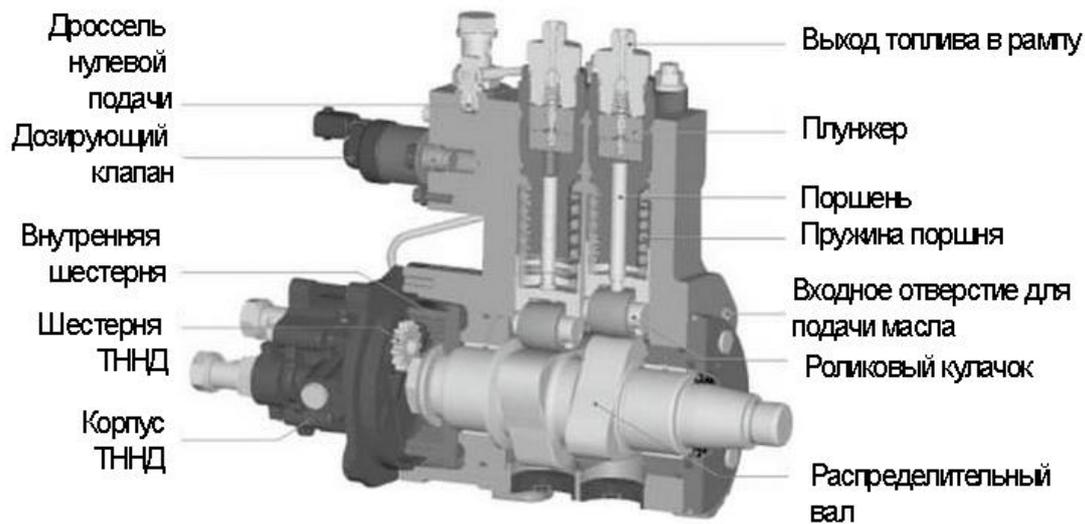


Рис. 4.13 – ТНВД CP2, (48)

В 2003 году группа компаний Bosch выпустила третье поколение ТПСАТ. Изображение ТНВД CP3, заимствованное из работы (48), показано на рис. 4.14.

Конструктивная схема насоса CP3 идентична CP1 и CP1H (технология CP3 используется для насосов CP1H). Но в этом типе применена новая технология управления давлением: управление осуществляется не в линии высокого давления, а на стороне подачи топлива в ТНВД.

Для этого применен новый элемент - клапан контроля количества подаваемого в насос топлива (IMV). Корпус имеет новую форму моноблока со сниженным уровнем трения. Другая отличительная особенность - не прямое воздействие эксцентрика на плунжер, а передача усилия через толкатель, что позволяет увеличить нагрузку и добиться максимального давления в 1800 бар. Одна из отличительных особенностей системы CP3 - использование механического передающего насоса, расположенного в задней части ТНВД на линии низкого давления. Насос шестеренчатого типа, как у CP1H, но может применяться электрический роторный насос роликового типа, который находится на линии низкого давления.

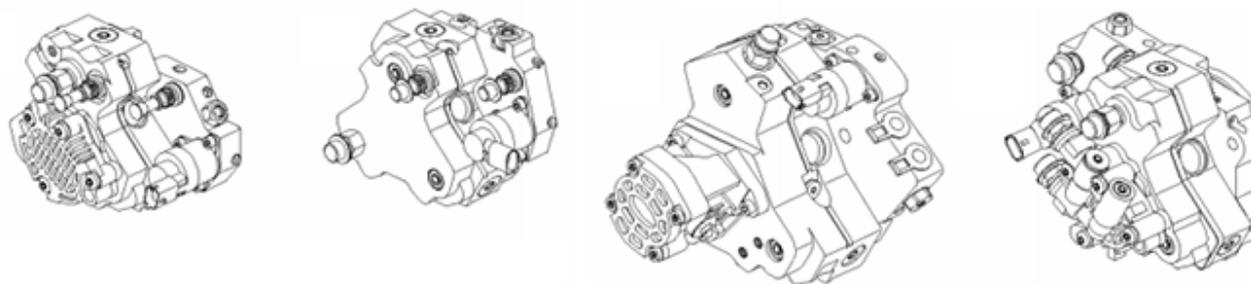


Рис. 4.15 – ТНВД CP3

Насосы типа CP3 используются как на легковых, так и на коммерческих автомобилях. Версии CP3.1 ~ CP3.4 отличаются размером и уровнем давления в зависимости от выполняемой автомобилем задачи. Версия CP3.4 используется только на грузовиках и автобусах. В лёгких грузовиках и коммерческих автомобилях других типов (пикапы) могут также использоваться ТНВД, первоначально спроектированные для легковых автомобилей. Особенностью топливных систем тяжёлых грузовиков, а также грузовиков средней грузоподъёмности, является топливный фильтр, расположенный на стороне давления. Он устанавливается между шестерёнчатым топливоподкачивающим насосом и ТНВД и благодаря большей ёмкости для отсеиваемых частиц, допускает длительный интервал замены фильтрующего элемента. В любом случае ТНВД требует внешнего соединения на впуске топлива, даже если шестерёнчатый топливоподкачивающий насос закреплён на фланце ТНВД.

В 2007 году Bosch представил четвертое поколение ТПСАТ - CP4. Основные отличительные особенности - уменьшение физического размера и возможность развивать максимальное давление в рампе до 2000 бар. Система имеет две модификации: CP4.1 с одним плунжером и CP4.2 с двумя плунжерами. В ней могут применяться пьезофорсунки, а для недорогих моделей электромагнитные форсунки нового типа CRI 2.2-M2 с возможностью работы при давлении 1800, а в модификации CRI 2.6 - до 2000 бар.

Насос высокого давления CP4.1 одноплунжерный, с приводом зубчатым ремнем от коленчатого вала с частотой, равной частоте оборотов двигателя. ТНВД рассчитан на давление до 1800 бар. С помощью двух кулачков, развёрнутых на приводном вале на 180°, скачок давления формируется синхронно с впрыском во время рабочего такта конкретного цилиндра. Это обеспечивает равномерную нагрузку привода насоса и снижает колебания давления в области высокого давления. Привод плунжера – через роликовый толкатель.



CP 3.2

CP 3.2+

CP 3.3

CP 3.4

Рис. 4.16 – Семейство ТНВД Bosch CP3, (48)

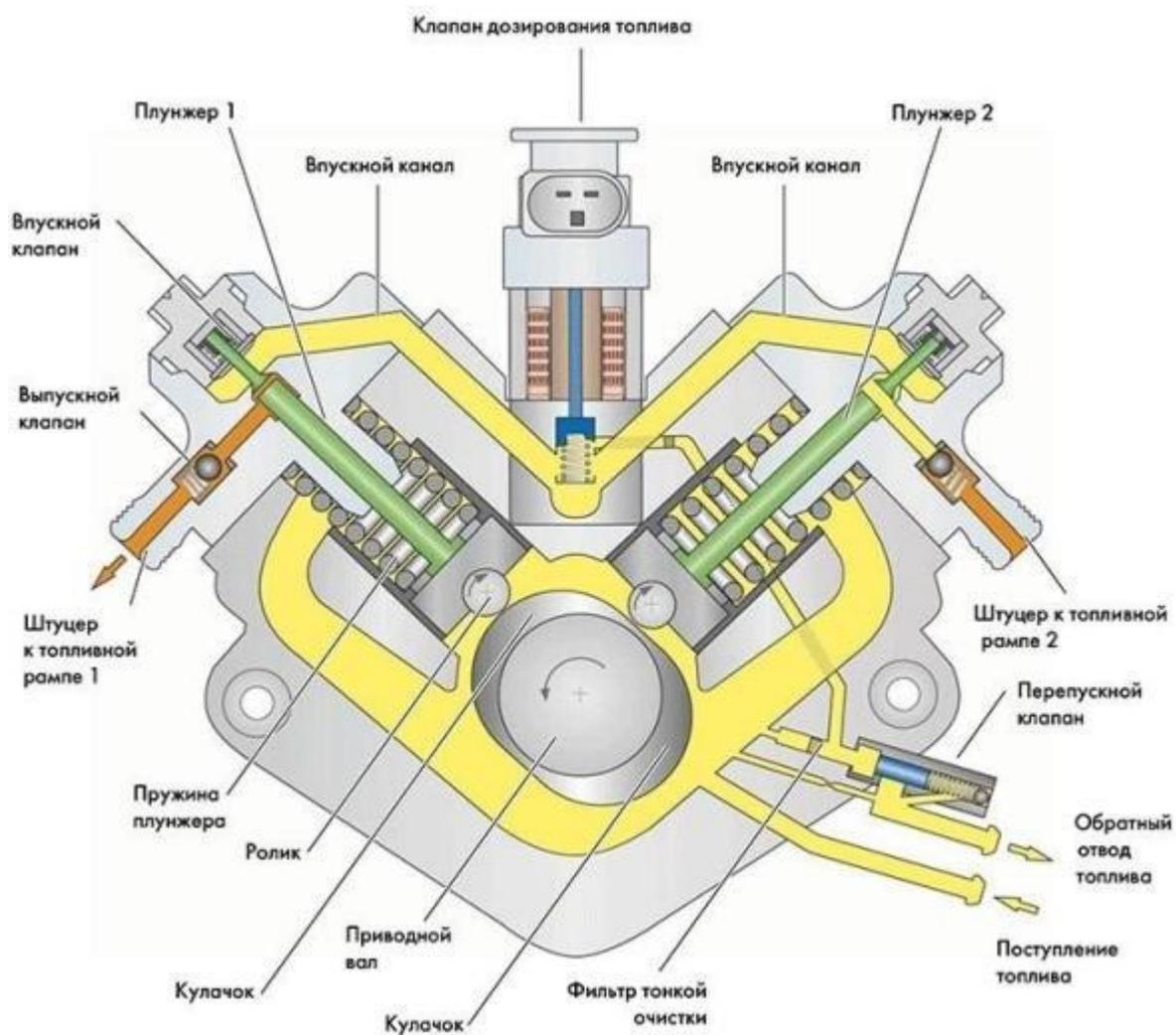


Рис. 4.17 –ТНВД Bosch CP4, (65)

Электромагнитные форсунки ТПСАТ Bosch первого поколения для легковых автомобилей и коммерческого транспорта показаны на рис. 4.17 и рис. 4.18, соответственно. На рис. 4.19 показана форсунка второго поколения. На третьем поколении ТПСАТ впервые была использована форсунка с пьезоэлектрическим актуатором (рис. 4.20). Четвертое поколение форсунок для ТПСАТ Bosch представляет собой аккумуляторные насос-форсунки.

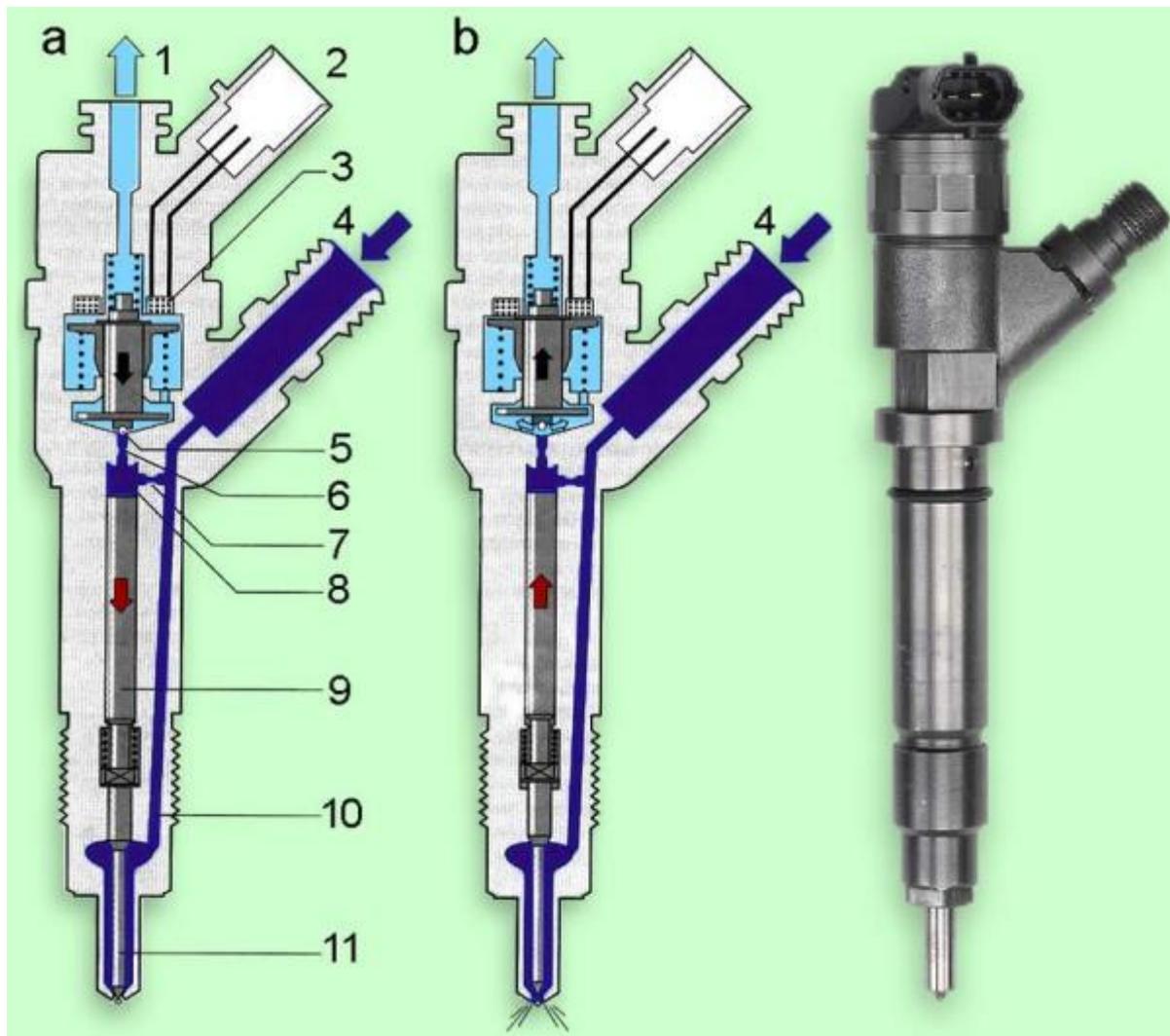
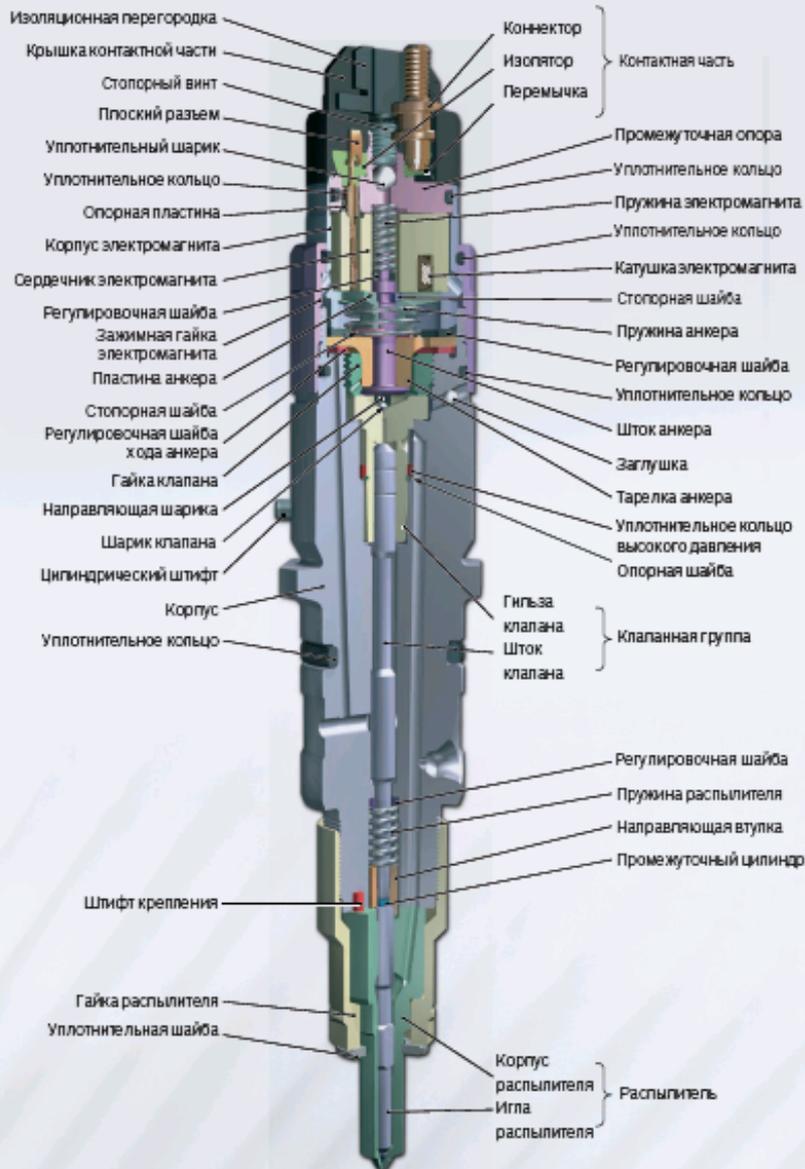


Рис. 4.18 – Форсунка Bosch CRIn1 для легковых автомобилей

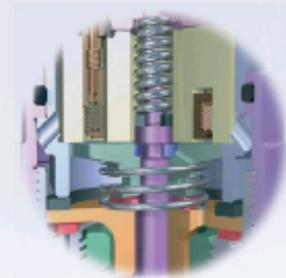
Дизельные системы – CRIN 1 для Nkw



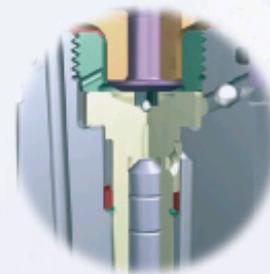
BOSCH
Разработано для жизни



Анкер



Клапанная группа



Электромагнитный инжектор

Давление в системе: 1600 бар

Используется в качестве оригинального оборудования в: Cummins, MWM, Renault, Volvo и другие.

Рис. 4.19 – Форсунка Bosch CRIn1 для грузовых автомобилей
(коммерческого транспорта), плакат Bosch

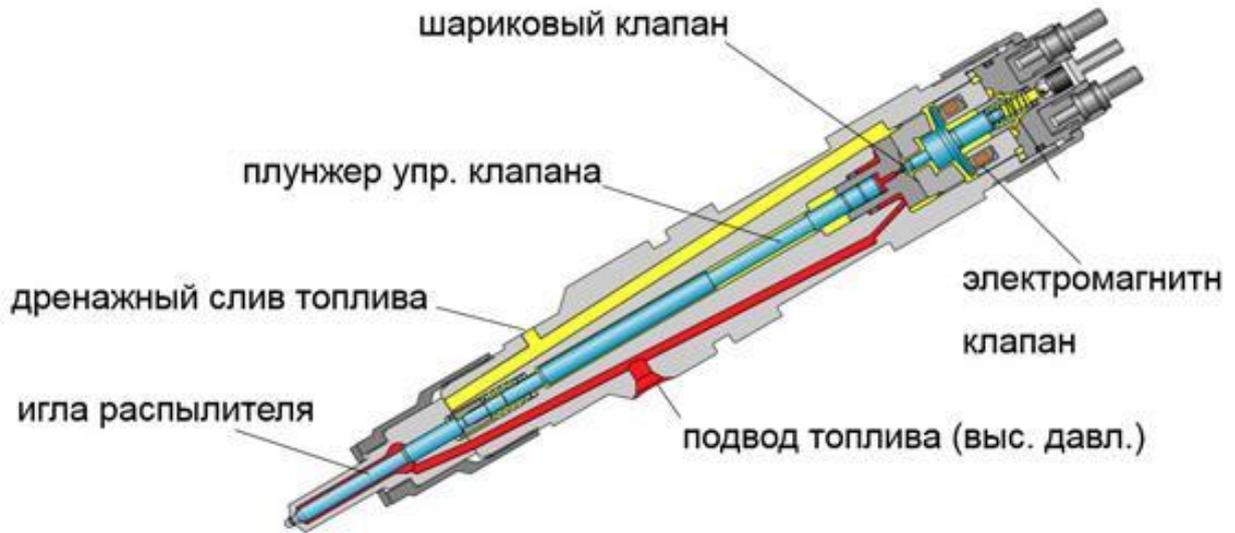


Рис. 4.20 – Форсунки Bosch CRIn2

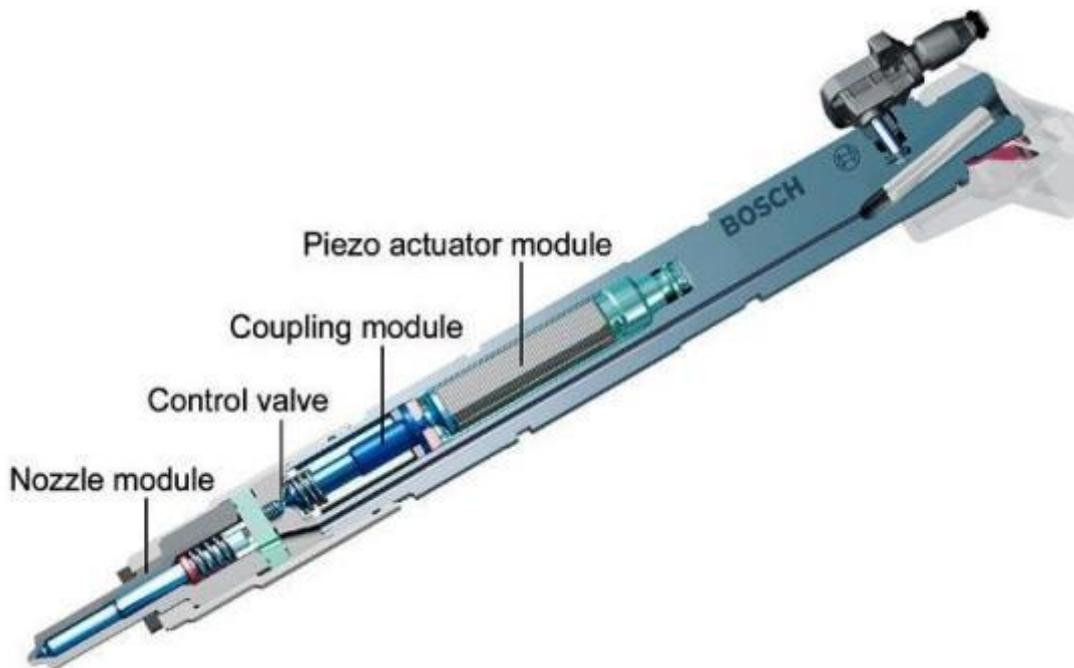


Рис. 4.21 – Форсунки Bosch CRIn3

4.7 ТПСАТ DELPHI Technologies

Первый ТНВД компании DELPHI Technologies имел обозначение HP0. Его изображение, заимствованное из (49), показано на рис. 4.16.

Насосы смазываются и охлаждаются за счет дизельного топлива. Для нормальной работы насос должен пропускать через себя 50 литров топлива в час. За полтора оборота ТНВД должен создать давление 200 бар. В зависимости от производителя ТНВД может иметь 2,3 и 4 плунжера, и развивать максимальное давление до 1400 или до 1600 бар.

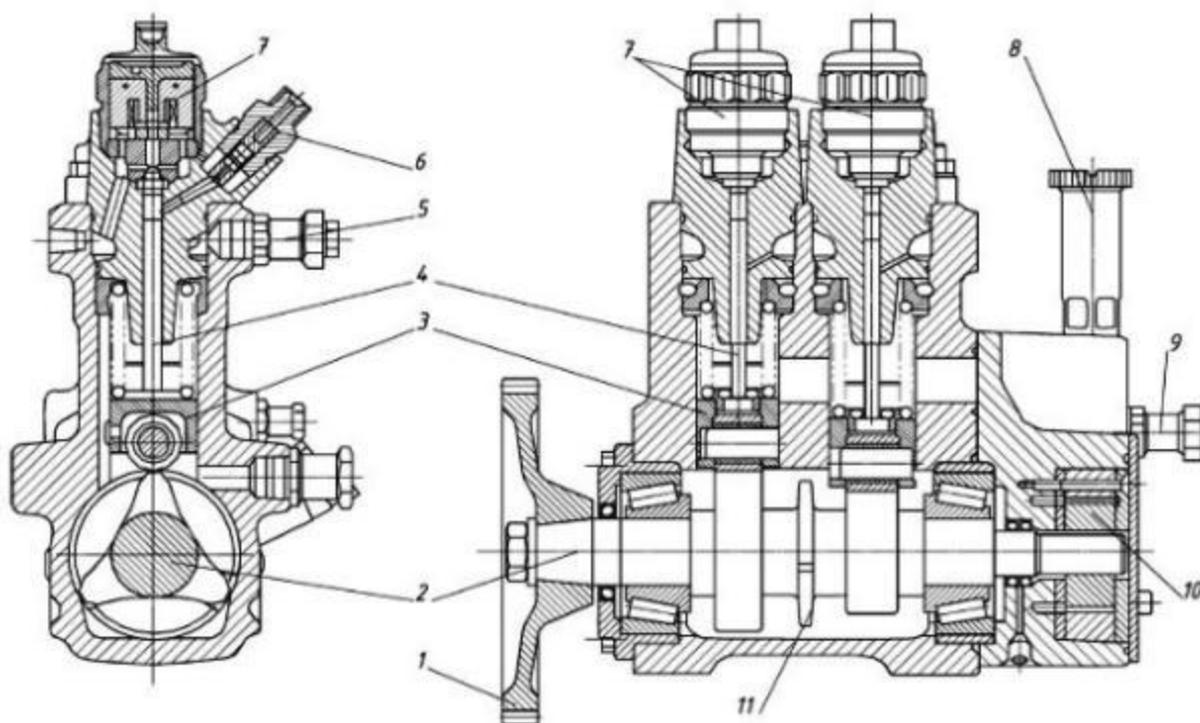


Рис. 4.22 – Топливный насос

- 1 – шестерня привода, 2 – кулачковый вал, 3 – толкатель, 4 – плунжер, 5 – перепускной клапан, 6 – штуцер, 7 – электромагнитные клапаны управления подачей, 8 - ручной топливоподкачивающий насос, 9 – клапан ограничения давления подкачки, 10 - подкачивающий насос, 11 – кулачок с отметчиком для датчика частоты вращения

Отличительная особенность системы DELPHI - наличие трубки Вентури на линии обратного слива, который создает пониженное давление в системе для устранения резких перепадов высокого давления топлива. Как правило, трубка Вентури находится на корпусе ТНВД, но может быть выведена отдельно вместе с температурным датчиком. Принцип работы в том, что внутри клапана имеется сужение канала, которое стабилизирует поток топлива.

В отличие от DFP1 поколение ТПСАТ DELPHI DFP3 имеет вал с эксцентриком. Насос может иметь модификацию с двумя плунжерами, которые разведены под углом в 180° или с тремя плунжерами, находящимися под углом в 120° . Основные отличия системы DFP3 от предыдущего поколения в использовании эксцентрика, измененной формы передающего вала, количестве плунжеров, использовании роликовых подшипников вместо подшипников скольжения, большей производительности одного оборота, большей скоростью вращения вала,

меньшими размерами, вариантами без Передающего насоса, большей мощностью и меньшим шумом. Передающий насос находится не внутри, а на внешней части корпуса насоса. При его наличии используется клапан контроля топлива, передающегося в область сжатия.

Различается несколько разновидностей системы DFP3 (3.1, 3.2, 3.3, 3.4), которые отличаются по форме, количеству плунжеров, приводу и подают давление от 1600 до 2000 бар. Изображения ТНВД DFP3, заимствованные из работы (50), приведены на рис. 4.26.

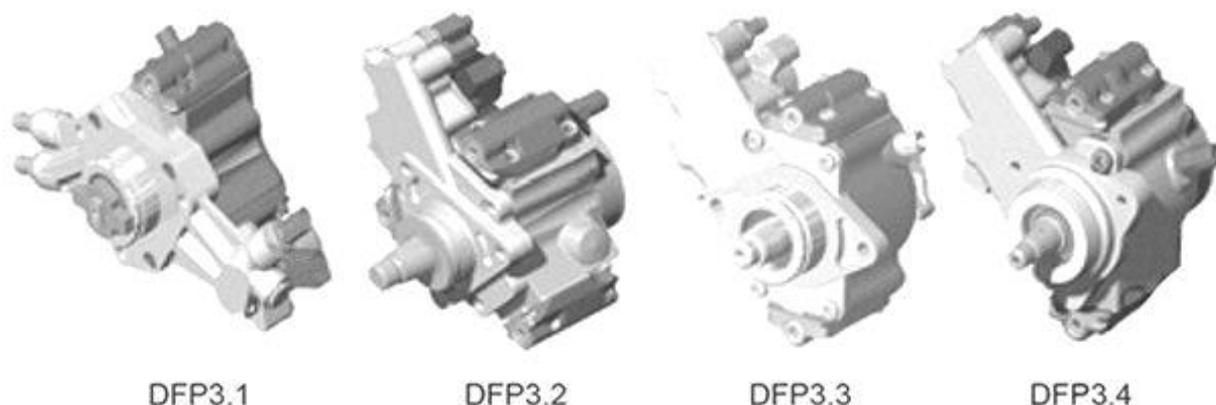


Рис. 4.23 – Семейство ТНВД DFP3

Система DELPHI DFP4 разработана на основе DFP3 и предназначена для использования на двигателях коммерческих машин. Насос имеет два плунжера, разведенных под углом в 180 градусов. Отличие конструкции от предыдущей версии в наличии DLC покрытия на впускном клапане, использование керамического шарика в выпускном клапане, наличие эксцентрика с прорезями, охлаждение топливом передних и задних подшипников скольжения.

Насосы типа DFP4.2 вращаются против часовой стрелки, а насосы типа DFP4.4 по часовой стрелки. ТНВД этого типа могут развивать максимальное давление до уровня 2000 бар.

Насосы DFP6 относятся к третьему поколению ТПСАТ DELPHI. ТНВД этого типа унаследовали архитектуру предыдущего поколения с кулачками и роликами. ТНВД DFP6 не имеют подкачивающего насоса. Подача топлива к ТНВД осуществляется за счет погружного электрического насоса в баке, который доставляет топливо к ТНВД под давлением от 5 до 6 бар. ТНВД DFP6.1 создают давление от 1800 до 2000 бар, насосы DFP6.1E создают только давление в 2000 бар.

Электромагнитные форсунки DELPHI, по сравнению с форсунками Bosch, многие специалисты считают более сложными, как в отношении конструкции, так и в отношении технологии производства и, особенно, ремонта.

Одна из особенностей конструкции – электромагнит, перенесенный вглубь корпуса. Этим форсунки DELPHI могут напомнить патент Ф.И. Пинского с соавторами (51). Максимальное давление, которое используется в системе с форсунками DFI 1.1-1.4 до 1800 бар и сила, которая поднимает иглу форсунки, очень велика. Это означает, что невозможно управлять иглой форсунки напрямую электромагнитным клапаном, поскольку это требует очень большой силы тока. Время насыщения катушки индуктивности сравнительно велико, а иглой распылителя нужно управлять в гораздо более короткие промежутки времени. Таким образом, иглой распылителя приходится управлять с помощью клапана, который контролирует давление в емкости (гидрозавор, полость гидроуправления), расположенной прямо над иглой. В начале впрыска, когда игла должна подняться и открыть сопловые отверстия распылителя, клапан открывается, сообщая полость гидроуправления с контуром низкого давления. Для за-

крытия иглы распылителя клапан закрывается, восстанавливая давление внутри полости гидроуправления. Клапан должен иметь возможно малую массу. В закрытом положении клапан должен находиться в гидравлическом равновесии – быть гидравлически разгруженным.

Форсунки могут выполнять от двух до пяти впрысков за один цикл. Кроме того, предусмотрен слив топлива в контур низкого давления в аварийном случае. Это необходимо в случае резкого снятия ноги с педали газа или в случае возникновения кода ошибки, который требует резкого понижения давления в рампе. Для этого электромагнит форсунки получает импульс от блока управления, которого достаточно для того, чтобы поднять клапан и соединить топливо в аккумуляторе с контуром низкого давления, но которого недостаточно для того, чтобы поднять иглу распылителя и открыть доступ топлива в двигатель. Такой контроль возможен только в том случае, если точно известно время между началом движения клапана и началом открытия иглы. Это время зависит от физических свойств каждой конкретной форсунки и от степени ее износа. Поэтому программе в блоке управления необходимо точно знать физическое состояние каждой форсунки. Это достигается путем калибровки форсунок на заводе и присвоении каждой форсунки индивидуального кода. Компания DELPHI использует два типа калибровки форсунок:

- C2I (Correction Individual Injector). Использование шестнадцатиричного кода (16 символов);

- C3I (Improved Individual Injector Correction). Более точная калибровка форсунок на производстве и использование буквенно-цифровой кода (20 знаков). Код вводится в память DCU при замене форсунки на новую или код со старых форсунок вводится в новый блок при замене DCU с помощью сканера. Опираясь на калибровочные данные, которые закодированы в коде, блок управления проводит коррекцию по каждой форсунке.

Для обеспечения соответствия двигателей требованиям экологического стандарта EURO V были разработаны форсунки DFI 1.5. Они должны были обеспечить до семи впрысков за цикл и иметь при этом лучшую защиту от грязного топлива. Давление впрыска – до 2000 бар.

Для двигателей уровня EURO VI и давления впрыска до 2200 бар компания DELPHI Corp. предложила форсунки DFI 1.5.2. Был изменен электромагнит – увеличено тяговое усилие. Благодаря этому применена более мощная пружина. Калибруется форсунка методом C3I с 20-значным кодом.

Форсунки DFI 1.20 разработаны для выполнения, в целом, тех же задач, что форсунки DFI 1.5.2. Уменьшен диаметр иглы распылителя. В целях более точной калибровки форсунки, для этого применялся алгоритм кодирования C3I, а для автомобилей Volkswagen с двигателями 1600cc и 2000cc с конца 2014 года стала применяться новая более точная технология калибровки Improved C3I для того, чтобы блок управления понимал, как ведет себя форсунки под ультравысоким давлением 2000-2200 бар. При этом также используется 20-значный код и понять каким способом откалибрована форсунка визуально невозможно. Это можно определить только по каталожному номеру детали. В момент проведения процедуры калибрования сканер DELPHI DS150/DS350 или AUTOCOM могут определить тип калибровки по введенному номеру.

Форсунки типа DELPHI DFI 2.3 разработаны как версия 1.3, но с большим расходом топлива для работы на коммерческих двигателях и на агрегатах большого размера. Максимальное давление впрыска - 1600 бар. Форсунки широко применяются на двигателях грузовиков и строительной техники, например, JCB, с экологическим классом выше Евро 3. Сливной канал форсунки имеет специальный LP коннектор. Калибруются форсунки как методом C2I, так и методом C3I.

Форсунки DFI 2.5/2.5 HPC стали дальнейшим продолжением развития ТПСАТ для коммерческой техники. Форсунка поколения 2.5 поддерживает работу при экологическом классе до EURO V при максимальном давлении в 2000 бар. Кроме этого, форсунка имеет улучшенные характеристики впрыска - IRCF (Injection Rate Coefficient Factor) с возможностью проводить до 7 впрысков за цикл впрыска. В остальном форсунка имеет те же элементы, как и предыдущее

поколение. В этом типе форсунок использовано специальное новое покрытие для иглы и ее седла, улучшающее динамику впрыска, угол седла иглы изменен до 60 градусов, а диаметр иглы увеличен. Угол между отверстиями распылителя уменьшен, а входные отверстия увеличены для пропуска большего объема топлива. Диаметр самой форсунки увеличен с 17 мм до 19 мм.

Форсунки DFI2.5 HPI предназначены для больших двигателей. Они работают на агрегатах для экологического класса выше Евро 4 и под максимальным давлением в 2000 бар. Они отличаются большим диаметром корпуса (26 мм и 28 мм), и большим диаметром входных отверстий. Еще одна особенность форсунки - особый коннектор. Поскольку форсунка находится глубоко в головке блока цилиндров, наружи выводится только провод, связанный со жгутом центральной проводки двигателя. Сам же коннектор проникает глубоко в двигатель и подключается к форсунке в середине ее корпуса, что очень необычно по сравнению с другими типами форсунок. Но это обусловлено применением данной форсунки на двигателях с большим физическим размером. Поэтому канал для обратного слива находится также в середине форсунки и связан с внутренними каналами в головке блока.

Форсунки DELPHI DFI 3B отличаются от других поколений наличием пьезоэлемента прямого действия, когда эффект изменения своего размера кристалла под действием напряжения используется для прямого управления иглой вместо электрогидравлического принципа. Эта технология позволяет открывать форсунку на время в 100 микросекунд, что позволяет добавиться 7 и более открытий во время полного цикла впрыска. Новое поколение форсунок не имеет слива в контур низкого давления (так называемые безсливные или бездренажные форсунки). Другое достижение - возможность добиваться удивительной стабильности впрыска на всем протяжении времени эксплуатации двигателя несмотря. Такая технология позволила снизить выбросы сажи и окислов азота на 30 %, дала возможность уменьшить сажевые фильтры и многократно снизить шумность двигателя. Для подключения форсунки к управляющему кабелю используется коннектор нового поколения.

Коррекция проводится по 24-значному коду. При работе с этим типом форсунок необходимо соблюдать осторожность: никогда не снимать электрический коннектор на работающем двигателе, поскольку мы не можем предугадать, в каком положении останется игла, а она может остаться в открытом состоянии. Также ни в коем случае нельзя менять полярность коннектора. Поскольку пиковое напряжение в цепи форсунки может превышать 250 В, необходимо соблюдать правила безопасности при работе с ними. Нельзя прикасаться руками к оголенным контактам форсунки после снятия коннектора, поскольку в ней может оставаться заряд электричества. Именно поэтому DELPHI предлагает набор колпачков YDT499, которые надеваются на форсунку сразу после снятия коннектора.

4.8 ТПСАТ SIEMENS

Немецкий концерн SIEMENS начал работу над системой управления ТПСАТ в начале 1990-х годов и к концу тысячелетия первым разработал технологию впрыска в дизельных двигателях с помощью пьезофорсунок (52). Впервые она была применена на двигателях, совместно разработанных с французскими автоконцернами и с Ford. Подобные ТПСАТ, как правило, применяются на мощных и дорогих комплектациях в связи с высокой себестоимостью, но зарекомендовали себя как довольно надежные системы. Кроме пьезофорсунок отличительной особенностью является наличие двух клапанов контроля топлива в корпусе ТНВД (хотя есть редкие исключения) и использование шиберного топливopодкачивающего насоса (рис. 4.24). В начале 2000-х годов производство и разработка переданы подразделению VDO, которое было выкуплено концерном CONTINENTAL в 2007, и в настоящее время не является составляющей группы SIEMENS. Система прошла через четыре поколения и сейчас ведется работа над системой пятого поколения с возможностью создания максимального давления в рампе до 2500 бар для поддержки протоколов Евро 6 и выше (52).



Рис. 4.24 – Шиберный топливopодкачивающий насос фирмы Siemens, (47)

Система SIEMENS/VDO 2.0 DV4TD, разработанная в конце 90-х годов с системой управления SIEMENS SID 801/802 стала первым применением системы дизельного впрыска COMMON RAIL с пьезофорсунками. Ее модификации широко применялись на двигателях совместной разработки FORD/PSA и в разных модификациях были адаптированы на автомобили Peugeot, Citroen, Ford, Volvo, Jaguar и Land Rover. Система способна развивать давление впрыска до 1500 бар. Смазка ТНВД – топливом.

Подачей топлива от ТНВД в аккумулятор управляют с помощью клапана регулировки давления (PCV), расположенного на корпусе ТНВД.

Топливные форсунки со встроенным в верхнюю часть корпуса пьезоэлементом способны производить два впрыска за цикл. Пьезоэлемент имеет 250 слоев, сопротивление 200 Ом и ёмкость от 0,003 до 0,0038 Ф. Запрещается менять полярность форсунки, поскольку это может привести к разрушению пьезоэлемента и отключать коннектор на работающем двигателе, поскольку невозможно сказать в каком состоянии будет игла в момент отключения питания. Игла не может перекрыть распылитель механически при снятии давления.

Система SIEMENS/VDO PCR 2.0 DW10TD, стала продолжением развития системы DV4TD и применялась на двигателях 2000 см³ автомобилей Citroen, Peugeot и Suzuki Vitara с мощностью 64 кВт. Конструкция ТПСАТ повторяет первое поколение, однако имеет несколько отличий. Видоизменена форма ТНВД, который также имеет четыре функциональных элемента, заключенных в общем корпусе: подкачивающий насос, клапан регулятора расхода топлива (VCV), три насосных секции высокого давления, регулятор давления топлива (PCV). PCV перемещен на заднюю часть ТНВД параллельно клапану VCV, рядом с нагнетательным клапаном. Подкачивающий насос шиберного типа расположен в передней части ТНВД и состоит из ротора, статора с эксцентриком, пяти жестких пластин, которые свободно перемещаются в радиальных пазах ротора.

Система SIEMENS/VDO PCR 2.3 DWB10TED - второе поколение ТПСАТ SIEMENS с управлением SID 803. Применяется на двухлитровых двигателях мощностью 100 кВт Citroen, Peugeot, Ford, Volvo. Изменения коснулись расположения PCV клапана, который снова был передвинут на боковую поверхность корпуса. Клапан VCV относится ко второму поколению и может быть определён по наличию фланцев для крепления на корпусе ТНВД. Максимальное давление в топливном аккумуляторе 1650 бар. В этой системе форсунки разделены на классы. Каждому классу форсунки соответствует определенные физические свойства пьезоэлемента, которые необходимо для правильной компенсации впрыска. При замене форсунок необходимо подбирать классы, чтобы они не отличались друг от друга.

Система SIEMENS/VDO DV 6C TED4 является модификацией систем для двигателей типа DW и применяется на широком круге моделей Peugeot, Citroen, Ford, Volvo, Mazda с объёмом двигателя 1600см³. Отличительная особенность - использования ТНВД с двумя плунжерами, которые расположены вертикально под углом в 180 градусов друг к другу. ТНВД может развивать максимальное давление до 1600 бар (200 бар на холостом ходу).

Система SIEMENS/VDO PCR 2.3. K9K разработана для двигателей альянса NISSAN/RENAULT с объёмом 1500 см³. Может поставляться в версиях EURO IV и EURO V, а с 2012 года и в версии EURO VI для Mercedes-Benz и Dacia для двигателей с повышенной мощностью и относится ко второму поколению. ТНВД способен развивать давление в аккумуляторе до 1650 бар (EURO IV). Конструкция классическая для SIEMENS/VDO: подача топлива из бака с помощью встроенного в ТНВД шибберного топливоподкачивающего насоса, размещение клапанов VCV и PCV на корпусе ТНВД, датчик давления расположен на топливном аккумуляторе, четыре пьезофорсунки.

Система SIEMENS/VDO PCR 2.3 Lynx разработана для двигателей Форд с объёмом 1800 см³. Отличительной особенностью является применение сферического топливного аккумулятора с датчиком давления топлива. Такая форма аккумулятора вызвана с одной стороны компактным размещением системы в подкапотном пространстве, а с другой возможностью равномерной подачи топлива к каждой форсунке. ТНВД стандартного типа с встроенным передающим насосом и клапанами VCV и PCV на корпусе.

Система SIEMENS/VDO PCR 2.3 Puma разработана для двигателей Форд/PSA с объёмом 2200 см³ и 5-ти цилиндровых с объёмом 3200 см³. Эти двигатели применялись на автомобилях Land Rover Defender, Mazda BT-50, Citroen Jumper, Peugeot Boxer и Ford Ranger/Transit. Отличительной особенностью является применение электромагнитных форсунок, которые откалиброваны во время их производства шестнадцатеричным кодом. Этот код необходимо вводить после замены форсунок или замены ЭБУ. Если код не введен или введен неправильно, то это может сказаться в увеличении вредного выхлопа, появлении черного дыма из выхлопной трубы, нестабильности холостого хода и повышении уровня шумности двигателя. Если ЭБУ определяет неисправность форсунки по количеству потребляемого тока электромагнитным клапаном форсунки, то появляется код ошибки и пропуски зажигания, ошибки по холостому ходу, понижение мощности, увеличение потребления топлива, проблемы с холодным и/или горячим запуском, увеличение дымности.

ТНВД стандартного типа с тремя плунжерами и встроенным подкачивающим насосом, но имеет только один дозирующий клапан VCV на корпусе. После сжатия топливо из плунжеров подаётся напрямую в аккумулятор без контроля клапаном PCV. Определенное количество топлива направляется внутрь ТНВД для его смазки и потом возвращается в линию низкого давления. В отличие от других систем ТНВД имеет температурный датчик топлива в цепи низкого давления. В случае перегрева топлива, ЭБУ увеличивает прокачку топлива через контур слива обратно в бак для охлаждения. В этот момент водитель может чувствовать некоторое падение мощности. ТНВД создает максимальное давление в аккумуляторе до 1800 бар и приводится в движение с помощью цепи. Среднее давление на холостом ходе 220-250 бар.

Система SIEMENS/VDO PCR 2.3 Lion V6 и V8 разработана совместно с компанией FORD. Применяется на автомобилях Ford, Land Rover, Jaguar, Peugeot с объёмом двигателя 2700 см³. Она имеет несколько принципиальных отличий от других систем не только V образным расположением форсунок с двумя рампами-аккумуляторами давления, но и наличием погружного электрического насоса в линии низкого давления и распределителем топлива на корпусе ТНВД с датчиком давления. Погружной насос с электромотором подаёт топливо в ТНВД под давлением от 0,3 до 0,5 бар. Топливный насос высокого давления – плунжерный, радиального типа. Цикловая подача насоса – 0,8 см³, максимальное давление – 1650 бар. Корпус насоса отливается из чугуна, боковые фланцы – из алюминия. Насос приводится от распредвала через зубчатый ремень. После замены ремня при обслуживании нет необходимости синхронизировать насос по углу поворота коленчатого вала. Схема насоса классическая для ТНВД

SIEMENS, он состоит из внутреннего топливоподкачивающего насоса, клапана регулирования объема топлива (VCV), нагнетающих плунжеров (3 шт.) и клапана управления давлением (PCV). Внутренний топливоподкачивающий насос – лопастного типа. 5 лопастей перекачивают топливо к клапану регулирования объема топлива. Клапан регулирования объема топлива представляет собой электрический многопозиционный соленоид, управляемый ЕСМ, и располагается между внутренним топливоподкачивающим насосом и нагнетающими плунжерами. Клапан регулирования объема определяет количество топлива, которое подается к нагнетающим плунжерам. В положении покоя, когда сигнал от ЕСМ не подается, клапан закрыт и топливо не может проходить к нагнетающим плунжерам. Все три нагнетательных плунжера соединены каналами внутри насоса. На выходе из насоса имеется только один выход для трубки высокого давления к двигателю. Клапан регулирования давления представляет собой электрический многопозиционный соленоид, управляемый ЕСМ, и располагается между нагнетательными плунжерами и выходным отверстием высокого давления. Клапан регулирования давления управляет давлением в топливных рампах и управляется ЕСМ. В положении покоя, когда сигнал от ЕСМ не подается, клапан открыт и, следовательно, давление в топливных рампах отсутствует. Топливный насос высокого давления развивает давление 1600 бар и может непродолжительное время выдавать 1650 бар.

Клапан VCV расположен на ТНВД и его конструкция аналогична другим системам SIEMENS. Он регулирует подачу топлива (и, следовательно, количество топлива) от внутреннего топливоподкачивающего насоса к плунжерам ТНВД в зависимости от давления топлива в рампе. Таким образом, становится возможным регулировать подачу ТНВД в зависимости от условий работы двигателя, используя для регулировки контур низкого давления. При этом снижается до минимума количество топлива, возвращаемого в обратный сливной контур, а также снижается потребление мощности насосом ТНВД, что улучшает показатели двигателя. Клапан регулирования объема топлива закрыт, если на него не подается электрическое питание. Клапан PCV также расположен на ТНВД и имеет традиционную конструкцию. Когда напряжение на обмотку не подается, внутренняя пружина удерживает клапан PVC в закрытом состоянии. Когда давление топлива превышает 100 бар, пружина сжимается, открывая клапан, и топливо перетекает в обратный сливной контур. После снижения давления до 100 бар или ниже усилие пружины превышает давление топлива и клапан закрывается. Когда ЭБУ подает напряжение на клапан, клапан удерживается в закрытом положении и давление топлива растет. Клапан регулирует давление топлива на выходе из ТНВД и, следовательно, давление в топливном аккумуляторе. Кроме того, PCV сглаживает скачки давления, которые возникают при работе нагнетающих плунжеров ТНВД и при впрыске топлива.

В системе используются стандартные пьезофорсунки SIEMENS. Новые форсунки не требуют калибровки и могут быть установлены в любой цилиндр. ТПСАТ PCR 2.3 Lion V8 использовалась на автомобилях Range Rover и Range Rover Sport с объемом 3600 см³. Эта конфигурация имеет несколько отличий: более производительный ТНВД (может создавать давление до 1750 бар), новые аккумуляторы, один из которых - с датчиком давления, новые форсунки. На ТНВД отсутствует распределитель топлива. ТНВД имеет два выхода на ТВД для подачи к каждому аккумулятору.

Система SIEMENS/VDO PCR 2.1 разработана совместно компаниями Volkswagen и Continental для применения на двигателях VAG с объемом 1600 см³. ТПСАТ позволяет создавать максимальное давление в аккумуляторе в 1600 бар. Отличительной особенностью является то, что регулятор потока и регулятор давления находятся не на ТНВД, как в классической системе типа SIEMENS/VDO, а разнесены, как и в классических системах типа BOSCH. Датчик контроля потока находится на ТНВД, а регулятор давления находится на топливной рампе и управляет сливом топлива из аккумулятора в контур низкого давления. Поэтому эти две системы можно легко перепутать.

Подача топлива в ТНВД осуществляется с помощью погружного электрического насоса низкого давления, размещенного в топливном баке, через топливный фильтр, а также с помощью вспомогательного подкачивающего насоса, который смонтирован в одном корпусе

с ТНВД. Такая система позволяет обеспечить быструю подкачку топлива в ТНВД сразу после включения ключа зажигания. Насос низкого давления – шестеренчатого типа. Клапан VPV находится после подкачивающего насоса. Высокое давление топлива создаётся с помощью двух плунжеров, которые расположены под углом в 180 градусов к друг другу в вертикальной плоскости. Плунжеры приводятся в действие с помощью приводного вала насоса с эксцентриком.

С одной стороны аккумулятора находится датчик давления, с другой - клапан PCV. В системе SIEMENS/VDO PCR 2.1 используются стандартные пьезофорсунки. Отличие пьезофорсунок SIEMENS/VDO от других в использовании сравнительно небольшого по размерам пьезоэлемента в верхней части форсунки по сравнению с другими производителями. Форсунка способна производить несколько предварительных открытий, основное открытие для подачи топлива в двигатель, а также несколько пост открытий в рамках одного цикла впрыска. Игла и золотник форсунки строго калиброваны. В соответствии с физическими свойствами форсунки ей присваивается шестизначный буквенно-цифровой код (ИС - Injector Individual Correction), который вводится с помощью сканера в память блока управления при замене форсунки для правильной коррекции впрыска ЭБУ. В случае замены ЭБУ необходимо прокодировать новый блок кодами с каждой форсунки, которые нанесены лазерным принтером на пластиковую крышку в верхней части форсунки.

Отличительной особенностью системы на автомобилях Polo после 2010 года является наличие комбинированного клапана в магистрали низкого давления. Он расположен у топливного фильтра, и в его задачи входит нагрев топлива перед подачей в ТНВД. Во время холодного пуска и слива топлива в бак поршень комбинированного клапана закрыт. В комбинированном клапане тёплое топливо из обратной магистрали смешивается с холодным топливом из бака и снова подаётся в двигатель. Подогретое таким образом топливо препятствует отделению парафина и последующему засорению топливного фильтра. С ростом температуры двигателя поднимается и температура топлива в обратной магистрали. Поэтому нагревается поршень с расширяющимся элементом, заполненным воском. Расширяющийся элемент увеличивается и давит поршень вверх, преодолевая усилие пружины. По достижении рабочей температуры комбинированный клапан открывает обратную магистраль в бак. Холодное топливо из бака смешивается с тёплым топливом из обратной магистрали и сливается обратно в бак. Таким образом, исключается возможность нагрева топлива в баке выше предельной температуры.

4.9 ТПСАТ Caterpillar

Американская компания Caterpillar вложила несколько сотен миллионов долларов в комплекс исследований и испытаний, направленных на выполнение таких норм, результатом которого стала технология ACERT (Advanced Combustion Emissions Reduction Technology). Это новая перспективная технология, обеспечивающая снижение токсичности и объемов выброса в атмосферу отработавших газов. Проведенные работы позволили создать технологии унифицированных компоновочных блоков, каждый из которых объединен в общий комплекс. Технология, а скорее система ACERT обеспечивает качественное, точное и эффективное управление процессом сгорания. Двигатели, оснащенные этой системой, соответствуют заданным нормам по токсичности выброса отработавших газов без снижения надежности, ресурса и экономичности расхода топлива. Компания отмечает, что технология ACERT обладает определенной гибкостью и позволяет без существенных изменений быть усовершенствованной для выполнения перспективных требований по снижению уровня токсичности выбросов (53).

Ключевым разработчиком системы ACERT, сотрудникам компании Caterpillar Джиму Веберу (Jim Weber) и Скоту Леману (Scott Leman), Ассоциация владельцев интеллектуальной собственности (Intellectual Property Owners Association) США присудила звание национальных изобретателей 2004 года (54).

«С 2007 г фирма сделала выбор в сторону CR, прекратив разработки по всем остальным типам топливных систем, по которым имела несомненно успешные разработки и полный цикл производства для своих дизелей, а также для Cummins и других фирм. Технология ACERT отличалась расширенным пониманием безопасности и, конечно, новыми техническими решениями.

ТНВД CR ACERT имеет кулачковый привод с увеличенной в 2...4 раза частотой нагнетательных ходов плунжера, регулирование производительности изменением скважности включения электроуправляемого клапана при наполнении плунжерной полости. Толкатель принудительно смазывается. На заднем торце ТНВД - топливоподкачивающий насос. Обычно ТНВД – двухсекционный (есть односекционные версии). Производительность ТНВД подбирается варьированием диаметра и хода плунжера, частотой вращения вала. Головка насоса притягивается к корпусу и уплотняется только по низкому давлению подкачки, что не создает больших проблем и решается применением резинового кольца. Это оказывается возможным за счет расположения плунжера не в отдельной втулке, а в верхней части корпуса. Рассматривая конструкцию ТНВД, можно лишь согласиться с ее рациональностью» (47).

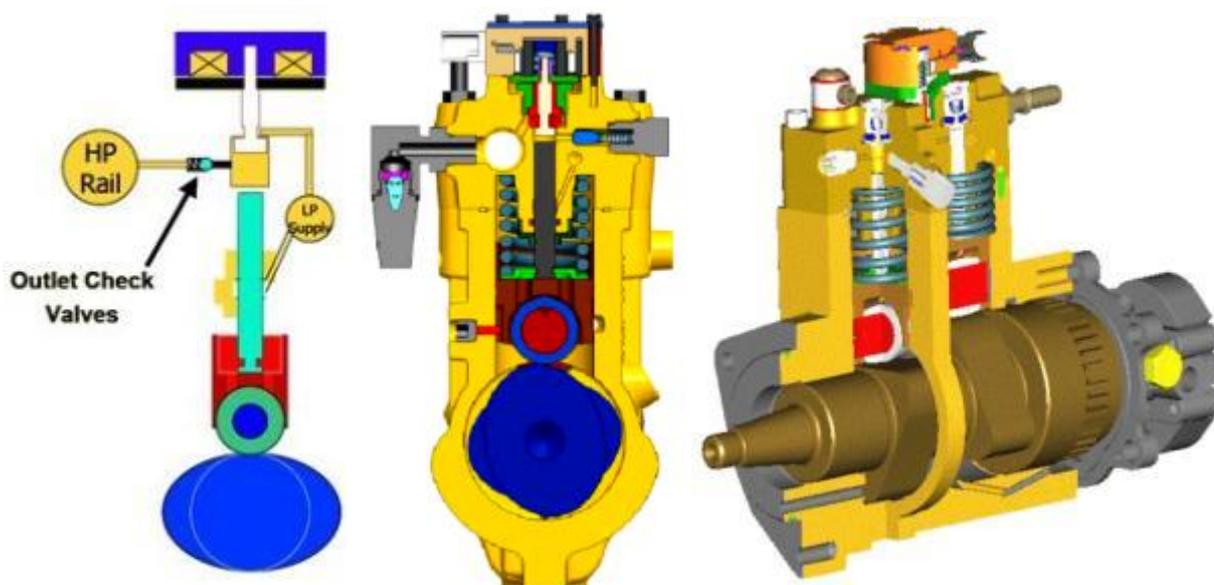


Рис. 4.25 – Схема и разрезы ТНВД CR С6.6 серии ACERT фирмы Caterpillar, (47)

4.10 ТПСАТ HEINZMANN

Германская компания HEINZMANN GmbH & Co. KG успешно занимается созданием ТПСАТ, предлагая, как системные решения, так и проектирование и изготовление отдельных мехатронных компонентов ТПСАТ, заняв свою нишу мирового рынка. Специализировавшаяся ранее на электромеханических устройствах, компания смогла создать серьезный научно-технический задел.

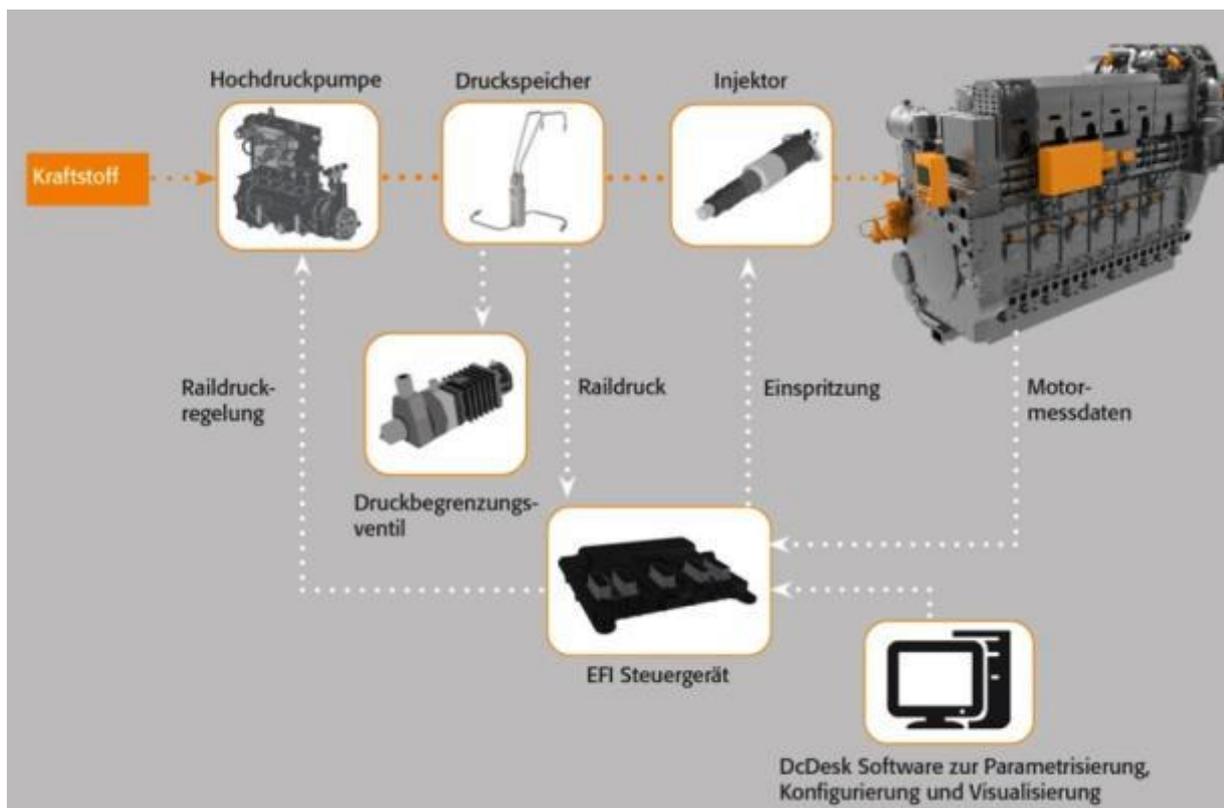


Рис. 4.26 – Схема услуг HEINZMANN GmbH & Co. KG, (66)

Сильной конкурентной стороной компании HEINZMANN GmbH & Co. KG является то, что она в состоянии предложить заказчику комплексное решение: поставить как гидравлические компоненты, так и электромеханические, и электронные, а также ПО. Кроме того, специалисты компании обеспечат аппликацию системы на двигателе и ее настройку.

На рис. 4.26 показана схема предложений компании HEINZMANN GmbH & Co. KG, заимствованная с ее корпоративного сайта.

В настоящее время компания предлагает четыре модификации ТНВД. К интересным особенностям ТНВД можно отнести то, что все они имеют коленчатый вал.

ТНВД HDP-K2 имеют две насосных секции. Диаметр плунжера – 8 мм, ход – 6, 8, 10 и 12 мм. Насосы рассчитаны на частоту вращения до 2400 мин^{-1} и способны создавать давление до 2200 бар.



Рис. 4.27 – Кривошипно-шатунный механизм ТНВД HEINZMANN



Рис. 4.28 – ТНВД HDP-K2



Рис. 4.29 – ТНВД HDP-K3



Рис. 4.30 – ТНВД HDP-K3HFO

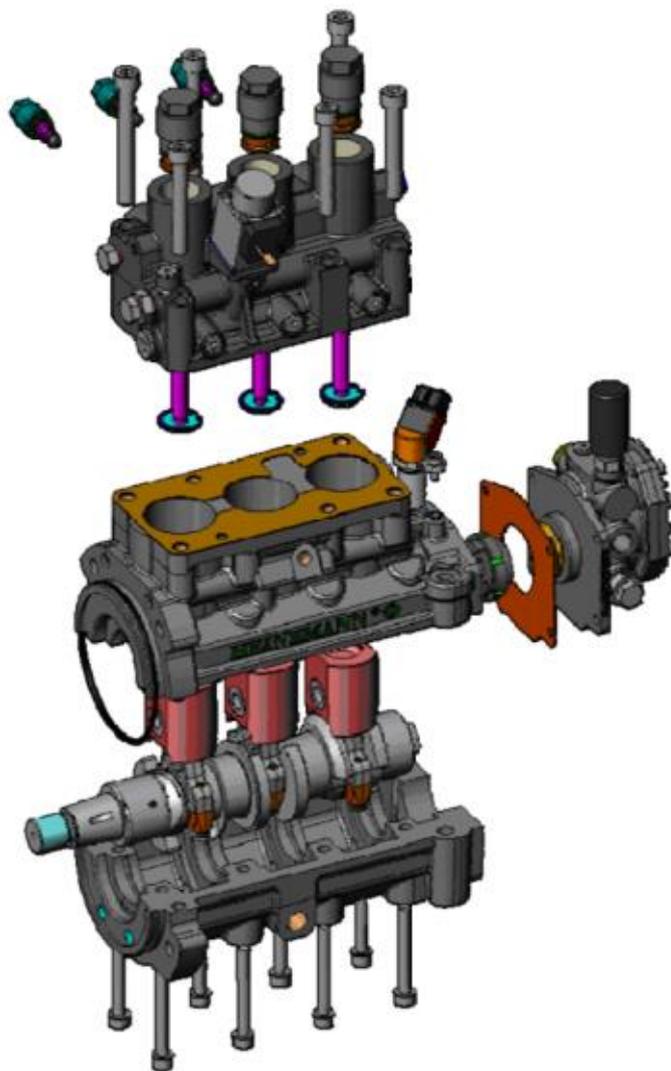


Рис. 4.31 - Конструкция ТНВД HDP-K3, (47)

ТНВД HDP-K3 имеют три насосных секции. Диаметр плунжера – 10, 12 и 14 мм, ход – 12 и 16 мм. Насосы рассчитаны на частоту вращения до 3300 мин^{-1} и способны создавать давление до 2400 бар.

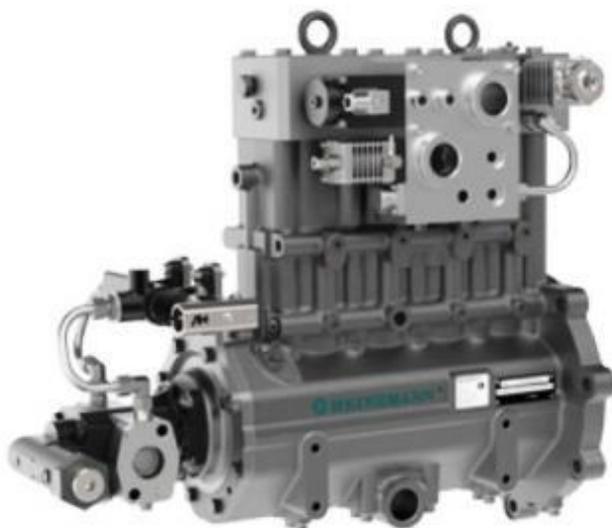


Рис. 4.32 – ТНВД HDP-K4HFO

Модификацией ТНВД НДР-КЗ можно считать насос НДР-КЗНФО, рассчитанный на работу на тяжелом топливе.

Четырехсекционный ТНВД НДР-К4НФО также рассчитан на работу на тяжелом топливе.



Рис. 4.33 – Форсунка ICR-DS-1000

Компания HEINZMANN GmbH & Co. KG предлагает не менее шести моделей электроуправляемых форсунок для дизельных двигателей различной размерности с цикловой подачей от 2 мм³ до 14000 мм³ и давлением впрыска до 2500 бар. На рис. 4.25 показана форсунка ICR-DS-1000 с встроенным аккумулятором и охлаждаемыми электромагнитом и распылителем.

4.11 ТПСАТ в современных судовых двигателях

Автомобильную промышленность негласно принято считать лидером, своего рода, локомотивом прогресса. Но история развития ТПСАТ показывает, что существовали параллельные и даже опережающие «точки роста»: области промышленности, не связанные с автомобилестроением, где происходило активное развитие технологии топливоподающих систем аккумуляторного типа. К таким областям всегда относилось судостроение. О работах компаний Vickers Ltd., Doxford Engines, Atlas Imperial Diesel Engine Co., Sulzer Brothers Ltd. очень кратко упомянуто выше. Примерно с середины прошлого века в работы по созданию ТПСАТ судовых двигателей активно включаются Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (МНН), MTU Friedrichshafen GmbH и Wärtsilä Oyj AbpWartsila. Компания MAN B&W – бывший знаменитый Аугсбургский машиностроительный завод (Maschinenfabrik Augsburg) тоже занимается ТПСАТ.

В 80-х годах прошлого столетия в области высокооборотных, а затем и среднеоборотных дизельных двигателей стали постепенно распространяться электронные системы управления отдельными процессами их функционирования, в первую очередь - процессами топливоподачи (26).

В 90-х годах тенденция перехода на электронное управление стала проявляться и в развитии судовых малооборотных дизелей, но с ориентацией на электронное управление всеми основными процессами функционирования дизеля взамен традиционного механического управления с помощью кулачных распределительных валов. Это стало возможным на базе общего развития электронных систем управления, направленного на полную компьютеризацию на базе совершенствования элементной базы, программного обеспечения и надежности. По

имеющимся сведениям в настоящее время в постройке и в эксплуатации находятся более ста судов с такими двигателями (26).

В настоящее время основные фирмы - производители малооборотных судовых дизелей, которые предлагают на рынке двигатели с электронной системой управления: MAN B&W (двигатели серии ME), Wartsila (двигатели типа Sulzer RT-flex), МНІ - двигатели серии UEC-Eco.

Фирма MTU Detroit Diesel применила систему CR на дизелях типа 2000/4000/8000. Разработка системы топливоподачи CR была выполнена в августе 1997 г. При этом, разработчики исходили из того, что обеспечение необходимых характеристик впрыска топлива в цилиндр двигателя является самым эффективным способом обеспечения требований к экологическим параметрам дизелей.

Первоначальная разработка дизеля MTU 16V4000R41 с системой CR предназначалась для тепловозных дизелей. Система была предназначена для дизелей с цилиндровой мощностью 180 кВт. Сравнительные испытания таких дизелей и двигателей с обычными системами топливоподачи показали, что снижение эмиссии окислов азота составило до 34%, а твердых частиц - до 67% от величин, обычных для штатного дизеля при снижении удельного расхода топлива. В 2000 г система CR применена фирмой MTU на дизелях типа 8000 с цилиндровой мощностью 450 кВт уже в иной комплектации: с аккумулятором на 1800 бар и рядным ТНВД. Вторая модификация ТНВД для дизелей MTU/DDC типа 4000 с CR запущена в 2002 году. Давление в аккумуляторе составило 1400 бар. Одновременно был запущен важный проект по созданию системы HFO-CR, работающей на тяжелом топливе. Эта новая разработка использована и на дизеле Wartsila W32CR цилиндровой мощностью 460 кВт при частоте вращения 750 мин⁻¹. Двигатель установлен на контейнеровозе "Alex Maersk" с дизелем Wartsila W32CR, спущенном на воду в феврале 2003 г. (26).

Упомянутая выше фирма HEINZMANN GmbH & Co. KG предлагает не только разработку ТПСАТ для новых двигателей, но и модернизацию существующих судовых дизелей установкой на них ТПСАТ. HEINZMANN предлагает готовые решения для модернизации под ключ для замены обычных систем впрыска топлива на судовых двигателях средней скорости в диапазоне мощности от 1 МВт до 15 МВт на системы с полностью электронным управлением.

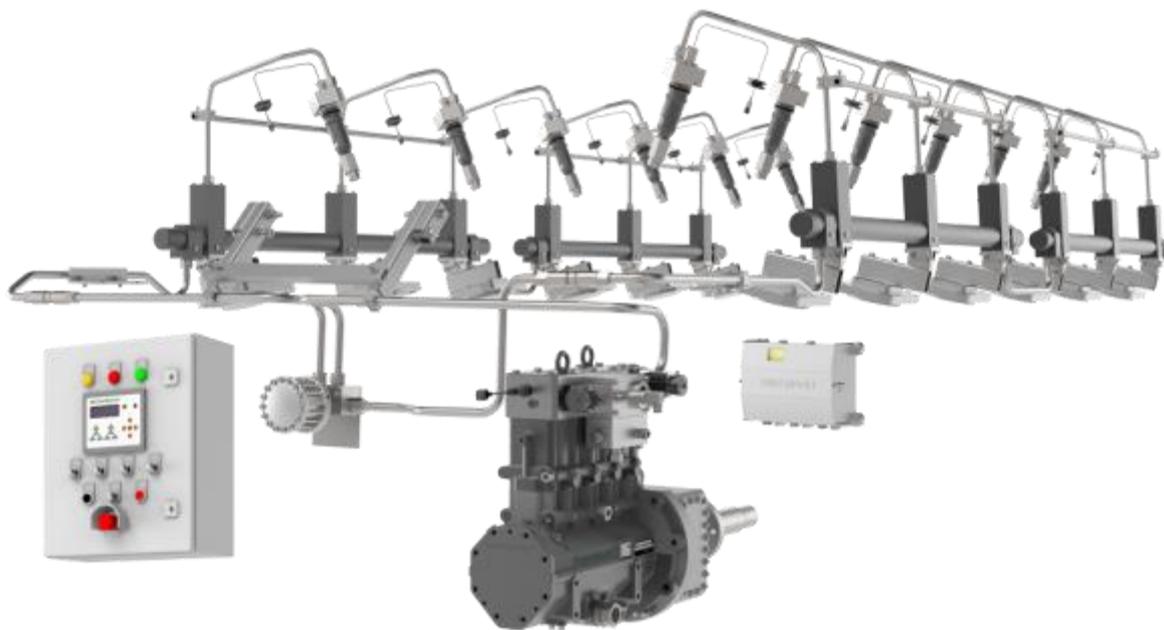


Рис. 4.34 – Схематичное изображение судовой ТПСАТ
(заимствовано из URL : <https://www.heinzmann.com/de/anwendungen/schiffe/retrofit-com-mon-rail> (дата обращения: 09.04.2022)

Контрольные вопросы

1. На каком развернутом двигателе и когда специалистами Коломенского тепловозостроительного завода была испытана ТПСАТ собственной конструкции?
2. Какая принципиальная отличительная особенность ТНВД компании HEINZMANN GmbH & Co. KG?
3. Назовите три компании, разработавших форсунки с внутренними аккумуляторами для ТПСАТ.

5 Российские ТПСАТ

5.1 Коломенский тепловозостроительный завод. Ф.И. Пинский

В литературных источниках не удалось обнаружить упоминаний о работах в СССР по ТПСАТ в первой половине XX века. В период до II Мировой войны топливная аппаратура была одним из наиболее слабых мест отечественного дизелестроения. Это было признано вполне официально и отмечено, в частности, в Трудах первой всесоюзной дизельной конференции (55)⁴⁰. Вероятно, наиболее ярким исключением в этой ситуации были работы С.А. Косберга и Н. П. Сердюковым в ЦИАМ в 1934 г. Перед войной в СССР активно велись работы над созданием собственной топливной аппаратуры для грузовых автомобилей. Но после нескольких неудачных попыток, было решено купить лицензию на отлично зарекомендовавшую себя во время испытаний систему Detroit Diesel серии 3-71 и 4-71 и наладить ее выпуск в Ярославле. Переговоры начались еще 1939 году, но процесс затянулся сначала из-за Финской, а затем и Великой Отечественной войны. В итоге, фактически технология и большая часть оборудования были украдены группой советских специалистов под видом закупки оборудования для ремонта двигателей. В период между 1942 и 1946 годами активные работы по насос-форсункам проводили заводы №77 и №100. В дальнейшем в СССР были разработаны насос-форсунки с механическим приводом и механическим управлением (56). В 1945 году на Ярославский автомобильный завод пришли первая часть оборудования для производства американских моторов серии 3-71 и 4-71. В 1947 году были выпущены первые четырехцилиндровые, двухтактные дизели ЯАЗ-204 с системой питания с насос-форсунками. Этот двигатель, а также сделанный на его базе шестицилиндровый аналог, с некоторыми доработками выпускались до 1992 года, в США прототип выпускали до 1995 года. Однако, все эти работы не привели к созданию ТПСАТ: отчасти потому, что, с одной стороны, такая задача не ставилась, а, с другой стороны, потому, что, как показывал мировой опыт, в отсутствие электронного управления применение ТПСАТ совершенно не оправдано.



Рис. 5.1 – Пинский Феликс Ильич, 12.12.1930-08.08.2004, советский инженер, энтузиаст развития электронных систем управления двигателями внутреннего сгорания

Начало второй половины XX века, с точки зрения развития ТПСАТ в СССР, связано с Коломенским тепловозостроительным заводом. В истории мирового дизелестроения КЗ навсегда вписан, как один из центров развития дизельных двигателей. В 1954 году, после окончания Ленинградского политехнического института по специальности «Автоматика и телемеханика», здесь начинает работать Феликс Ильич Пинский⁴¹. На КЗ он прошел путь от инже-

⁴⁰ - прежде всего, в докладе сотрудника НАТИ Ф.Ф. Давиденко

⁴¹ - фотография и некоторые биографические сведения о Ф.И. Пинском любезно предоставлены ученым секретарем Ученого совета Коломенского института (филиал) Московского политехнического университета М.Ю. Сергомасовым

нера-конструктора до начальника конструкторско-экспериментального бюро электронной аппаратуры дизелей. Наиболее ранний из патентов (авторских свидетельств СССР) Ф.И. Пинского, который удалось обнаружить, относится к 1969 году (51). Иллюстрация конструкции, предложенной Ф.И. Пинским с соавторами в упомянутом патенте, показана на рис. 4.2.

Предложенная Ф.И. Пинским с соавторами форсунка предполагала электромагнитное управление процессом впрыска. Хотя изображение на рис. 5.2 – весьма схематичное, можно увидеть некоторые интересные детали, которые впоследствии будут не раз использоваться в конструкциях различных фирм.

Например, жиклер поз. 6 на подводе в полость над иглой распылителя – полость гидроуправления. В конструкциях насос-форсунок Алтайского завода прецизионных изделий, о которых речь пойдет ниже, сочетание этой полости и жиклера на входе в нее называлась гидрозапором.

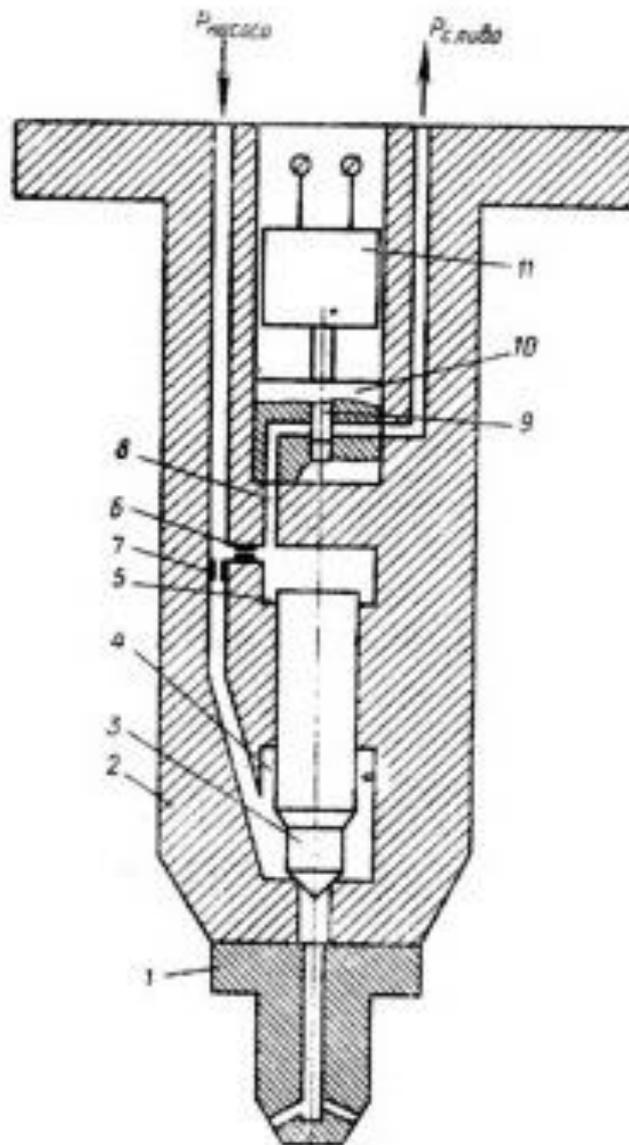


Рис. 5.2 – Электроуправляемая форсунка конструкции Ф.И. Пинского с соавторами

В начале 2000-х годов были проведены многочисленные эксперименты, подтвердившие недостаточность только гидравлического запираия иглы распылителя. Однако, это ни в

к которой не умаляет ценности работы Ф.И. Пинского с соавторами: АЗПИ проводил эксперименты почти через 40 лет после получения упомянутого патента (авторского свидетельства).

Специалисты КЗ плодотворно сотрудничали с Коломенским филиалом Всесоюзного заочного политехнического института.

На рис. 4.4 показано изображение опытной электрогидравлической форсунки КФ ВЗПИ. К числу интересных и прогрессивных решений, относится, в частности, перенос электромагнита (поз. 4) из верхней – «пограничной» части форсунки вниз: подобное решение в дальнейшем будут неоднократно использовать различные разработчики. Видно также, что форсунка спроектирована с использованием патента Ф.И. Пинского с соавторами, упомянутого выше.

Больше тридцати лет Ф.И. Пинский занимался разработкой не только конструкций электроуправляемых компонентов топливной аппаратуры, но и научных основ управления двигателями.

Благодаря усилиям энтузиастов, в том числе Ф.И. Пинского и главного конструктора по машиностроению КЗ Е.А. Никитина, удалось создать сильный коллектив энтузиастов, разрабатывающих вопросы электроуправления топливоподачи.



Рис. 5.3 – Никитин Евгений Александрович, 18.11.1927-28.11.2005, (57)
главный конструктор по машиностроению
Коломенского тепловозостроительного завода

В 1977 году специалистами КЗ совместно с сотрудниками КФ ВЗПИ и ЦНИДИ была разработана опытная ТПСАТ для дизель-генератора на базе двигателя 8ЧН 26/26. Опытные ТПСАТ с импульсным электронным управлением были испытаны на 6 моделях двигателей КЗ (58).

Неотъемлемой частью этих ТПСАТ было разработанное в КФ ВЗПИ электронное устройство регулирования топливоподачи – ЭУРТ. Базовый образец ЭУРТ-8 позволял обеспечивать одиночные и двойные впрыски топлива в заданный момент времени и с заданной величиной цикловой подачи.

В 1984 году кандидатскую диссертацию на тему «Обеспечение качественной подачи топлива в широком диапазоне частот вращения и нагрузок дизеля с помощью электрогидравлического управления впрыском» защитил В.А. Рыжов, работавший впоследствии главным конструктором КЗ по машиностроению.

Электроуправляемые форсунки, разработанные в Коломенском филиале Всесоюзного заочного политехнического института (КФ ВЗПИ) описаны во многих учебниках по топливной аппаратуре, в частности, в (23). На КЗ занимались не только практическими вопросами, но и теорией электроуправляемых форсунок (59).

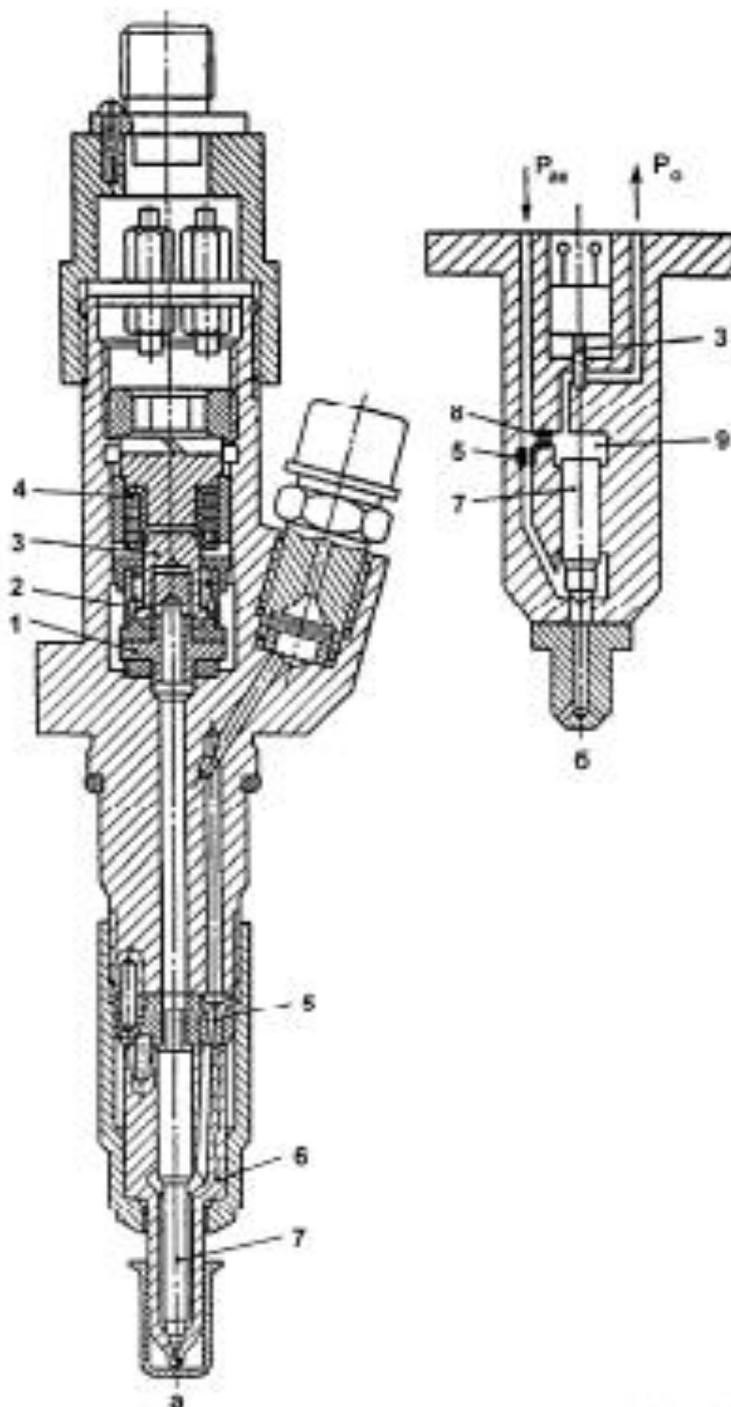


Рис. 5.4 – Электрогидравлическая форсунка КФ ВЗПИ

Успехи специалистов КЗ и КФ ВЗПИ могли иметь огромное практическое значение для развития отечественных ТПСАТ, но, из-за отсутствия государственной поддержки, разработки не были доведены до промышленного внедрения.

Необходимо понимать причины отсутствия в СССР и в России постсоветского периода вплоть до 2013 года собственных ТПСАТ. Несмотря на значительные усилия, предпринимавшиеся в СССР, в том числе – на Коломенском тепловозостроительном заводе и в КФ ВЗПИ, отсутствовали промышленно выпускаемые компоненты систем управления: быстродействующие электромагниты, электронные блоки управления, датчики высокого давления топлива. Причина же отсутствия электронных компонентов заключается в соответствующей государственной технической политике СССР. Отсутствие государственной поддержки свело на нет инициативные разработки КЗ и КФ ВЗПИ. Вместо создания производства нового технологического уровня было обеспечено не только отставание от мирового уровня, но и дополнительные проблемы с решением текущих задач. Подтверждением этого является история с созданием и доводкой системы трехфазного впрыска топлива в двигателях Коломенского тепловозостроительного завода. Если бы на тот момент специалисты завода могли установить необходимые компоненты электроуправляемой ТПСАТ, возможно, многих технологических проблемы удалось бы избежать. Образцы, изготовленные на Коломенском заводе, опережали время и возможности производства в СССР и потому остались опытными (60). По свидетельству (27), «электронно-управляемые аккумуляторные топливные системы дизелей в документах для служебного пользования фирмы R. Bosch до 1988 года имели обозначение «русские топливные системы», так как описание таких систем, разработанных в Коломне, существовало только на русском языке».

5.2 Работы МГТУ им. Н.Э. Баумана

Описания топливоподающих систем аккумуляторного типа, анализ их особенностей, с точки зрения применения на двигателях различного назначения, конструкции известных систем приводились еще в советских монографиях по двигателям внутреннего сгорания, в том числе, в классическом, во много не потерявшем актуальности до сих пор, учебнике (40). В 1985 году, когда из печати вышел упомянутый учебник, термин Common Rail не был распространен так, как в настоящее время. Авторский коллектив учебника – сотрудники МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Еще в 80-годах были созданы в содружестве КФ ВЗПИ, КТЗ и МВТУ аккумуляторные системы с электронным управлением (С. Г. Роганов, Ф. И. Пинский, В. А. Рыжов, работавший в дальнейшем главным конструктором КЗ). Все основные решения, используемые ныне в системах Common Rail, тогда уже нашли применение и, в частности, обеспечивали высокие показатели дизелей типа Д49. Уместно сказать, что мировые фирмы в то время шли иным путем, оказавшимся неперспективным.

В дальнейшем работники кафедры Э2 «Комбинированные двигатели и альтернативные энергоустановки» МГТУ им. Н.Э. Баумана неоднократно обращались к теме ТПСАТ. Выше упоминались книги Л.В. Грехова по топливной аппаратуре. В период, когда интернет еще только начинал свое широкое распространение по просторам России, эти книги были настольными справочниками для заводских инженеров. Они не потеряли своей значимости и до сих пор.

В лаборатории топливных систем кафедры в настоящее время ведутся работы по следующим направлениям:

- математическое моделирование топливоподдачи и оптимизация топливных систем;
- экспериментальное изучение физических явлений в процессе топливоподдачи;
- создание новейших типов систем и работа по заказам промышленности;
- применение альтернативных топлив;
- проектирование, исследования, диагностирование Common Rail;
- создание топливных систем с сверхвысокими давлениями впрыскивания (200...400 МПа);
- проектирование быстродействующих электроприводов с временем срабатывания 100 мкс;

газовые дозаторы (форсунки).

Интересно, что на сайте лаборатории, как символ основного направления ее работ, размещена следующая картинка (рис. 5.5).

Надо сказать, что, в отличие от многих разработок учебных заведений, работы кафедры Э2 близки к производству.

На кафедре был спроектирован опытный ТНВД для дизеля ЗМЗ-5148, рассчитанный на давления подачи 200 МПа (рис. 5.6). Конструкторская документация на него легла в основу будущих разработок Алтайского завода прецизионных изделий. Пусть не все решения были использованы, но свою немалую роль эта разработка сыграла.

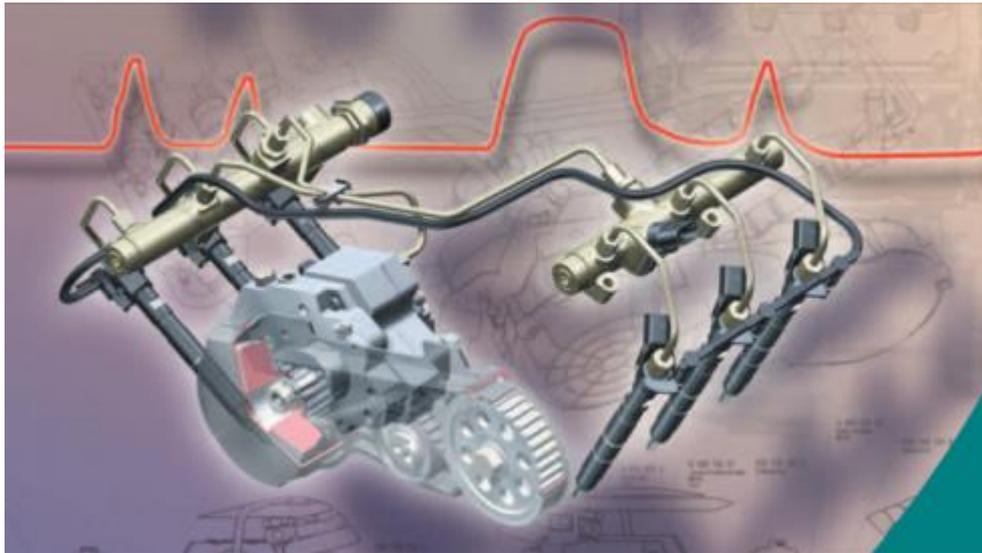


Рис. 5.5 – Заставка на сайте лаборатории топливных систем кафедры Э2 МГТУ им. Н.Э. Баумана

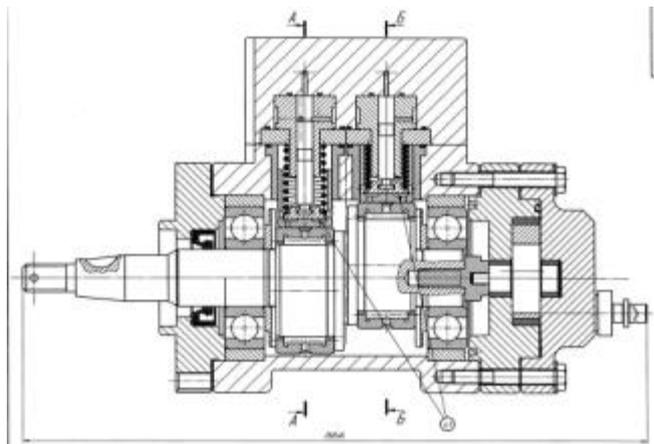


Рис. 5.6 – Опытный ТНВД CR МГТУ им. Н.Э. Баумана

Безусловной заслугой специалистов МГТУ им. Н.Э. Баумана, равно, как и КФ ВЗПИ, РУДН, НАМИ и других ВУЗов и отраслевых институтов, в первую очередь является большая

научно-методическая работа по созданию и расширению теоретической базы, численному моделированию процессов в ТПСАТ, анализу путей их развития. В современных условиях, в отсутствии или крайней слабости научных кадров непосредственно в промышленности, эта деятельность является почти единственной альтернативе слепому копированию иностранных образцов без должной оценки их перспективности.

5.3 Начало работ по созданию серийных ТПСАТ. ТПСАТ с насос-форсунками. ППП «Дизельавтоматика». HEINZMANN GmbH & Co. KG

Уточнение «серийные» сделано не случайно. Выше упоминались работы советских специалистов, в частности, КЗ и КФ ВЗПИ, по созданию и исследованию ТПСАТ. Как было сказано, к сожалению, до серийного производства разработки не дошли. Анализ причин этого не входит в круг вопросов, которым посвящено настоящая работа. С 1980-х годов проблематикой ТПСАТ активно занимались в МГТУ им. Н.Э. Баумана, было опубликовано и издано немало работ. Прежде всего, тут необходимо упомянуть монографии Л.В. Грехова (23), (61), (62) ставшие впоследствии буквально настольными пособиями для российских специалистов-производственников. К началу 2000-х годов в России был накоплен значительный теоретический задел, однако производство отсутствовало.

В 2004 году руководитель и собственник Алтайского завода прецизионных изделий, В.А. Герман, поставил задачу техническому руководству завода по разработке топливной аппаратуры для двигателей, обеспечивающих выполнение экологических требований уровня EURO-IV⁴². Надо сказать, что одновременно с этим АЗПИ только начинал осваивать серийное производство форсунок для двигателей «КАМАЗ» уровня EURO-III. Эта работа имела огромное практическое значение и была, своего рода, прорывом, как в конструкции, так и в технологии производства. В то время в России еще не были введены нормы EURO-III. Руководство КАМАЗа стремилось сыграть на опережение.



Рис. 5.7 – Герман Виктор Адольфович, основатель и руководитель ОООУК «АЗПИ», инициатор создания первых российских серийных ТПСАТ

⁴² - имеет смысл уточнить, что В.А. Герман - не случайный человек в топливной аппаратуре, и определение «собственник» в отношении него совершенно не соответствует расхожему образу «новых русских», ставших владельцами предприятий в смутные 90-е годы. Пройдя все ступени заводской лестницы, от сборщика на конвейере до начальника цеха топливной аппаратуры, Герман, с середины 1980-х годов руководил цехом топливной аппаратуры Алтайского моторного завода, а в 1991 году организовал на базе цеха самостоятельное предприятие – Алтайский завод прецизионных изделий (АЗПИ). В 1994 году АЗПИ начал экспортировать топливную аппаратуру собственного производства в США по заказам фирмы AMBAC Int. В 2016 завод получил статус привилегированного поставщика группы компаний Bosch.

Первоначально в двигателях КАМАЗ-740 с традиционной топливной системой были применены форсунки фирмы Bosch. На первом этапе АЗПИ достиг соглашения о частичном импортозамещении, изготавливая часть деталей форсунок, но уже вскоре, в 2005 году, на серийное производство была поставлена форсунка «216-1112010» с малогабаритным распылителем, позволившая полностью заменить иностранную форсунку.

В отделе главного конструктора АЗПИ были проанализированы несколько возможных вариантов. Для проектирования был выбран вариант ТПСАТ с насос-форсунками. Система получила рабочее наименование «СЭМА» - «Система электромагнитная аккумуляторная». К моменту начала разработки в наличии были только конструкция и технология производства малогабаритного распылителя, который АЗПИ выпускал уже около 10 лет. Ни системы электронного управления, ни производственного опыта проектирования и изготовления компонентов ТПСАТ у завода не было. Очень важно, что безусловной целью разработок было получение серийно ориентированных конструкций с выходом в кратчайшие сроки на серийное производство.

Насос-форсунки предполагали комплектовать электромагнитными актуаторами и гидравлически разгруженными клапанами. Первоначально планировали устанавливать электромагнит российского производства. Это было, вероятно, первой попыткой создания производственной кооперации по серийному выпуску ТПСАТ. Первым партнером и поставщиком⁴³ АЗПИ стало саратовское предприятие «Дизельавтоматика».



Рис. 5.8 – Фурман Виктор Владимирович, доктор технических наук, генеральный директор. ООО «ППП «Дизельавтоматика»

Сотрудничество с «Дизельавтоматикой» и лично с В.В. Фурманом было очень плодотворным для специалистов АЗПИ. И хотя, в конечном итоге, от электромагнитов «Дизельавтоматики» пришлось отказаться, был получен полезный опыт. Кроме того, личность самого Виктора Владимировича Фурмана, его широкий кругозор, фундаментальные знания в области не только электротехники, но дизелестроения в целом, постоянное стремление узнавать новое и неизменная доброжелательность в общении всегда будут служить образцом для инженеров, общавшихся с ним.

ТПСАТ, даже на стадии НИОКР, кроме электромагнитов для насос-форсунок требовала ЭБУ, датчика давления топлива, комплекта жгутов и программного обеспечения. Нужно учесть, что ЭБУ и ПО необходимо было иметь в двух вариантах: во-первых, для комплектации ТПСАТ на двигателе и, во-вторых, для комплектации испытательного стенда. Электромагнит для насос-форсунки должен был иметь особые технические характеристики – сочетание тягового усилия с быстродействием.

В числе причин, по которым от российского электромагнита в тот период пришлось отказаться, было то, что имевшийся на тот момент электромагнит ППП «Дизельавтоматики» не удовлетворял заданным требованиям. ЭБУ, подходящего для двигателя типа КАМАЗ-740 «Дизельавтоматика» не выпускала. ПО и датчика давления топлива тоже не было.

⁴³ - в части электромеханических компонентов ТПСАТ

АЗПИ обратился к германской компании HEINZMANN GmbH & Co. KG, которая к тому времени уже занималась ТПСАТ и, кроме того, имела большой опыт производства электромеханических и электронных компонентов. В 2005 году в Барнаул приехала делегация технических специалистов компании.

В течение двух лет специалистами отдела главного конструктора АЗПИ были спроектированы и изготовлены шесть вариантов насос-форсунок с различными коэффициентами мультипликации для двигателей КАМАЗ-740. Насос-форсунки комплектовались различными моделями электромагнитов производства HEINZMANN GmbH & Co. KG. Иностранному партнер предоставил также ЭБУ для комплектации безмоторного испытательного стенда и для ТПСАТ, предназначенной для моторных испытаний.

В конце 2006 года на испытательной станции ОАО ХК «Барнаултрансмаш» прошли моторные испытания ТПСАТ АЗПИ в составе двигателя КАМАЗ-740. В испытаниях принимали участие специалисты ОГК АЗПИ, HEINZMANN GmbH & Co. KG, НТЦ КАМАЗ, ОАО ХК «Барнаултрансмаш». ТПСАТ включала два аккумулятора среднего давления, два коллектора низкого давления, насос среднего давления, восемь насос-форсунок, ЭБУ, необходимые датчики и коммутирующие жгуты.

Со стороны АЗПИ в испытаниях принимали участие главный конструктор О.В. Дробышев и инженеры Е.Л. Арчибасов, В.Д. Лейтес и В.О. Свещинский. Со стороны фирмы HEINZMANN GmbH & Co. KG – инженер А. Левченко, со стороны НТЦ КАМАЗ - заместитель главного конструктора по двигателям Р.Х. Хафизов и начальник отдела В.А. Зеленин, со стороны ОАО ХК «Барнаултрансмаш» - начальник лаборатории Л.П. Васильев.



Рис. 5.9 – Совещание у главного конструктора АЗПИ О.В. Дробышева (слева) в присутствии В.А. Германа (в центре) и технического директора HEINZMANN GmbH & Co. KG Александра Яуфманна (крайний справа). На столе – иллюстративный плакат с первым вариантом насос-форсунки АЗПИ (фото из архива автора)

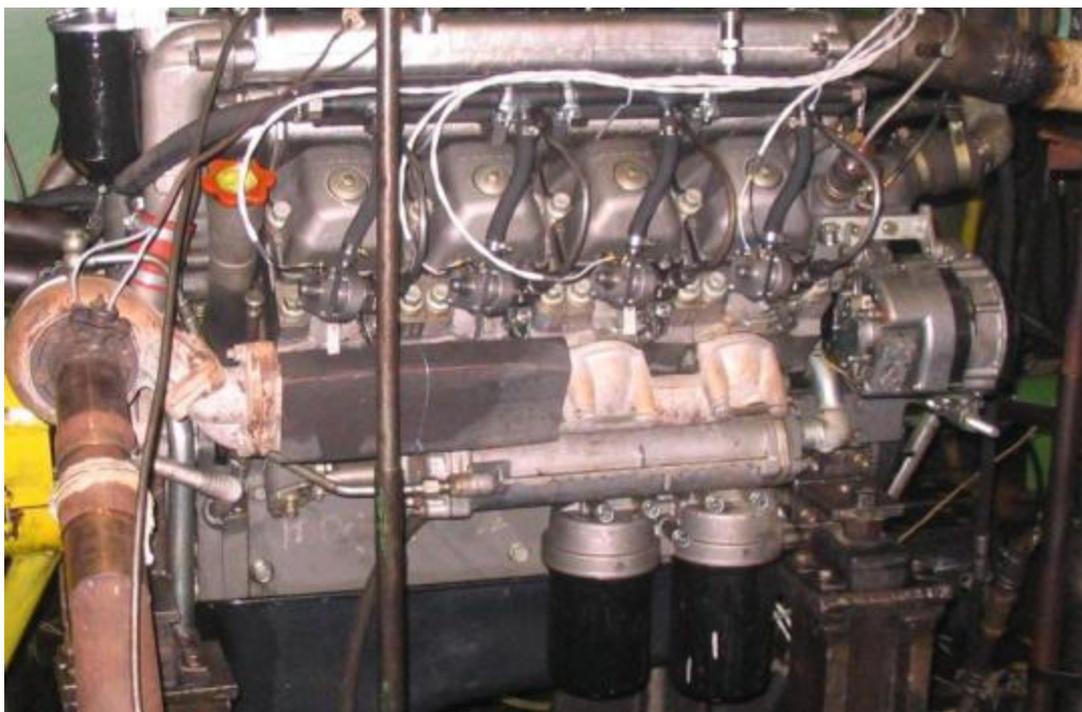


Рис. 5.10 – двигатель КАМАЗ-740 с установленной ТПСАТ АЗПИ на моторном стенде ОАО ХК «Барнаултрансмаш», декабрь 2006 г.



Рис. 5.11 – Заместитель главного конструктор КАМАЗ по двигателям Р.Х. Хафизов перед началом моторных испытаний ТПСАТ АЗПИ

Несмотря на положительные результаты испытаний и удовлетворенность заказчика, в данном случае – НТЦ КАМАЗ, руководством АЗПИ было принято непростое решение об изменении направления работ на ТПСАТ с форсунками без усилителей давления. ТПСАТ с насос-форсунками оказалась технологически чрезмерно сложной для имевшегося у предприятия на тот момент оборудования. В течение последующих полутора лет конструкторская служба АЗПИ не оставляла попытки повысить технологичность насос-форсунок, однако радикально изменить ситуацию не удалось.

Основные варианты насос-форсунок, созданных АЗПИ в период 2004-2008 годов, показаны на рис. 5.10. На конструктивные решения, предложенные в процессе разработки ООО УК «АЗПИ» было получено 4 патента на изобретения.

На решение руководства АЗПИ оказала влияние необходимость сохранения взаимозаменяемости с ТПСАТ иностранного производства: одним из основных требований заказчика было обеспечение возможности замены как системы в целом, так и ее основных компонентов при переходе с отечественных на импортные комплектующие. В этот период на двигатели КАМАЗ активно начали устанавливать ТПСАТ Bosch, и АЗПИ, фактически, был вынужден изготавливать систему, максимально повторяющую иностранный аналог по габаритным и присоединительным размерам.



Рис. 5.12 – Насос-форсунки АЗПИ. Крайняя справа – первый вариант с электромагнитов ППП «Дизельавтоматика» (система «СЭМА»), в центре – вариант, прошедший моторные испытания, крайняя слева – последний вариант («7407»)

5.4 Переход на «классический Common Rail». Создание производственной кооперации

Необходимо отметить, что 100%-го копирования иностранных агрегатов не было. АЗПИ продолжал параллельные разработки ТПСАТ для других двигателей, перенося удачные решения из проекта в проект. Большая заслуга в создании отечественных ТПСАТ по праву принадлежит заместителю главного конструктора АЗПИ Г.С. Шаталову. Геннадий Степанович несколько десятков лет отработал в секторе топливной аппаратуры Алтайского моторного завода и был приглашен В.А. Германом на АЗПИ. Под его руководством были созданы опытные образцы ТПСАТ с насос-форсунками, накоплен большой экспериментальный материал.



Рис. 5.13 – Шаталов Геннадий Степанович,
к.т.н., заместитель главного конструктора ОГК АЗПИ

В 2008-2009 годах АЗПИ успешно реализовал проект ТПСАТ для судового двигателя ОАО «ЗВЕЗДА». Для ТПСАТ двигателя «ЗВЕЗДА» были разработаны компоненты оригинальной конструкции. Впоследствии двигатель с ТПСАТ АЗПИ успешно прошел сертификационные испытания по нормам ИМО. Дальнейшее сотрудничество с ОАО «ЗВЕЗДА» в плане развития серийного производства систем не сложилось исключительно в силу экономической и организационной ситуации: в ОАО «ЗВЕЗДА» начались реформы, носившие разрушительный характер так, что создание новой техники было отложено на неопределенный срок. В 2015 году руководство ПАО «ЗВЕЗДА» вернулось к идее применения ТПСАТ на своих двигателях. Были начаты совместные проработки технического задания, но работа вновь прервалась по той же причине, что и в первый раз.

В ТПСАТ для двигателя ОАО «ЗВЕЗДА» АЗПИ применил электромагнит фирмы HEINZMANN. В форсунках этой ТПСАТ конструкторы АЗПИ впервые разместили электромагнит в нижней части корпуса. Другой интересной особенностью форсунок ТПСАТ АЗПИ для двигателя «ЗВЕЗДА» стал встроенный в корпус форсунки аккумулятор. ТПСАТ имела четыре внешних аккумулятора, один аккумулятор-распределитель плюс аккумуляторы, встроенные в корпуса форсунок. До настоящего времени эта система остается АЗПИ самой большой, по количеству внешних аккумуляторов⁴⁴.

Важным компонентом ТПСАТ является датчик высокого давления топлива. В отсутствие отечественных датчиков специалисты АЗПИ были вынуждены использовать датчики фирм Trafag и Bosch.

Работа над ТПСАТ для ОАО «ЗВЕЗДА» существенно расширила представления специалистов АЗПИ об аккумуляторных системах топливоподачи. Большую роль в успешном завершении проекта сыграл д.т.н., профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана Л.В. Грехов. Он был не только научным консультантом конструкторов АЗПИ, но и выполнил большую часть расчетных исследований. Даже сам совместный проект «АЗПИ-ЗВЕЗДА» в большой мере – инициатива и заслуга Л.В. Грехова. Сотрудничество с Леонидом Вадимовичем было очень полезным для специалистов завода.

⁴⁴ - более подробные описания и изображения компонентов ТПСАТ не приведены в настоящем пособии по той причине, что относятся к коммерческой тайне и, в соответствии с соглашением о конфиденциальности, не подлежат разглашению третьей стороне. Это же относится к ТПСАТ, разработанным и изготовленным АЗПИ для двигателей ООО «ЧТЗ-Уралтрак».



Рис. 5.14 – Грехов Леонид Вадимович, заслуженный деятель науки и техники, почетный деятель науки и техники г. Москвы, доктор технических наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана

Параллельно с проведением собственных НИОКР руководство АЗПИ прилагало большие усилия к созданию производственной кооперации. Уместно может быть сравнение с работами Коломенского завода: в 1960-1980 годах в СССР существовала обширная и активно работающая система отраслевых и академических институтов. Специалисты-производители могли хотя бы теоретически рассчитывать на консультативную помощь, выполнение исследований методами не только численных, но и физических экспериментов. При этом, в силу жесткого централизованного и не всегда удачного планирования, создание новых производств было ограничено. Как указывалось выше, отсутствие государственной заинтересованности, неверная оценка ситуации Госпланом СССР привели к отсутствию государственного заказа на ТПСАТ. Это стало основной причиной провала работ КЗ.

В начале 2000-х годов ситуация в России изменилась радикально. В ходе политико-экономических реформ, начиная с «перестройки», объявленной в 1985 году, система институтов была почти ликвидирована. Часть отраслевых научно-исследовательских институтов, в частности – ЦНИТА и НИКТИД, фактически, ликвидированы. Промышленные предприятия, большей частью приватизированные, остались без «окормления» научными учреждениями, что способствовало их быстрой деградации. В этом отношении Алтайский завод прецизионных изделий показателен, как пример обратного: благодаря личной инициативе В.А. Германа, специалисты завода, почти с момента его основания, имели хорошие личные и деловые отношения с ведущими учеными страны, представителями научных и учебных центров, прежде всего: МГТУ им. Н.Э. Баумана, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, ФГУП ГНЦ НАМИ, МАДИ, ЮУрГУ и др.

Правильно оценив ситуацию, руководство АЗПИ взяло курс на привлечение к производству ТПСАТ специализированных предприятий. Так, в 2007 году было начато сотрудничество с крупным разработчиком аппаратно-программного обеспечения для ДВС компанией АБИТ. На протяжении всех последующих лет руководитель ООО «АБИТ» Ю.Б. Прокопенко является одной из ключевых фигур в разработке электроуправляемых ТПСАТ на постсоветском пространстве. Обладая широчайшим кругозором, Юрий Борисович работает на стыке нескольких отраслей науки и техники и является экспертом во всем, что касается систем управления ДВС. То, что сферы деятельности Ю.Б. Прокопенко и АЗПИ пересеклись, можно понимать, как закономерное явление, но, безусловно, нужно считать удачей для АЗПИ.

В компании АБИТ был разработан первый в России ЭБУ для дизельных двигателей, оснащенных с ТПСАТ. Позднее комплект документации на ЭБУ был передан на Старооскольский завод автотракторного электрооборудования. Параллельно конструкторы АЗПИ и СО-АТЭ согласовали технические требования к быстродействующему электромагниту управления топливной форсункой. На Ярославском заводе дизельной аппаратуры был разработан ТНВД для будущей ТПСАТ. В течение нескольких лет, по инициативе и при больших усилиях со стороны В.А. Германа, была намечена и, практически, создана производственная кооперация для серийного выпуска первых отечественных ТПСАТ.

Специалисты АЗПИ, бывшие свидетелями и отчасти участниками этого процесса, не без оснований могут сравнить выполненную работу с деятельностью С.П. Королева. Существует отличие, о котором нужно помнить, не отрицая заслуг Сергея Павловича: за спиной Королева стоял промышленный отдел ЦК КПСС и всесильное государство. За спиной у В.А. Германа были подчиненные, которые далеко не всегда понимали и соглашались с его решениями. И все же, благодаря его энергии, задача, решение которой в советское время руководству КЗ и КФ ВЗПИ найти не удалось, была почти решена.

Слово «почти» требует уточнения. Работы АЗПИ по созданию ТПСАТ шли в трех основных направлениях, по числу первоочередных заказчиков: для ПАО «КАМАЗ», для ПАО «Автодизель» и для ОАО УК «ММЗ» (Республика Беларусь). В силу организационных причин, первой «выстрелила» форсунка для ПАО «Автодизель». Но, в силу тех же причин, аккумуляторы и ТВД двигателей ЯМЗ-6565 остались тогда и остаются до сих пор иностранного производства.

В 2013 году в России произошло событие, которое еще войдет в учебники по истории техники: впервые на конвейер моторного производства ПАО «Автодизель» были отгружены электроуправляемые форсунки производства ООО УК «АЗПИ» и ТНВД производства ОАО «ЯЗДА». Речь шла не об опытных образцах - о серийной продукции.

АЗПИ продолжил расширение существующей кооперации, вовлекая в свою «орбиту» новых партнеров. В 2016 году таким партнером стал Первоуральский новотрубный завод: для ТВД, применяемых в ТПСАТ, требовался трубный прокат с другими механическими свойствами. В 2019 тесные деловые и дружеские отношения связали АЗПИ с российским производителем датчиков высокого давления, компанией НПК «ВИП» (г. Екатеринбург).

С 2008 года АЗПИ прорабатывал оптимальный вариант ТПСАТ для двигателей специального назначения производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак». Работе предшествовали консультации и совещания, в том числе в НИИД и ГСКБД «Трансдизель». В 2015 году АЗПИ начал работу сразу по нескольким проектам для ООО «ЧТЗ-Уралтрак». ТПСАТ, разработанные для разных двигателей, имели существенные различия по конструкции основных компонентов. По требованиям заказчика было необходимо обеспечить полное импортозамещение. Важной особенностью стало применение оригинальных аккумуляторов, электромагнитов собственного производства и электронного блока производства ООО «АБИТ». Двигатели с ТПСАТ АЗПИ успешно прошли стендовые испытания, но, по организационным причинам, связанным с ООО «ЧТЗ-Уралтрак», работы были свернуты.

В период с 2013 по 2016 годы руководству АЗПИ удалось значительно обновить станочный парк. В результате этого в 2017 году начались серийные поставки комплектных ТПСАТ на конвейер ПАО «КАМАЗ». Производственная кооперация, созданная благодаря почти исключительно В.А. Герману, начала работать.

За период с 2016 по 2021 годы специалистами АЗПИ было получено свыше 50 патентов на конструктивные и технологические решения, касающиеся ТПСАТ.

5.5 Перспективы развития отечественных ТПСАТ дизельных двигателей

Своеобразие российской промышленности проявляется, в частности, в том, что прогнозы развития однотипных технических систем в России и за рубежом могут сильно различаться.

Говорить о перспективах отечественных ТПСАТ сегодня и в среднесрочной перспективе значит говорить о развитии ТНВД производства ОАО «ЯЗДА», электроуправляемых форсунок, ТНВД, аккумуляторов, топливопроводов производства ООО УК «АЗПИ», ЭБУ производства ЗАО «СОАТЭ» и датчиков давления топлива производства НПК «ВИП». Это – ключевые и единственные игроки российского промышленного рынка ТПСАТ. Немногочисленные российские моторные заводы, пережившие тридцатилетний период разрушения в ходе экономических реформ, не в состоянии заниматься созданием аккумуляторных систем и обречены оставаться только потребителями ТА.

Разработки ТПСАТ в России происходят в обстановке, гораздо более жесткой и неблагоприятной, чем обстановка общемировая. Кроме тяжелых экономических реалий, огромную роль играет деформированная система высшего и среднего профессионального образования, недостаток отраслевых и академических научных институтов, связанная с этим слабая связь производства с наукой. Странной и неоправданной выглядит конкурентная борьба за потребителя между немногочисленными компаниями, задействованными в создании ТПСАТ, борьба, отчасти напоминающая взаимоотношения между удельными князьями времен Киевской Руси перед нашествием татаро-монголов. Более логичным было бы как можно более оперативное достижение четкой и соблюдаемой всеми участниками договоренности о разделе сфер деятельности и совместной конкурентной борьбе с иностранными поставщиками, в первую очередь, компаниями R. Bosch, DENSO Corp., DELPHI, китайскими поставщиками.

Производственные компании скупко публикуют сведения о своей деятельности, объясняя это необходимостью соблюдения коммерческой тайны. Подавляющее большинство публикаций является, в лучшем случае, либо изложением результатов моделирования процессов в ТПСАТ, либо попытками аналитических обзоров иностранной техники. Составить подобный обзор российского сегмента, практически, невозможно. Единственным более-менее репрезентативным вариантом является использование патентной информации, создание патентных ландшафтов. Однако здесь существует опасность неверных выводов, что связано, в том числе, с так называемым патентным троллингом.

Судить о перспективах можно лишь, в общем, ориентируясь на изменчивую внешнюю обстановку.

С 1 января 2016 года в России действует экологический стандарт «EURO-V». Выполнение дизелем требований этого стандарта в настоящее время возможно только при использовании ТПСАТ в сочетании с комплексом других мероприятий (например, рециркуляция отработавших газов, впрыск мочевины и т.д.). Объяснение этому обстоятельству заключается, во-первых, в высоком давлении впрыска и, во-вторых, в высокой управляемости законом впрыска – его адаптивности под режимы работы двигателя. Механические системы топливоподачи такими характеристиками не обладают.

Логично, если прогноз развития ТПСАТ содержал бы в качестве стратегических целевых показателей степень управляемости движением иглы распылителя. Интересным вопросом является определение предела повышения давления. Номинальное давление впрыска в серийных ТПСАТ двигателей ЯМЗ-6565 и КАМАЗ-740 составляет 1600 кг/см². На форсунках следующего поколения получено 1800 кг/см². Порог 2000 кг/см² для серийной продукции может быть достигнут в ближайшие 3-5 лет. Это потребует совместного решения сразу нескольких проблем, как конструкторских, так и технологических, в числе которых герметичность форсунок по стыкам, надежность ТНВД и ТВД⁴⁵.

Предел в отношении степени управляемости, вероятно, заключается в получении временного промежутка между отдельными впрысками, равного длительности развития топливной струи от крайнего сечения соплового отверстия до зоны испарения и воспламенения. То

⁴⁵ - при кажущейся (дилетантам) простоте ТВД технология их производства представляет комплекс проблем, который, в силу специфики отечественной промышленности, порой кажется почти неразрешимым. Одной из серьезнейших проблем, препятствующих широкому применению стального трубного проката отечественного производства, является катастрофический износ оборудования трубопрокатных заводов. В первую очередь, речь идет о специальных печах, в которых проходит промежуточные термообработки изготавливаемая труба. Термообработка должна выполняться в защитной атмосфере, но печи, длина которых составляет десятки метров, обеспечить необходимую атмосферу не могут. Разгерметизация внутреннего пространства печи приводит к появлению металлургических дефектов, в частности, к обезуглероживанию поверхностных слоев трубы. Это может стать причиной разрушения ТВД в эксплуатации. Очевидно, что ТПСАТ требует более жесткого соблюдения технологии даже на уровне производства проката, в том числе трубного.

есть, фактически, речь может идти о почти непрерывном впрыске при переменном управляемом положении иглы распылителя. Семи и даже пяти впрысков современные российские форсунки еще не обеспечивают, но три впрыска на опытных образцах получить порой удается. Применение пьезоактуаторов на отечественных форсунках до сих пор не практиковалось и в ближайшей перспективе маловероятно.

Строить прогнозы развития систем на основе оценок потребителей не приходится: отчасти из-за малого числа потребителей, отчасти из-за слишком изменчивой внешней обстановки. Самый общий набросок ситуации выглядит следующим образом.

Применение дизелей с ТПСАТ в двигателях специального назначения остается сложной и спорной проблемой.

Применение на бронетехнике до сих пор остается в виде проектов.

Применение в объектах авиатехники не вышло за пределы ОКР.

Использование аккумуляторных систем на кораблях ВМФ не имеет однозначных оценок. Несмотря на то, что ТПСАТ «обеспечивает ряд преимуществ: экономичность, высокий КПД, экологичность, уменьшение массогабаритных характеристик ... эксплуатация агрегатов с Common Rail отличается сложностью. Диагностика и ремонт требуют высокой квалификации специалистов и специальных средств. Также CR обладает ограниченными ресурсными показателями и привередлив к топливу. ... на патрульных катерах Погранслужбы ФСБ, несущих службу на Дальнем Востоке, имели место несколько случаев останова двигателей с Common Rail из-за сбоев электронной системы управления. ... для ВМФ, тем более во время выполнения специальной задачи, подобные происшествия недопустимы. ... Электронные системы, используемые на дизелях с Common Rail, пока остаются уязвимыми для воздействия средств радиоэлектронного подавления и радио-электронной борьбы вероятного противника» (63).

Наиболее вероятным направлением развития ТПСАТ в России на ближайшие десять-пятнадцать лет останется, вероятно, автомобильная промышленность.

Контрольные вопросы

1. В каком году начаты поставки электроуправляемых форсунок производства ООО УК «АЗПИ» на конвейер ПАО «Автодизель»?
2. Какой привод управляющих клапанов используется в отечественных форсунках ТПСАТ?
3. Чем оправдана разработка ТПСАТ в России?

Список литературы

1. Юинг, Д.А. *Паровая машина и другие тепловые двигатели*. [перев.] проф. Ломоносов. Киев : Типолитография С.В. Кульженко, 1904. – 500 с.
2. Моравский, А.В., Файн, М.А. *Огонь в упряжке, или Как изобретают тепловые двигатели*. Москва : Знание, 1990. – 192 с.
3. Двигатель де Риваза. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Двигатель_де_Риваза (дата обращения: 24.04.2022).
4. Поршневой двигатель внутреннего сгорания: история создания. – URL: <https://autohs.ru/avtomobili/dvigateli/porshnevoj-dvigatel-vnutrennego-sgoraniya-istoriya-sozdaniya.html> (дата обращения: 24.04.2022).
5. Morey S. *An account of a new explosive engine, generating a poiver that may be substituted for that of the steam engine*. //American Journal of Science and Arts. - New-Haven, 1826. - p. 104-107.
6. Гюльднер, Г. *Газовые, нефтяные и прочие двигатели внутреннего сгорания. Их конструкция и работа. Их проектирование. Перевод К.В. Куриша и Н.К. Пафнумьева под ред. проф. В.И. Гриневецкого*. - Москва : Типо-литография Т-ва И.Н. Кушнеревъ и К. б.н., 1907. – 595 с.
7. История создания и развития топливных систем судовых дизелей. – URL: <https://mirmarine.net/dvs/toplivnye-sistemy/397-istoriya-sozdaniya-i-razvitiya-toplivnykh-sistem-sudovykh-dizelej> (дата обращения: 13.11.2021).
8. Власов, В.В. *Быстроходные транспортные дизеля*. М.-Л. : ОНТИ-НКТП-СССР, 1934. – 307 с. С. 69.
9. Clerk, D. *Gas and Oil Engine*. London, New York, Bombay : Longmans, Green and Co., 1896. – 588 p.
10. Sass, F. *Geschichte des Deutschen Verbrennungsmotorenbaues. Von 1860 bis 1918*. Berlin-Göttingen-Heidelberg : Springer-Verlag, 1962. – 670 S.
11. Дузь, П. *Паровой двигатель в авиации. Опыт историко-технического исследования*. М.-Л. : Госиздат оборонной промышленности, НКАП СССР, 1939. – 316 с.
12. Hiscox, G.D. *Gas, Gasoline and Oil Engines*. London : Sampson Low Marston & Company, 1902. – 401 p.
13. Эра нефти полковника Шпаковского. – URL: <https://topwar.ru/86186-era-nefti-polkovnika-shpakovskogo.html> (дата обращения: 12.01.2022).
14. Развитие первичной энергетики. – URL: <http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000052/st086.shtml> (дата обращения: 12.01.2022).
15. Гумилевский, Л. *Рудольф Дизель*. М. : Журнально-газетное объединение, 1935. – 170 с.
16. Рытвинский, Г.Н. *Знакомьтесь, двигатель*. М. : Машиностроение, 1993. – 176 с.
17. Засс, Ф. *Бескомпрессорные двигатели Дизеля со струйным смесеобразованием*. М.-Л. : ОНТИ, Главная редакция энергетической литературы, 1935. – 450 с.
18. Радциг, А.А. *История теплотехники*. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1936. – 431 с.
19. DeLuca, F. *History of Diesel Fuel Injection*. – URL: <https://www.disa.it/history-of-diesel-fuel-injection/> (дата обращения: 10.10.2021).
20. Матвеев, Ю.И., Андрусенко, Е.И. *Развитие и распространение дизелей в России. К 100-летию русской привилегии Г.В. Тринклера на дизельный двигатель*. Нижний Новгород : ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010. – 166 с.

21. Патент GBT №191027579 Великобритания, *Improvements in Internal Combustion Engines* : опублик. 26.11.1910 / MacKechnie, James.
22. Грехов, Л.В., Иващенко, Н.А., Марков, В.А. *Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов*. б.м. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
23. Балакин, В.И., Еремеев, А.Ф., Семенов, Б.Н. *Топливная аппаратура быстроходных дизелей*. Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1967. – 299 с.
24. Doxford Engine Friends Association. – URL: <http://www.doxford-engine.org.uk/family-origins.htm> (дата обращения: 16.10.2021).
25. Развитие судовых дизелей с электронным управлением их функционированием. – URL: https://studwood.ru/2174835/tehnika/razvitie_sudovyh_dizeley_elektronnym_upravleniem_funktsionirovaniem (дата обращения: 05.03.2022).
26. Аккумуляторная топливная система. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Аккумуляторная_топливная_система (дата обращения: 17.10.2021).
27. Патент US 1585277 США, *High-Pressure Metered Fuel Ejector for Internal-Combustion Engines* : опублик. 07.06.1924 / Bell, G.A.
28. Живлюк, Г.Е., Петров, А.П. Состояние и совершенствование систем топливоподачи Common Rail. // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. - 2016. Т1 (35).
29. Дудкин, В.И., Янкин, Е.М. Пути совершенствования системы питания дизельного двигателя. // *Известия АлтГУ*, - Барнаул, 2002. С 112-115.
30. Патент СН 151448 Швейцария, *Brennstoffeinspritzvorrichtung fuer Verbrennungskraftmaschinen mit Fuellungsspeicherung des Brennstoff selbst geoeffnetem Brennstoffventil* : опублик. 31.12.1929.
31. Патент US 1059604 США, *Explosion-Engine* : опублик. 22.04.1913 / Gaff, T.T.
32. Патент US 1999221 США, *Fuel metering or injecting and controlling system for internal combustion Engines* : опублик. 01.07.1929 / Walker, B., Kennedy H.Y.
33. Патент US 1954804 США, *Valve* : опублик. 23.03.1931 / Doble, W.
34. Дальневосточный дестрой. – URL: http://dv-destroy.at.ua/news/_instrukcija_ot_dizelej_atlas_imperial_1937_goda/2018-07-01-906 (дата обращения: 10.10.1921).
35. Жажда скорости Генри Сигрейва. – URL: <https://www.pvsm.ru/e-to-interesno/284806> (дата обращения: 09.10.2021).
36. Патент US 3464627 США, *Electromagnetic Fuel-Injection Valve* : опублик. 12.06.1967 / Huber, R.
37. Патент DE 2051944 ФРГ, *Verbesserte elektromagnetische Einspritzduese mit Servoeinrichtung* : опублик. 24.10.1969 / Monpetit, L., Huber, R., Ufnalewski, J.
38. Ефимов, С.И., Иващенко, Н.А., Ивин, В.И. и др. /Под общей ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. *Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности "Двигатели внутреннего сгорания"*. М. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
39. Патент EP 0 228 578 Европейский патент, *Device for the control of electro-hydraulically actuated fuel injectors* : опублик. 28.11.86 / Ganser M.A.
40. Белоусов, Е.В. *Создание и совершенствование твердотопливных поршневых двигателей внутреннего сгорания*. Херсон : ОАО "ХГТ", 2006. – 452 с.

41. Ricco, l'uomo dei motori: così a Modugno è nato il diesel pulito. – URL: https://www.ilsole24ore.com/art/l-uomo-motori-cosi-modugno-e-nato-diesel-pulito-AC6bQPN?refresh_ce=1 (дата обращения: 12.10.2021).
42. Mario Ricco: "Lo scandalo Volkswagen non ucciderà il motore diesel". – URL: <https://espresso.repubblica.it/attualita/2015/09/25/news/lo-scandalo-volkswagen-non-uccidera-il-motore-diesel-1.231515> (дата обращения: 27.02.2022).
43. Система впрыска топлива Common Rail дизельных ДВС. – URL: <https://www.drive2.ru/b/521979127587144415/> (дата обращения: 24.10.2021).
44. Дизельные системы Common Rail DENSO. – URL: <https://turborus29.ru/common-rail-denso> (дата обращения: 17.10.2021).
45. Грехов, Л.В., Габитов, И.И., Неговора, А.В. *Конструкция, расчет и технический сервис топливной аппаратуры современных дизелей: Учебное пособие*. М. : Легион-Автодата, 2013. – 292 с.
46. Технология COMMON RAIL BOSCH. – URL: https://common-rail.ru/tech/tech_02.php. (дата обращения: 07.03.2022).
47. Аккумуляторные топливные системы высокооборотных судовых дизелей. – URL: <https://mirmarine.net/dvs/toplivnye-sistemy/akkumulyatornye-toplivnye-sistemy/410-akkumulyatornye-toplivnye-sistemy-vysokooborotnykh-sudovykh-dizelej> (дата обращения: 07.03.2022).
48. Технология Common Rail DEPLPHI. – URL: https://common-rail.ru/tech/tech_03.php (дата обращения: 09.03.2022).
49. А.С. 315778 СССР, *Форсунка с гидравлическим запирающим иглы* : заявл. 22.05.1969 : опубл. 01.10.1971 / Пинский Ф.И., Абрамов С.А., Никонов Г.В.
50. Технология COMMON RAIL от SIEMENS / VDO / CONTINENTAL. – URL: https://common-rail.ru/tech/tech_05.php (дата обращения: 09.03.2022).
51. Ковригин, В. Двигатели Caterpillar с технологией ACERT для землеройной и дорожно-строительной техники. – URL: <https://os1.ru/article/5555-dvigateli-caterpillar-s-tehnologiyey-acert-dlya-zemleroynoy-i-dorojno-stroitelnoy-tehniki> (дата обращения: 09.04.2022).
52. Инженеры CATERPILLAR названы изобретателями года за работу над технологией ACERT. – URL: https://1prime.ru/Transport_communications/20040727/760214018.html (дата обращения: 09.04.2022).
53. *Труды первой всесоюзной дизельной конференции*. М.-Л. : Наркомтяжпром СССР. Государственная контора справочников и каталогов, 1935. – 321 с.
54. *Новая топливная аппаратура для дизель-моторов (насос-форсунка конструкции завода №77 НАРКОМТАНКОПРОМА)*. М. : НАРКОМТАНКОПРОМ, Второе главное управление, 1945. – 48 с.
55. Блинов, А.Д., Голубев, П.А., Драган, Ю.Е. и др. *Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков*. М. : НИИЦ "Инженер", 2000. – 332 с.
56. Пинский, Ф.И. *Электронное управление процессом впрыскивания топлива в дизелях*. Коломна : Изд-во филиала ВЗПИ, 1989. – 146 с.
57. *Электрогидравлическая система топливоподачи дизеля 8ЧН26/26*. Никонов, Г.В., Пинский, Ф.И., Рыжов, В.А. 2, б.м. //Двигателестроение. - 1980. - №2. С. 23-25.
58. Грехов, Л.В. *Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания типа Common Rail*. М. : МГТУ, 2000. – 64 с.

59. Грехов, Л.В. *Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением*. М. : Легион-Автодата, 2009. – 176 с.
60. Common Rail на дизелях боевых кораблей: убрать нельзя оставить. – URL: <https://flotprom.ru/2019/Технологии8/> (дата обращения: 20.03.2022).
61. Sarkowski, H., Götze, H. *Springer-Verlag: History of a Scientific Publishing House. Part 2*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 1996. – 417 S.
62. Engineering Heritage. Institution of Mechanical Engineers' heritage website. – URL: <https://archive.vn/SFBNL> (дата обращения: 02.12.2022).
63. URL: <https://razbor-tsm.ru/obzory/davlenie-v-toplivnoj-rampe-dizelnogo-dvigatelya.html> (дата обращения: 07.03.2022).
64. URL: <https://www.heinzmann.com/de/produkte/common-rail-komponenten> (дата обращения: 19.03.2022).

Учебное издание

Владислав Октябрович Свещинский,
Сергей Петрович Бобров,
Иван Сергеевич Терещенко

**КРАТКАЯ ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ
ТОПЛИВОПОДАЮЩИХ СИСТЕМ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА**

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова,
656038, Барнаул, пр. Ленина, 46

[В начало](#)