



**Пособие по программе самообразования 352**

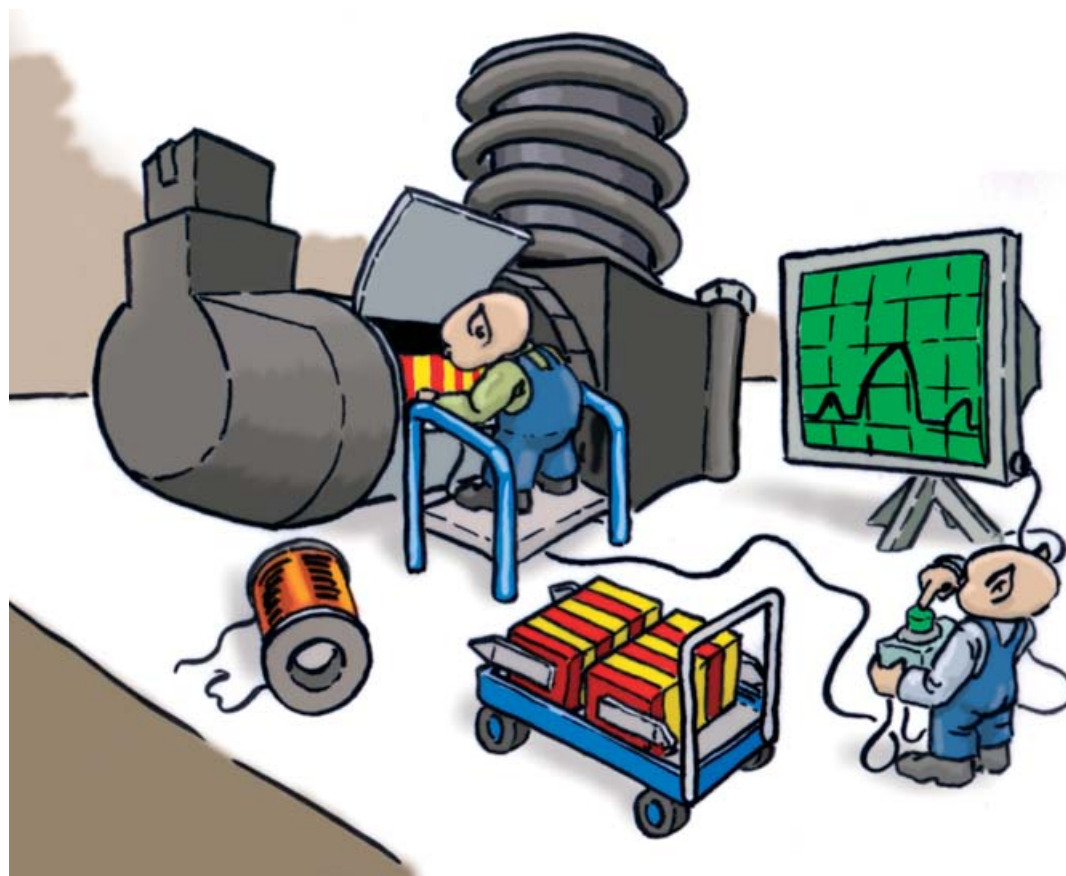
# **Насос-форсунка с пьезоэлектрическим клапаном**

Конструкция и принцип действия



Благодаря высоким экономичности и динамическим качествам дизель продолжает свое победное шествие, но тем не менее к нему по-прежнему предъявляются повышенные требования в отношении выброса вредных веществ, комфорта и удельной мощности. Удовлетворение запросов покупателей автомобилей, снижение вредного воздействия на среду обитания и выполнение требований законодателя – это основные цели разработчиков двигателей, которые могут быть достигнуты только в результате последовательного совершенствования их конструкции.

В частности, применение насос-форсунок и постоянное улучшение их конструкции позволили повысить давления впрыска, точность дозирования топлива и улучшить КПД топливной аппаратуры дизелей и тем самым обеспечить их высокую конкурентоспособность. Разработанная совместно с фирмой Siemens VDO Automotive AG насос-форсунка не только сохраняет известные преимущества предыдущей конструкции, но и обладает рядом улучшенных характеристик в отношении формирования запальной, основной и дополнительных доз топлива. В результате применения в ее конструкции ряда перспективных технических решений удалось улучшить смесеобразование и повысить КПД ее привода, а также снизить шум, производимый при работе топливной аппаратуры.



\$352\_002

Новинка

Внимание  
Указание



В пособиях по программе самообразования описываются вновь разработанные конструкции агрегатов автомобиля и разъясняются принципы их действия!

Текущие указания по проверке, регулировке и ремонту содержатся в предназначенной для этого литературе по техническому обслуживанию и ремонту автомобиля.



<b>Введение</b> .....	<b>4</b>	
Общие сведения .....	4	
Улучшенные характеристики новой насос-форсунки .....	5	
<b>Устройство насос-форсунки</b> .....	<b>8</b>	
Общая конструкция .....	8	
Пьезоэлектрический клапан .....	9	
Полость пружины форсунки .....	11	
<b>Процесс впрыска топлива</b> .....	<b>13</b>	
Впрыск запальной дозы .....	13	
Впрыск основной дозы .....	16	
Впрыск дополнительной дозы .....	18	
<b>Техническое обслуживание</b> .....	<b>20</b>	
<b>Контрольные вопросы</b> .....	<b>23</b>	



## Общие сведения

Насос-форсунка с пьезоэлектрическим клапаном (модели PPD 1.1) была создана на базе насос-форсунки с электромагнитным клапаном. Само ее название свидетельствует о том, что электромагнитный клапан был заменен клапаном с пьезоэлектрическим элементом, который отличается от первого большим быстродействием и лучшей управляемостью.

Помимо этого были улучшены элементы механического управления давлениями впрыска, что позволило отказаться от компенсационного поршня и повысить КПД рабочего цикла форсунки за счет уменьшения объемов сжимаемого под высоким давлением топлива.

Чтобы минимизировать затраты на изменение конструкции двигателя, были сохранены все установочные размеры насос-форсунки и ее крепление посредством двух болтов, как это было предусмотрено у предшествующей модели PDE-P2 с электромагнитным клапаном.

Новые насос-форсунки предполагается устанавливать на двухлитровые двигатели 4V-TDI мощностью 125 кВт и затем на все остальные дизели TDI с 4-клапанной системой газораспределения.

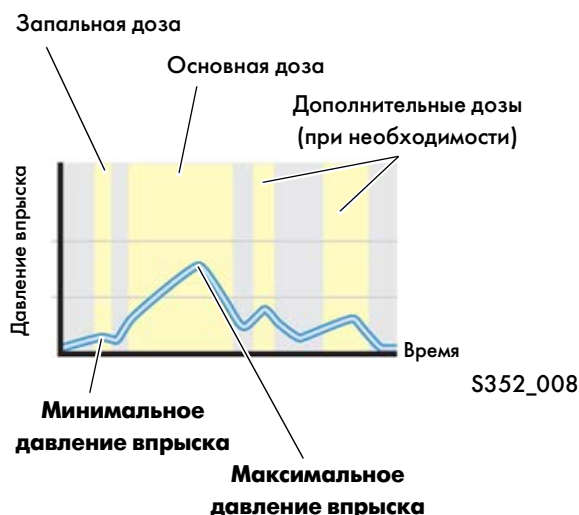
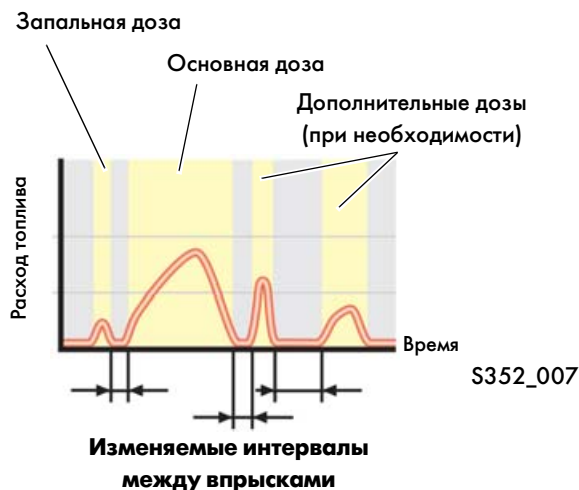


Для производства насос-форсунок с пьезоэлектрическим клапаном была основана фирма Volkswagen Mechatronic GmbH & Co. KG, которая является совместным предприятием с фирмой Siemens VDO Automotive AG. Она находится в городе Штольберг (Саксония).

В настоящее время в сфере производства новых насос-форсунок занято около 200 сотрудников этой фирмы.



## Улучшенные характеристики новой насос-форсунки



## Шум двигателя

Шум, создаваемый при работе двигателей TDI на холостом ходу, определяется не столько сгоранием топлива в цилиндрах, сколько работой насос-форсунок. Причиной этого шума являются резкие изменения давления топлива в насос-форсунках и вибрации, передаваемые через их приводы на детали двигателя.

Быстродействующие пьезоэлектрические клапаны позволяют снизить шум, создаваемый при работе насос-форсунок.

## Управление фазами впрыска

Быстродействие пьезоэлектрического клапана приблизительно в четыре раза выше, чем у ранее применяемого электромагнитного клапана. Быстрое и полное открытие и закрытие клапана позволяют четко разделять фазы впрыска. При этом удается также значительно точнее изменять продолжительность отдельных фаз и отмерять соответствующие им дозы топлива.

## Давления впрыска

Для каждой фазы впрыска требуется поддерживать определенный уровень давлений в распылителе форсунки. Например, для впрыска запальной дозы топлива требуется относительно небольшое давление, а впрыск основной дозы топлива производится под очень высоким давлением. Возможность изменения давлений в широком диапазоне (130–2200 бар) является предпосылкой улучшения характеристик впрыска, которые позволяют увеличить мощность двигателя и снизить выбросы вредных веществ.

Это достигается благодаря управлению скоростью нарастания и снижения давления топлива в отдельных фазах впрыска.

Механический шум, передаваемый через привод насос-форсунки, был снижен в результате уменьшения диаметра ее плунжера. Естественно, что при этом уменьшились усилия, необходимые для привода насос-форсунки.



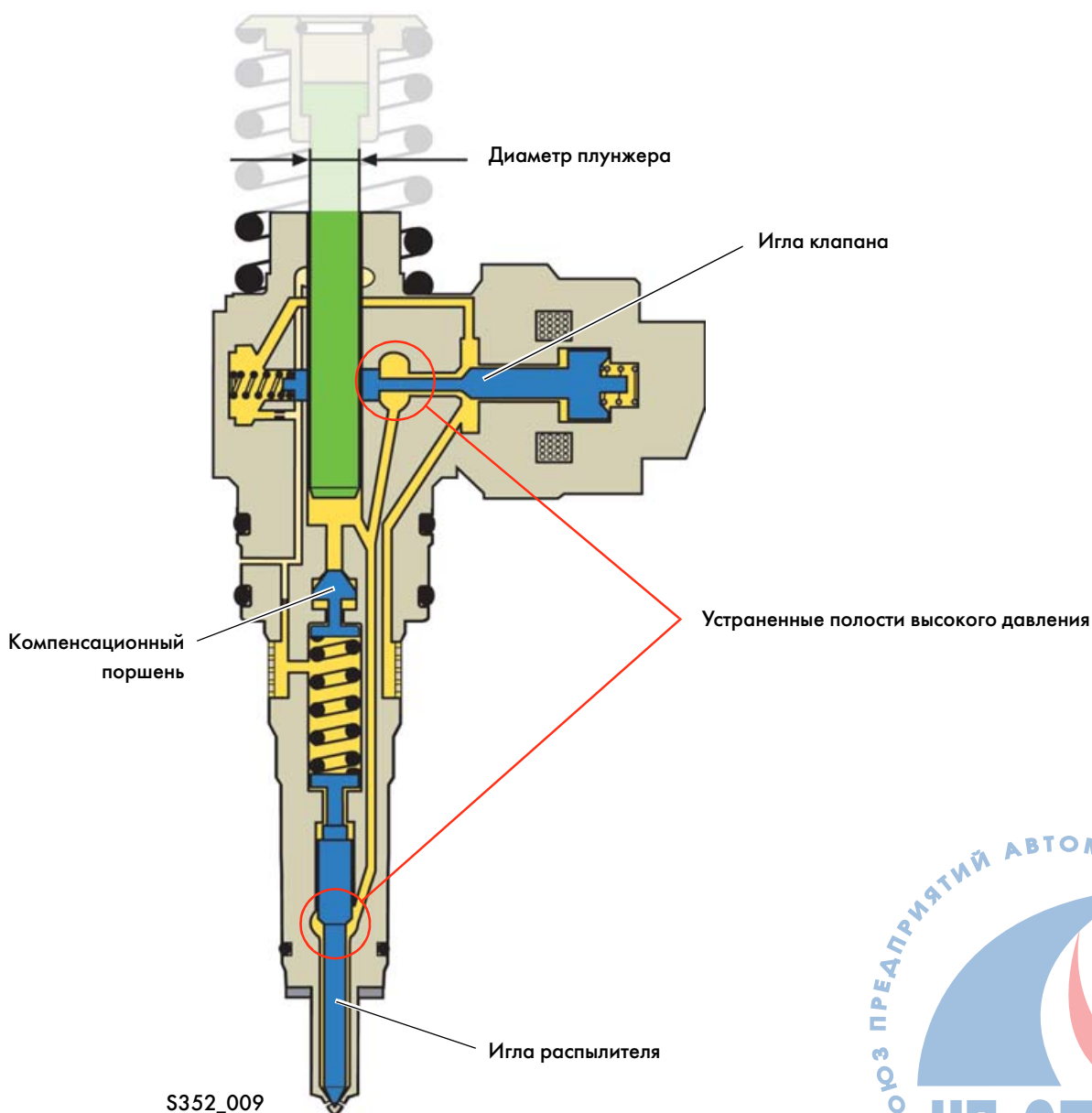
# Введение

## КПД насос-форсунки

Повышение КПД насос-форсунки объясняется в данном случае снижением затрат мощности на ее привод и соответствующим улучшением экономичности двигателя. Это улучшение было достигнуто в результате устранения полостей, в которых топливо подвергается действию высоких давлений, а также благодаря отказу от компенсационного поршня.

В результате сокращения объема сжимаемого плунжером топлива оказалось возможным уменьшить его диаметр до 6,35 мм, не снижая требуемой интенсивности подачи топлива.

## Насос-форсунка с электромагнитным клапаном



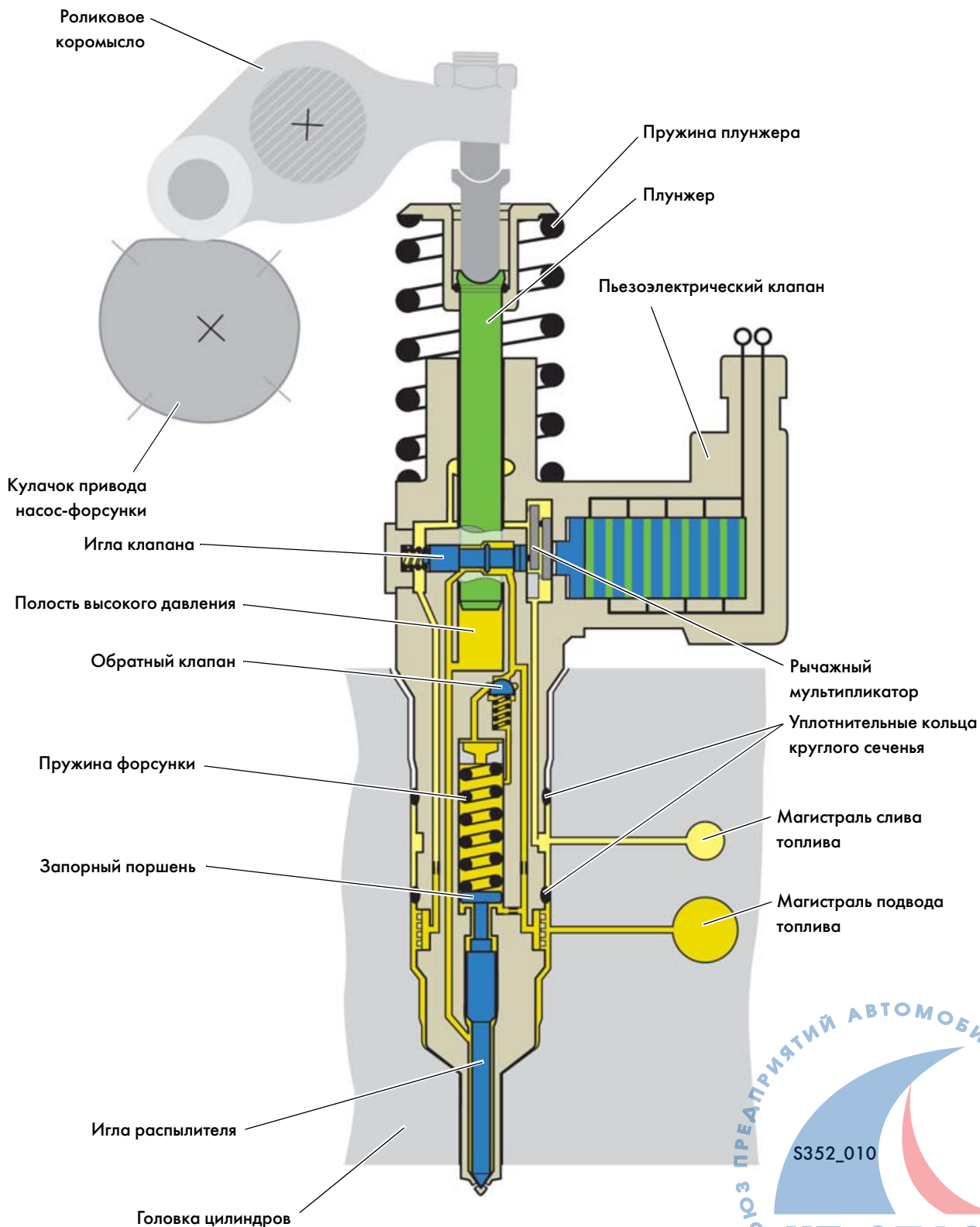
## Краткие технические характеристики насос-форсунок



	<b>Насос-форсунка с пьезоэлектрическим клапаном (модели PPD 1.1)</b>	<b>Насос-форсунка с электромагнитным клапаном (модели PDE-P2)</b>
Диаметр плунжера, мм	6,35	8,0
Минимальное давление впрыска, бар	130	160
Максимальное давление впрыска, бар	2200	2050
Возможное число запальных доз	0–2 (изменяемых по величине)	1 (неизменяемая)
Возможное число дополнительных впрысков	0–2 (изменяемых по величине)	0 или 2
Интервал между впрысками запальной, основной и дополнительной доз топлива, град. по углу поворота коленчатого вала	> 6 (изменяемый)	Приблизительно 6–10 (неизменяемый)
Доза запального топлива, мм <sup>3</sup>	Изменяемая (> 0,5)	Приблизительно 1–3
Управление подачей запального топлива	Электронное, посредством пьезоэлектрического клапана	Гидромеханическое, посредством компенсационного поршня
Управление началом подъема давления при впрыске основной дозы топлива	Посредством запорного поршня и обратного клапана	Посредством компенсационного поршня

# Устройство насос-форсунки

## Общая конструкция





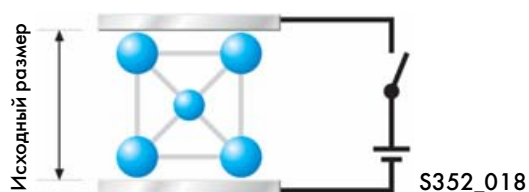
## Пьезоэлектрический клапан

Наиболее существенным нововведением в конструкцию насос-форсунки является пьезоэлектрический клапан, который применен вместо ранее применявшегося электромагнитного клапана. Пьезоэлектрический клапан обладает значительно большим быстродействием, причем он управляется простым изменением подаваемого на него напряжения. Он состоит из пьезопривода в корпусе с штекерным разъемом, рычажного мультипликатора и иглы клапана, перемещающейся в корпусе насос-форсунки.

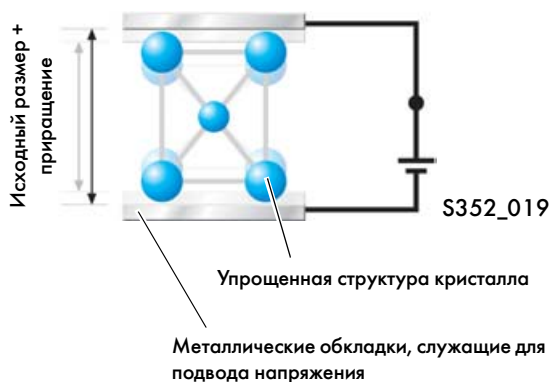


### Обратный пьезоэлектрический эффект (Упрощенная структура пьезокристалла)

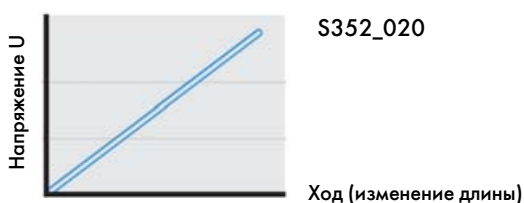
#### Пьезоэлемент при отсутствии напряжения U



#### Пьезоэлемент при подаче напряжения U



#### Изменение длины пьезоэлемента



## Пьезопривод

Пьезо – по-гречески означает "давлю".

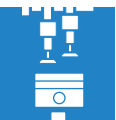
Известной областью применения пьезоэлементов являются датчики давления. При действии давления на пьезоэлемент на его обкладках возникает разность потенциалов, которую можно измерить. Это явление называется пьезоэлектрическим эффектом.

Принцип действия пьезопривода основан на обратном пьезоэлектрическом эффекте. Этот эффект заключается в изменении размеров пьезоэлемента при приложении к нему напряжения.

Приращение длины пьезоэлемента прямо пропорционально прилагаемому напряжению. Таким образом можно управлять приращением длины пьезоэлемента, изменяя напряжение на его обкладках. В данном случае управляющее напряжение изменяется в диапазоне от 100 до 200 В.



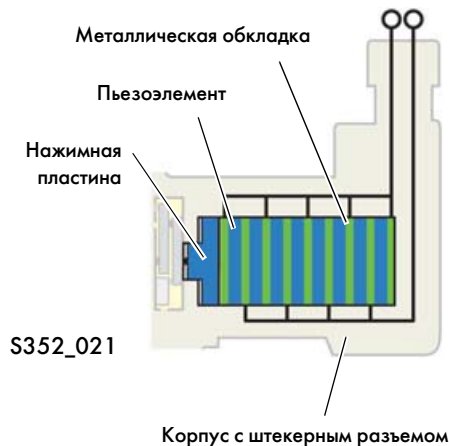
# Устройство насос-форсунки



Толщина одного элемента пьезопривода клапана равна приблизительно 0,08 мм, а ее приращение под действием приложенного напряжения составляет всего 0,15%. Поэтому, чтобы получить перемещение порядка 0,04 мм, необходимо набрать столбик из большого числа пьезоэлементов. В набранном таким образом блоке, который называют "Piezo-Stack", отдельные пьезоэлементы разделены металлическими обкладками, служащими для подвода к ним напряжения.

Столбик из пьезоэлементов в сборе с нажимной пластиной образует основу пьезопривода.

## Пьезопривод (схематическое изображение)

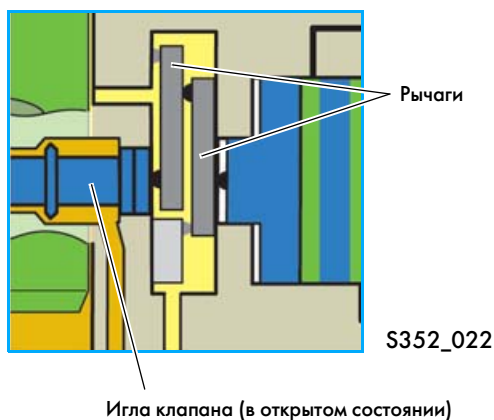


## Рычажный мультипликатор

Ход пьезопривода равен приблизительно 0,04 мм. Однако, полный ход иглы клапана должен быть порядка 0,1 мм. Чтобы решить эту задачу, между пьезоприводом и иглой клапана устанавливают рычажный мультипликатор с соответствующим передаточным отношением.

При отсутствии управляющего напряжения пьезопривод находится в исходном положении. При этом клапан открыт, так как его игла поднимается с седла под действием возвратной пружины.

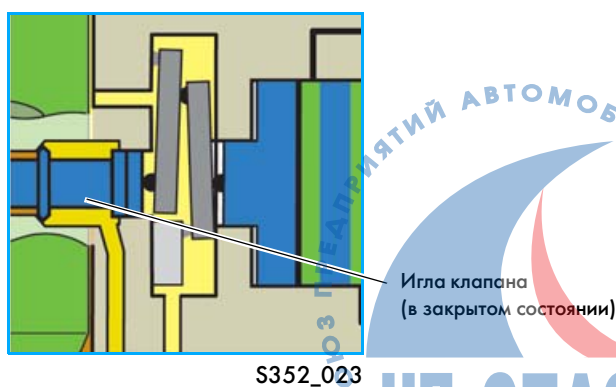
## Мультипликатор в исходном положении



При подаче напряжения нажимная пластина приводит в действие мультипликатор, который обеспечивает перемещение иглы клапана практически на 0,1 мм.

При этом клапан закрывается, а в полости под плунжером начинает подниматься давление.

## Мультипликатор в рабочем положении



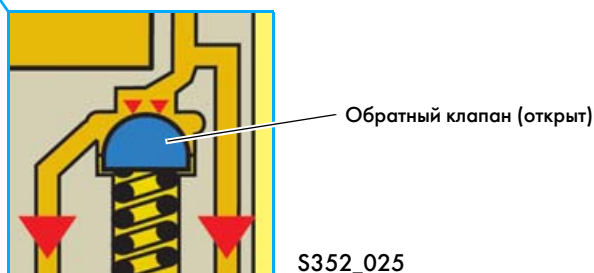
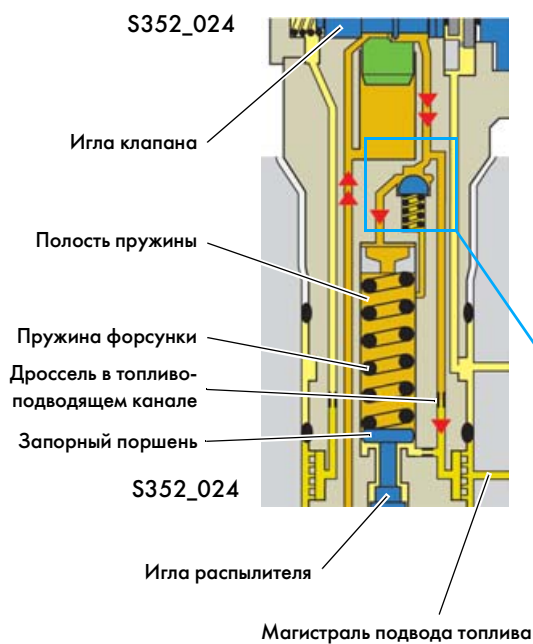
## Полость пружины форсунки

В этой полости расположена пружина, под действием которой производится посадка иглы распылителя на седло. Другой задачей этой пружины является предотвращение слишком раннего открытия форсунки в начальной фазе впрыска топлива. Следует отметить, что требования к действующим на иглу распылителя усилиям различны для отдельных фаз впрыска. Например, при впрыске запальной дозы топлива игла распылителя должна подниматься при небольших давлениях, а впрыск основной его дозы должен начинаться при относительно больших давлениях. При этом посадка иглы распылителя на седло должна всегда происходить с достаточно большой скоростью. Чтобы удовлетворить эти различные требования, усилие пружины поддерживается по мере необходимости давлением топлива, действующим на иглу распылителя со стороны полости пружины. Эта поддержка реализуется посредством обратного клапана и запорного поршня, действующими, например, при впрыске основной дозы топлива и при посадке иглы распылителя.

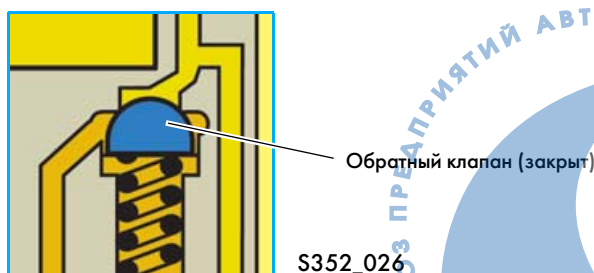


## Обратный клапан

В конце каждой фазы впрыска вытесняемое плунжером топливо сливается через открытый пьезоэлектрический клапан и установленный в топливоподводящем канале дроссель в магистраль подвода топлива к насос-форсунке. Создаваемое при сливе топлива через дроссель давление открывает обратный клапан и распространяется на полость пружины форсунки.



При ослаблении потока сливаемого топлива давление перед дросселем снижается, но обратный клапан закрывается, предотвращая падение давления в полости пружины форсунки.

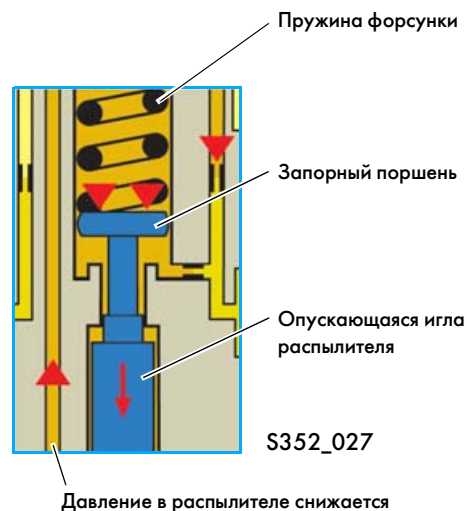


# Устройство насос-форсунки

## Запорный поршень

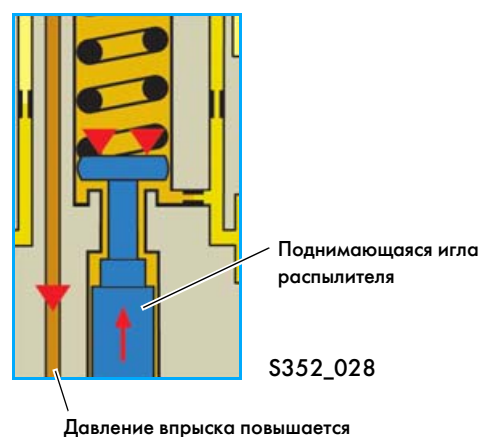
### Посадка иглы распылителя

В конце каждой фазы впрыска в полость пружины форсунки поступает топливо под повышенным давлением, которое действует на запорный поршень и поддерживает таким образом усилие пружины при посадке иглы распылителя на седло. Ускоренное закрытие форсунки способствует снижению образования вредных веществ (при сгорании топлива). При этом запорный поршень выполняет функции компенсационного поршня, который применяется в конструкции насос-форсунки с электромагнитным клапаном.



### Подъем иглы распылителя

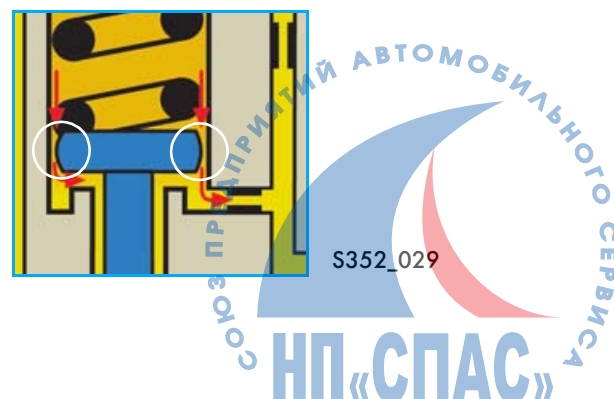
Обратный клапан препятствует снижению давления в полости пружины форсунки после окончания очередной фазы впрыска. Оно сохраняется к началу следующей его фазы и поддерживает пружину форсунки, предотвращая слишком ранний подъем иглы распылителя. Благодаря этому следующая фаза впрыска топлива начинается при относительно высоком давлении, которое необходимо для его полного сгорания и соответствующего снижения образования вредных веществ.



### Сброс давления в полости пружины

Для впрыска запальной дозы топлива необходимо относительно небольшое давление. Поэтому после завершения полного цикла подачи запальной, основной и дополнительных доз топлива необходимо снизить давление в полости пружины форсунки. Для этого запорный поршень устанавливается в полость пружины с некоторым зазором, через который топливо медленно перетекает в полость низкого давления. Однако, за время между последовательными рабочими циклами давление в полости пружины успевает снизиться настолько, что впрыск запальной дозы начинается без поддержки пружины форсунки давлением топлива в ее полости, т. е. при пониженном давлении в распылителе.

### Зазор по периметру запорного поршня

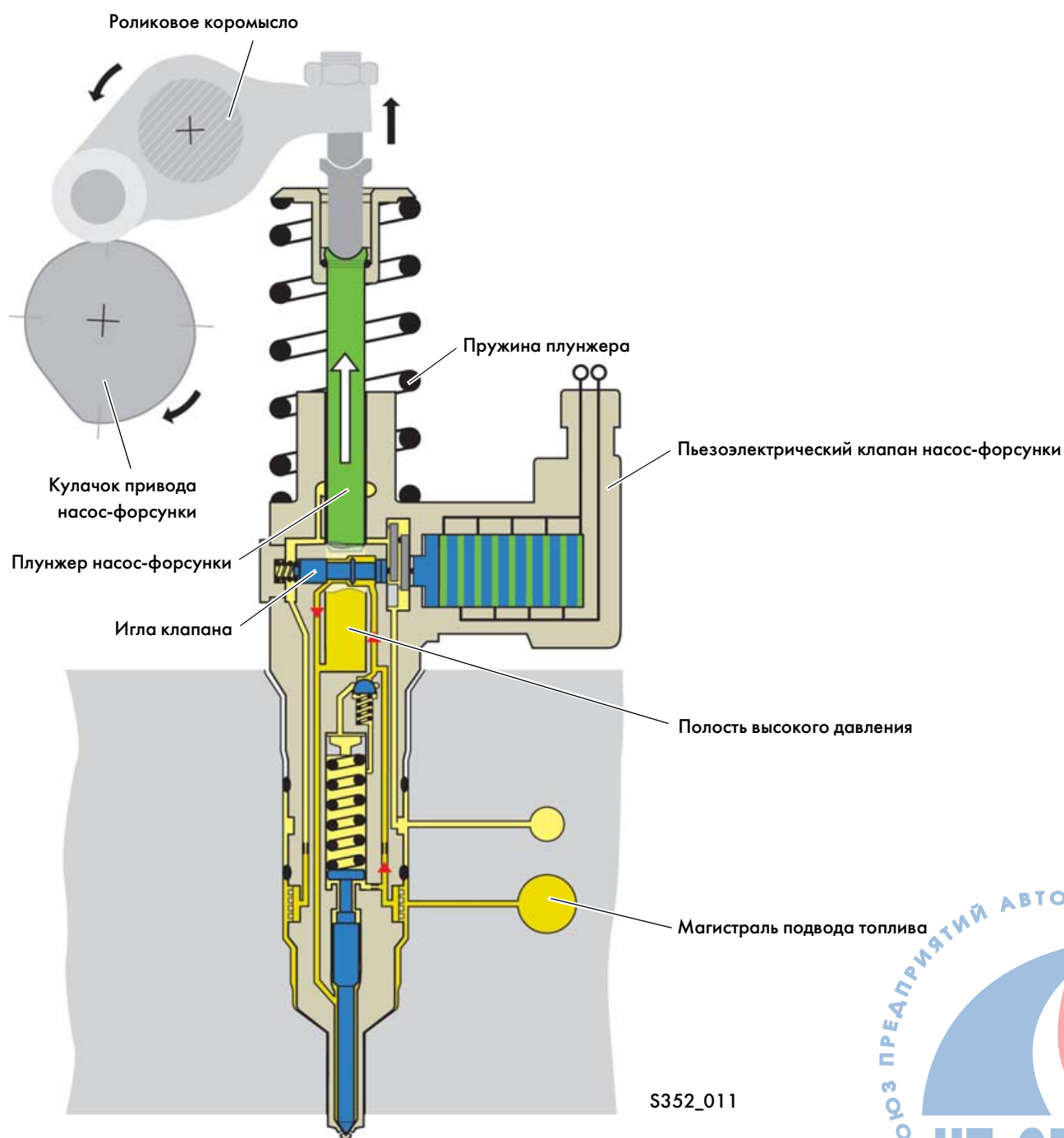


## Впрыск запальной дозы топлива

### Процесс наполнения полости под плунжером

Подъем плунжера происходит под действием его пружины вслед за поворотом кулачка и роликового коромысла насос-форсунки. Кулачку придана несимметричная форма, которая обеспечивает перемещение плунжера вверх с пониженной скоростью.

При этом полость под плунжером заполняется топливом, поступающим через открытый пьезоэлектрический клапан из магистрали его подвода к насос-форсунке.



S352\_011

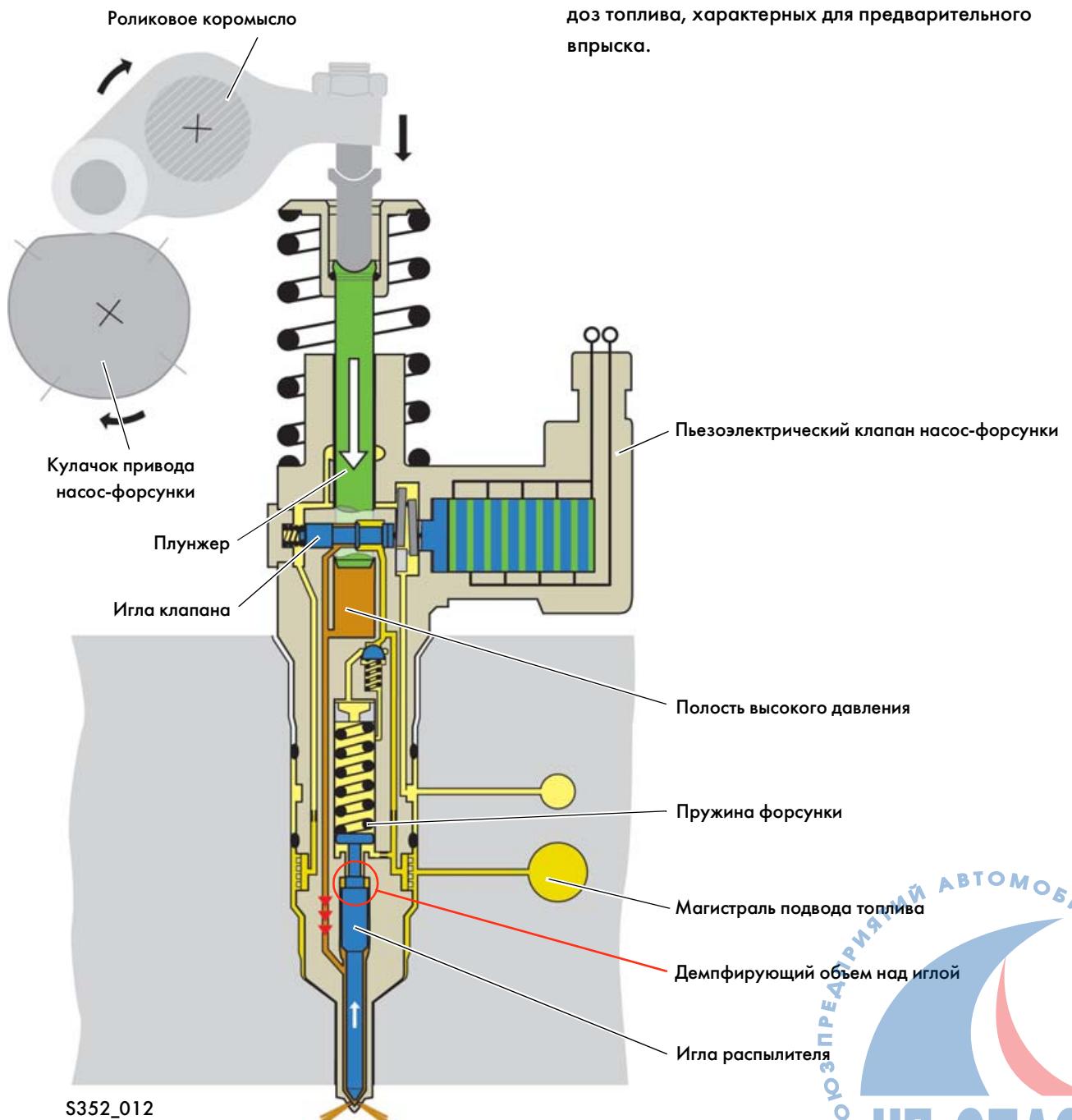
# Процесс впрыска

## Начало впрыска запальной дозы топлива

При набегании кулачка на ролик коромысло поворачивается и перемещает плунжер с относительно большой скоростью вниз. Вытесняемое плунжером топливо перетекает в каналы низкого давления до тех пор, пока не закроется пьезоэлектрический клапан. После закрытия этого клапана давление топлива в полости под плунжером начинает быстро расти.

При его повышении до 130 бар преодолевается усилие затяжки пружины форсунки. В результате игла распылителя поднимается и начинается впрыск запальной дозы топлива.

При этом движение иглы распылителя демпфируется топливом, вытесняемым из объема между ее торцом и корпусом форсунки. Ограничение подъема иглы необходимо для повышения точности подачи малых доз топлива, характерных для предварительного впрыска.



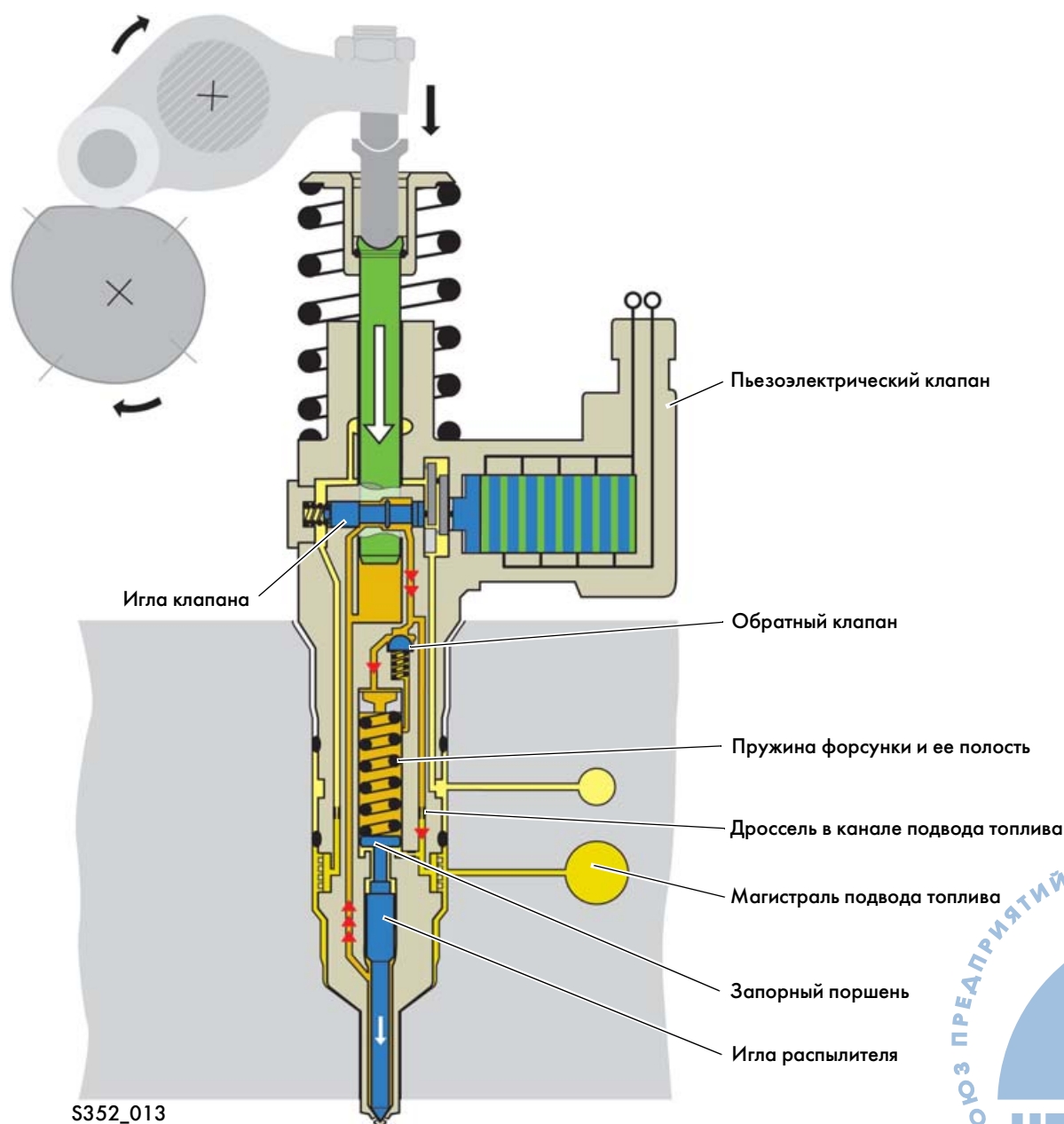


## Завершение впрыска запальной дозы топлива

Впрыск запальной дозы топлива заканчивается в результате открытия пьезоэлектрического клапана. Давление вытесняемого плунжером топлива снижается в результате слива его в магистраль, служащую для подвода к насос-форсунке. Игла распылителя опускается на седло под действием пружины форсунки и поддерживающего ее давления топлива, которое поступает в полость пружины форсунки через обратный клапан. Это давление создается дросселем, установленным во внутреннем канале подвода топлива.

Действующее в полости пружины давление топлива передается посредством запорного поршня на иглу распылителя и ускоряет ее посадку.

В зависимости от режима работы двигателя блок управления может инициировать впрыск одной или двух запальных доз топлива.



S352\_013

# Процесс впрыска

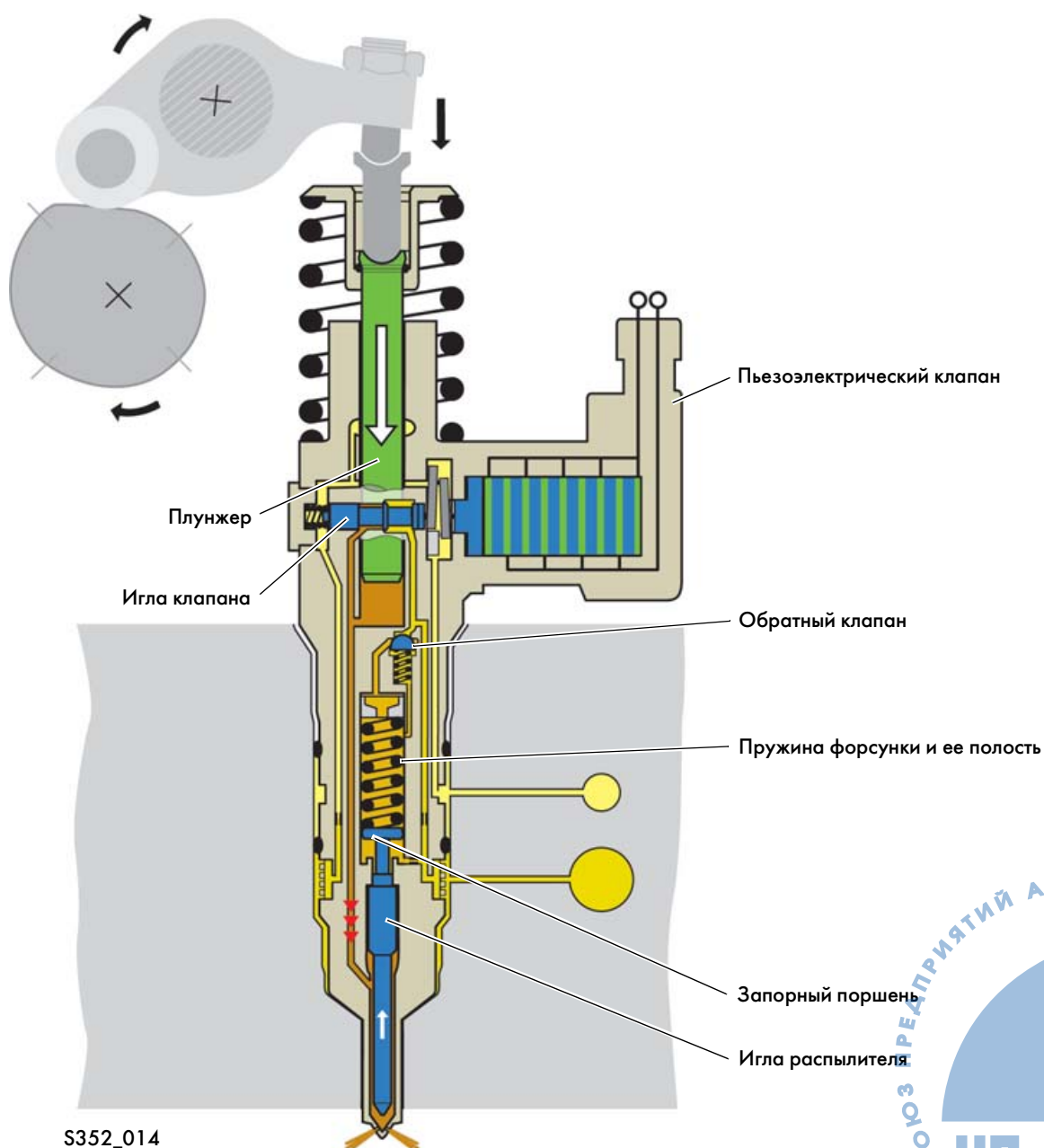
## Впрыск основной дозы топлива

### Начало впрыска основной дозы

Впрыск основной дозы топлива производится при продолжающемся движении плунжера вниз. После посадки на седло иглы пьезоэлектрического клапана начинается повышение давления в распылителе, игла которого поднимается с седла только при относительно большом давлении, соответствующем суммарному усилию затяжки пружины форсунки и усилию, создаваемому давлением топлива в полости пружины.

Повышенное давление топлива в полости пружины форсунки создается после впрыска запальной дозы топлива и удерживается в ней благодаря обратному клапану. Это давление действует на запорный поршень форсунки.

Максимальное давление впрыска достигает на режиме максимальной мощности 2200 бар.

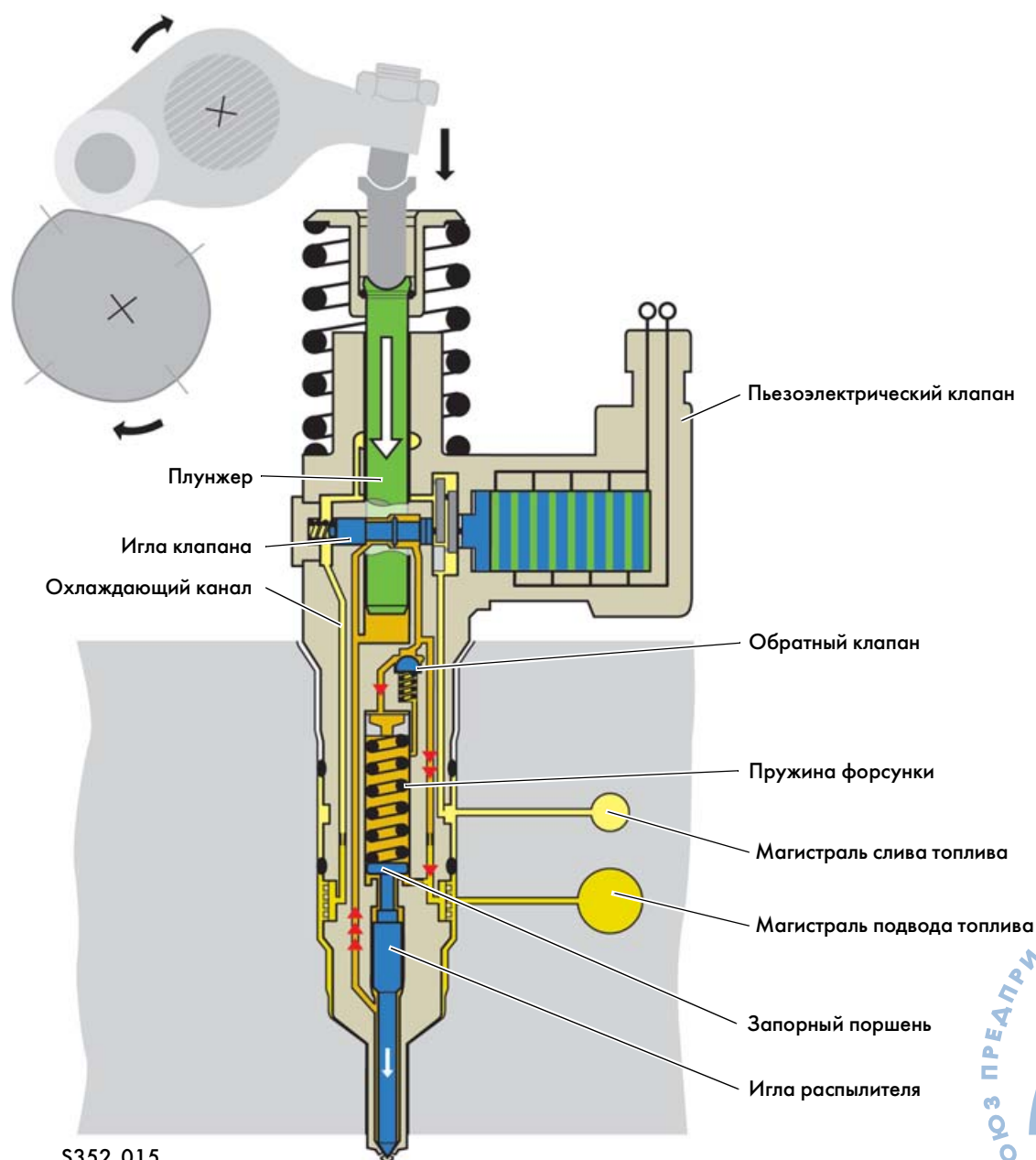


## Завершение впрыска основной дозы топлива

Впрыск основной дозы топлива заканчивается вследствие открытия пьезоэлектрического клапана. Как и при окончании впрыска запальной дозы, давление топлива снижается в результате его слива в топливоподводящий канал и в полость пружины форсунки. Посадка иглы распылителя на седло производится под суммарным действием пружины и запорного поршня.

Охлаждение насос-форсунки с пьезоэлектрическим клапаном организовано таким же образом, как у насос-форсунки с электромагнитным клапаном.

Охлаждающее топливо поступает из подводящей магистрали во входной канал насос-форсунки, проходит через установленный в нем дроссель и перетекает по каналам внутри насос-форсунки в магистраль слива топлива. В этот поток вливается также топливо, просочившееся через зазоры плунжера.



S352\_015

# Процесс впрыска

## Впрыск дополнительных доз топлива

### Начало впрыска дополнительной дозы

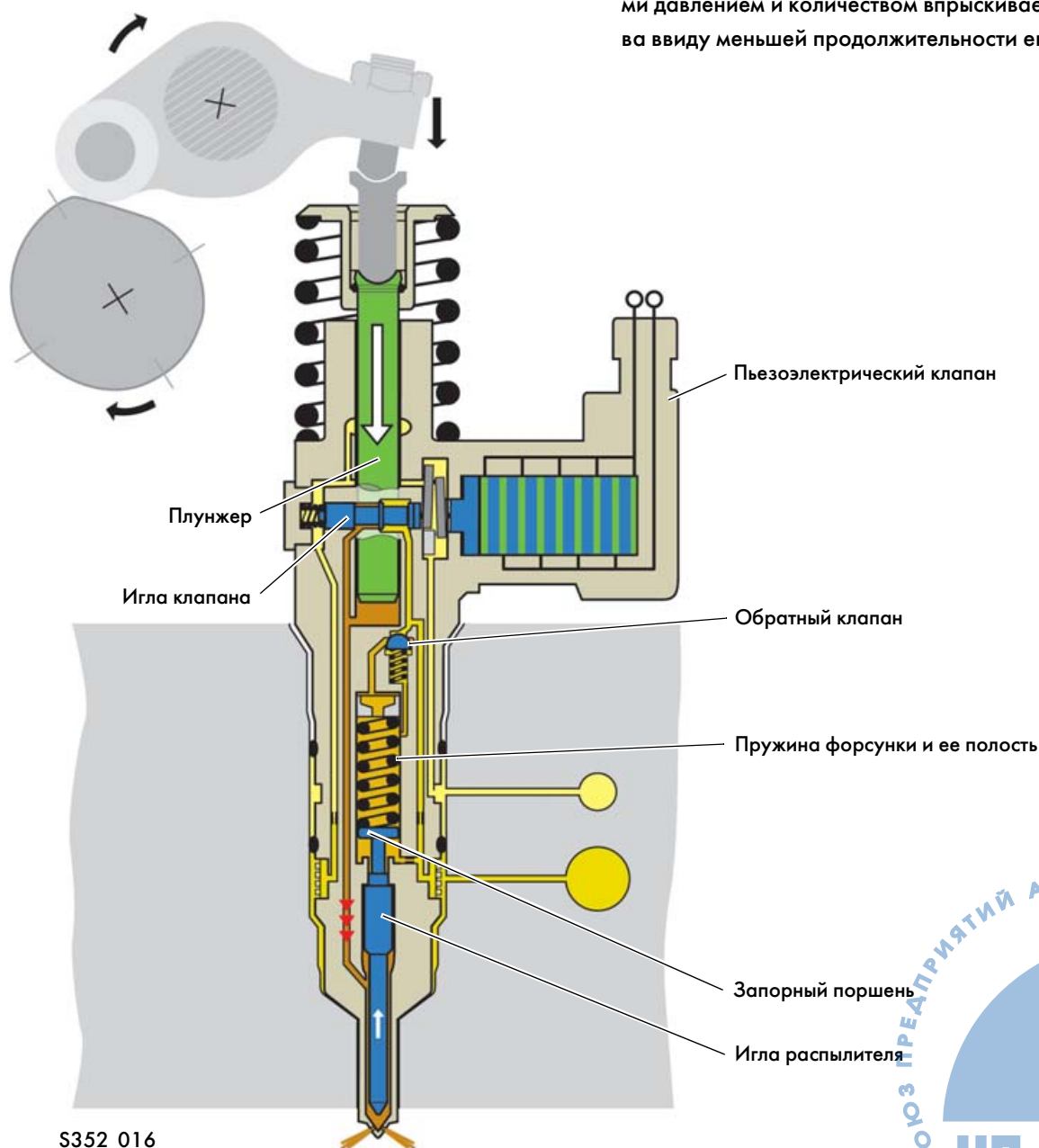
Обычно впрыскиваются две дополнительные дозы топлива. Так как процессы подачи обеих доз полностью идентичны, достаточно рассмотреть впрыск одной из них.

Следует отметить, что впрыск дополнительных доз топлива применяется практически только для регенерации сажевого фильтра.

Впрыск дополнительной дозы топлива производится при продолжающемся движении плунжера вниз.

Он начинается после закрытия пьезоэлектрического клапана и повышения давления топлива до уровня, соответствующего началу подъема иглы распылителя.

Процесс впрыска дополнительного топлива практически не отличается от процесса впрыска основного топлива, но характеризуется существенно меньшим давлением и количеством впрыскиваемого топлива ввиду меньшей продолжительности его подачи.

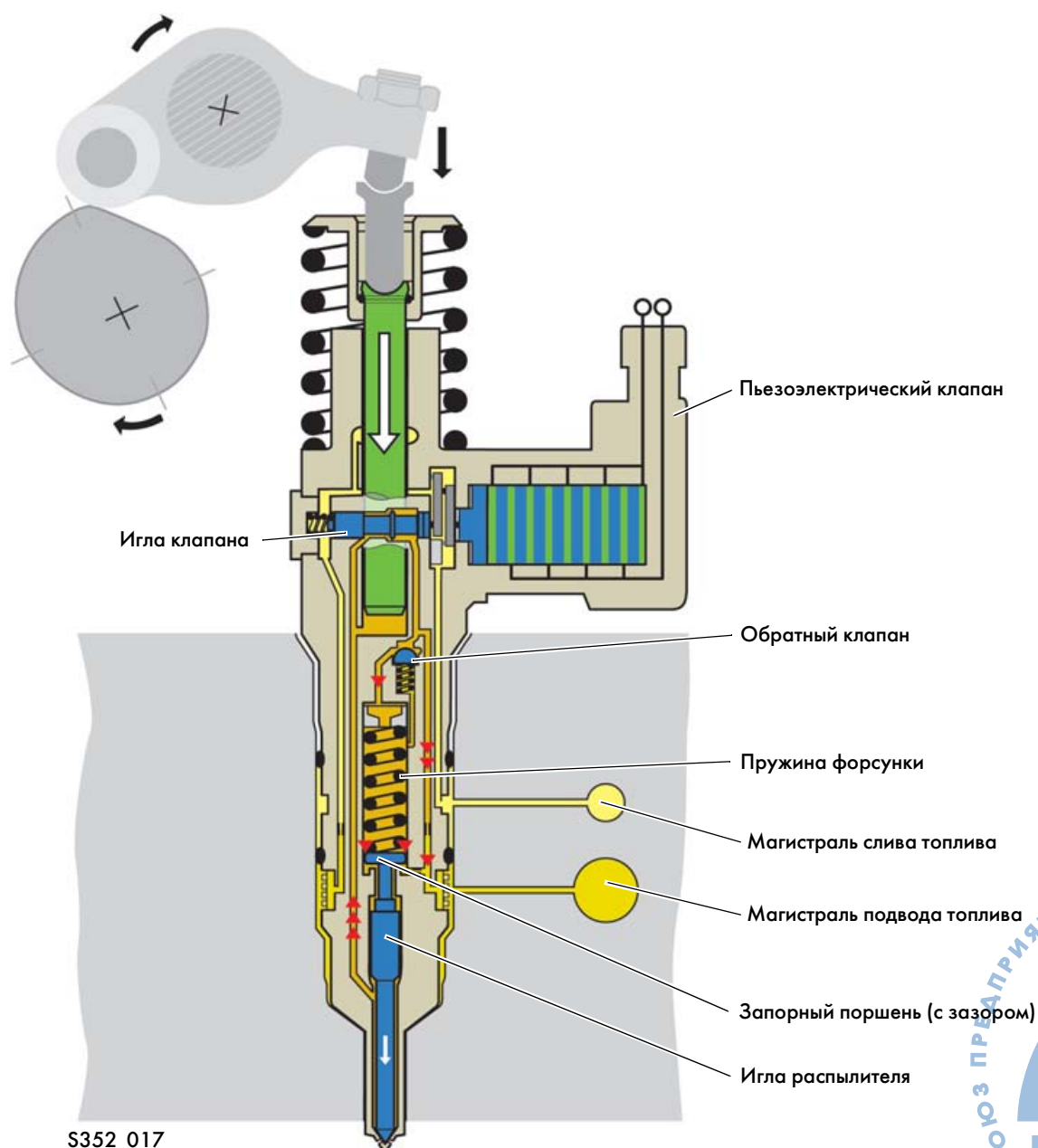


## Завершение впрыска дополнительной дозы топлива

Впрыск дополнительной дозы топлива заканчивается вследствие открытия пьезоэлектрического клапана. При этом давление топлива в насос-форсунке падает и игла распылителя опускается на седло.

К этому моменту успевают подняться давление топлива в полости пружины форсунки, которое поступает в нее через обратный клапан.

Однако, чтобы обеспечить следующий впрыск запальной дозы топлива с пониженным начальным давлением, необходимо снизить давление топлива в полости пружины форсунки. Это требование выполняется благодаря утечке топлива из этой полости через зазоры запорного поршня. Это топливо сливается в магистраль его подвода к насос-форсунке.



S352\_017

## Диагностика

### Контроль функций пьезоэлектрического клапана насос-форсунки

В связи с переходом на насос-форсунки с пьезоэлектрическими клапанами был внедрен в производство новый блок управления двигателем Simos PPD 1. Диагностика систем двигателя с этим блоком управления производится таким же образом, как диагностика системы управления двигателя, оснащенного насос-форсунками с электромагнитными клапанами и блоком управления Motronic.

В процессе диагностики определяется момент посадки иглы пьезоэлектрического клапана на седло, который соответствует фактически моменту начала впрыска топлива (VIP – Beginning of Injection Period). Этот момент определяется по перелому функции изменения напряжения на пьезоприводе управляющего клапана, причиной которого является резкое изменение усилия на игле клапана при посадке ее на седло.

Для проведения измерений на пьезоэлектрический клапан подаются контрольные импульсы, имитирующие впрыск всех пяти доз топлива. Чтобы исключить действие факторов, влияющих на посадку иглы клапана (например, действие на нее давления топлива), контрольные импульсы подаются в периоды между рабочими циклами.

### Реакция системы на отклонения начала впрыска от нормы

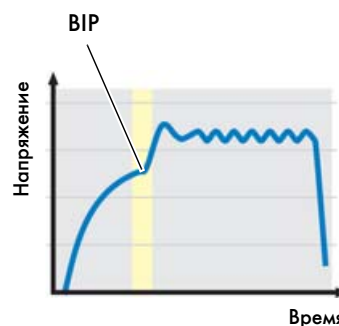
Если момент начала впрыска (точка VIP) выходит за допустимые границы, в память регистратора неисправностей вносится соответствующее сообщение. В зависимости от величины и вида этого отклонения блок управления продолжает подавать сигналы на насос-форсунку или полностью отключает ее. При отключении насос-форсунки исключается ее повреждение или повреждение двигателя.

### Блок управления Simos PPD 1



S352\_031

### Изменение напряжения на приводе пьезоэлектрического клапана



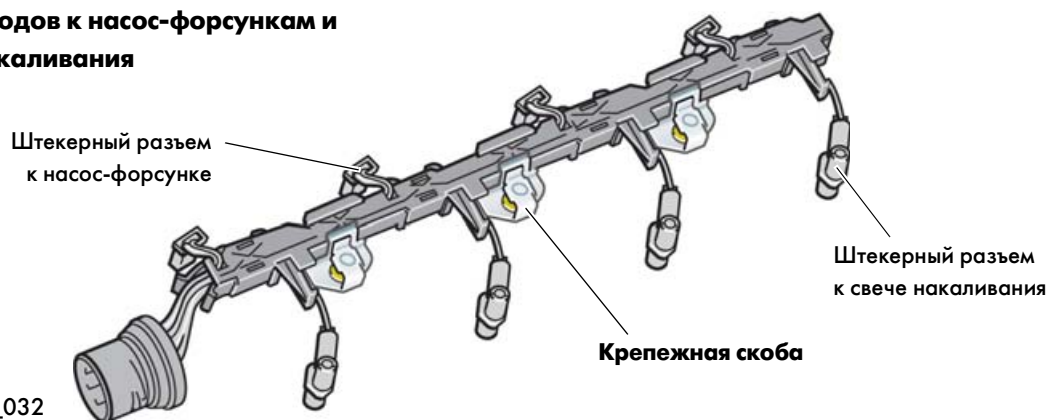
S352\_030





## Снятие и установка насос-форсунки

### Жгут проводов к насос-форсункам и свечам накаливания



При снятии или установке жгута проводов к насос-форсунке и свечам накаливания не следует отделять кабельный канал от крепежных скоб. Отгибание крепежных скоб и последующее снятие кабельного канала могут привести к обрыву проводов.

Подробное описание монтажных операций можно получить через информационную систему ELSA.



### Установочные размеры и элементы крепления



Насос-форсунка с электромагнитным клапаном (PDE-P2 с двумя крепежными болтами) и насос-форсунка с пьезоэлектрическим клапаном имеют абсолютно одинаковые установочные размеры и одинаковые элементы крепления в головке цилиндров. Однако, непосредственная замена насос-форсунок с электромагнитными клапанами на насос-форсунки с пьезоэлектрическими клапанами невозможна ввиду различия конструкции электрических разъемов и систем управления.

# Техническое обслуживание

## Варианты исполнения насос-форсунки с пьезоэлектрическим клапаном

В настоящее время находят применение насос-форсунки в двух вариантах: освоенном первоначально исполнении PPD 1.0 и в описанном в данном Пособии исполнении PPD 1.1. Насос-форсунки первого типа нашли применение на двухлитровых двигателях 4V-TDI (мощностью 103 кВт) для автомобилей Passat модельного года 2006. В процессе производства этих автомобилей осуществляется постепенный переход на насос-форсунки модели PPD 1.1. Внешне они выглядят одинаково, но отличить их можно по нанесенному на корпус производственному номеру. При замене насос-форсунок необходимо обращать внимание на этот номер, так как смешанная установка их на двигатель приводит к ухудшению его характеристик.

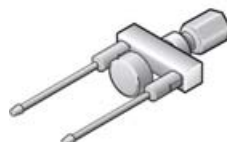


Чтобы исключить ошибки при замене насос-форсунок, необходимо обращать внимание не только на их внешний вид, но и на номера деталей по каталогу.



## Сведения о применении специальных инструментов и приспособлений

Съемник T10163 в комплекте с ударником T10133 можно использовать не только для снятия насос-форсунки с пьезоэлектрическим клапаном, но и для ее установки на двигатель.



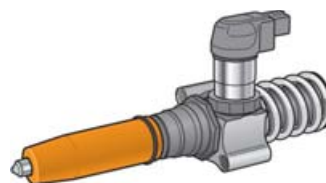
Съемник T10163



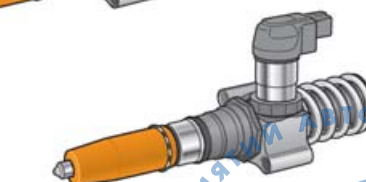
S352\_033

Ударник T10133

Уплотнительные кольца круглого сечения одеваются на насос-форсунку с пьезоэлектрическим клапаном с помощью новых монтажных втулок T10308.



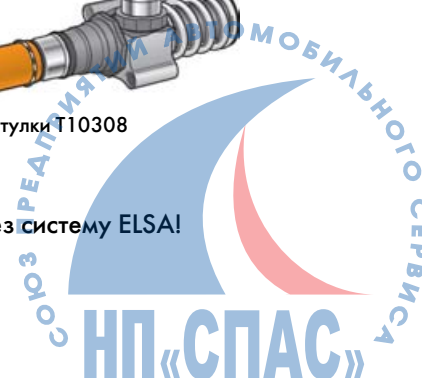
S352\_034



Монтажные втулки T10308



С подробным описанием монтажных операций можно ознакомиться через систему ELSA!



# Контрольные вопросы

Какие из приведенных ниже ответов правильные?

Правильными могут быть один, несколько или все предлагаемые ответы.

1. Которое из утверждений относительно насос-форсунки с пьезоэлектрическим клапаном справедливо?

- а) Благодаря устранению электромагнитного клапана отпадает необходимость в связи насос-форсунки с блоком управления двигателем.  
При этом давления впрыска регулируются чисто механически посредством запорного поршня.
- б) Быстродействие пьезоэлектрического клапана достаточно велико, чтобы обеспечить посадку и подъем иглы распылителя в конце и в начале каждой фазы впрыска, а именно, при подаче запальных, основной и дополнительных доз топлива.
- в) Благодаря уменьшенному диаметру плунжера сократился объем топлива, подвергаемый высоким давлениям. Поэтому данная насос-форсунка пригодна только для дизелей с малым рабочим объемом.
- г) Снижение создаваемого насос-форсункой шума достигнуто в результате уменьшения усилий, передаваемых через ее привод и улучшения согласования импульсов давления в ее каналах и полостях.

2. Дополните предлагаемые предложения.

- а) Обратным пьезоэлектрическим эффектом называется явление, которое заключается в ....., если к нему приложить электрическое напряжение.
- б) Чтобы обеспечить начало впрыска основной дозы топлива при больших давлениях, чем при впрыске запальной дозы, действие пружины форсунки поддерживается .....

3. При снятии и установке насос-форсунки с пьезоэлектрическим клапаном следует иметь ввиду, что ...

- а) вместе с ней должен перемещаться жгут проводов.
- б) ее установочные размеры и элементы крепления такие же, как у насос-форсунки с электромагнитным клапаном (и двумя крепежными болтами).
- в) жгут проводов снимается только в сборе с кабельным каналом и крепежными скобами.





Только для внутреннего пользования.

© VOLKSWAGEN AG, Вольфсбург

Все права защищены, включая право на технические изменения.

000.2811.66.75. По состоянию на 03.2005.

Volkswagen AG  
Service Training VK-21  
П/я 1995  
38436 Wolfsburg

Перевод и верстка ООО "Фольксваген Груп Рус"

