

Форсунки современных дизелей

Форсунки устанавливаются в крышке цилиндра. Интенсификация охлаждения крышек цилиндров в зоне форсунок, обеспечение хорошей теплопередачи благодаря плотной посадке корпуса форсунки в крышке и уменьшение торцевой тепловоспринимающей поверхности распылителя (выступающей в камеру сгорания) дали возможность фирмам «МАН-Бурмейстер и Вайн» и «Зульцер» - отказаться от специального охлаждения форсунок.

В четырехтактных дизелях, как правило, устанавливается одна центрально расположенная форсунка. В малооборотных двухтактных дизелях с прямоточно-клапаным газообменом устанавливаются 2-3 форсунки на периферии цилиндровой крышки, так как в центральной ее части установлен выпускной клапан.

Форсунка «Зульцер» серии RTA

Рассмотрим принцип действия форсунки малооборотного судового дизеля «Зульцер» серии RTA (см. рис. 1).

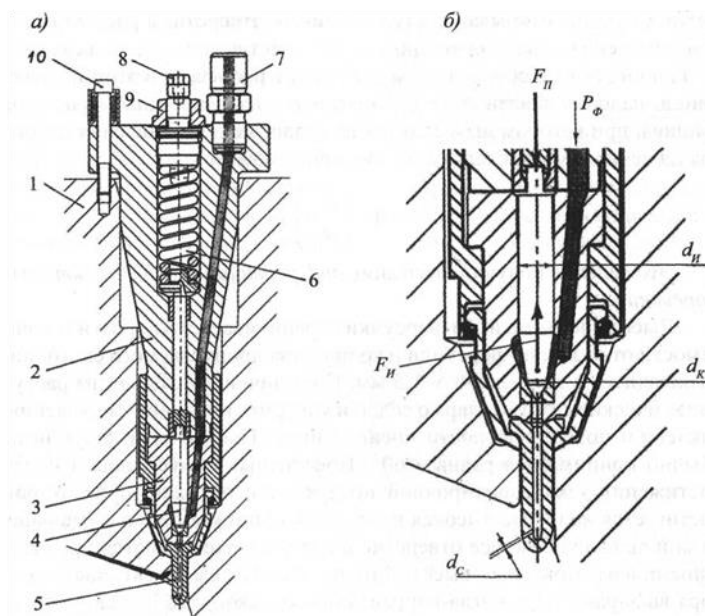


Рис. 1. Форсунка малооборотного дизеля RTA 84 С

а) общий вид; б) распылитель

1 - цилиндровая крышка; 2 - корпус форсунки; 3 - направляющая иглы форсунки; 4 - игла; 5 - сопло; 6 - распылитель; 7 - штуцер для присоединения трубопровода высокого давления; 8 - регулировочный винт; 9 - контргайка; 10 - шпилька крепления форсунки.

Топливо от ТНВД подводится к штуцеру 7 и далее по каналам в корпусе форсунки 2 и направляющей иглы 3 поступает в кольцевую камеру под иглой форсунки 4. В закрытом положении игла своим конусом сидит на посадочном гнезде в направляющей 3 (см. рис. 1) и препятствует проникновению топлива в нижерасположенную камеру сопла 5. Игла через толкатель нагружена пружиной 6, затяг которой может регулироваться винтом 8.

Положение иглы определяется действием двух сил (см. рис. 1б): силы затяга пружины F_n прижимающей иглу к седлу, и силы $F_{\text{н}}$ обусловленную действием давления топлива $P_{\text{ф}}$ на кольцевое сечение иглы $\pi(d_{\text{и}}^2 - d_{\text{к}}^2)/4$. При достижении давления топлива величины $P_{\text{оф}}$ (**давление открытия иглы форсунки**) сила $F_{\text{н}}$ превысит F_n и игла поднимется до упора, открывая доступ топлива к отверстиям распылителя. При этом сила давления топлива будет действовать уже на всю площадь поперечного сечения иглы $\pi d_{\text{и}}^2/4$, удерживая ее в этом положении до падения давления до $P_{\text{зф}}$ (**давление закрытия иглы**). Давление топлива, при котором игла садится на седло, меньше давления открытия на величину, определяемую соотношением:

$$\frac{P_{\text{зф}}}{P_{\text{оф}}} = 1 - \left(\frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{и}}}\right)^2$$

Это явление получило название **дифференциальный эффект иглы форсунки**.

Высота подъема иглы форсунки ограничивается упором и в зависимости от размеров форсунки и количества, пропускаемого ею топлива, находится в пределах 0,5-1,5 мм. С увеличением хода иглы растут динамические силы ее удара о седло и упор, что приводит к появлению наклепа и потере плотности посадки иглы. Посадочный конус иглы обычно принимается равным 60°. Посадочный конус седла в целях достижения узкой притирочной поверхности посадки, при которой достигается наиболее высокая плотность, принимается на 2° меньше. Игла и ее направляющее отверстие в распылителе являются прецизионными и изготовлены с высокой точностью. Путем селективного подбора выбирают пару «игла-направляющая» такой, чтобы зазор между ними укладывался в заданный технологический допуск, величина которого зависит от размеров, теплового режима работы, вязкости используемого топлива и находится в пределах 5-12 микрон. Скомплектованная таким образом пара является «неразлучной», и при эксплуатации их замена должна производиться только парами, без перекомплектации.

При температурах свыше 160-180°C на теле иглы образуются лаковые отложения, способствующие ее заклиниванию, а сопловые отверстия забиваются коксом.

Форсунка МАН двигателей серии МС

Время работа на тяжёлом горячем топливе, особенно на режимах маневрирования, требует для предотвращения зависания иглы при кратковременных остановках двигателя сохранения постоянства температур в зоне распылителя. С этой целью в новых конструкциях (МС-МЕ) предусмотрено постоянное прокачивание топлива через форсунки (см. рис. 2).

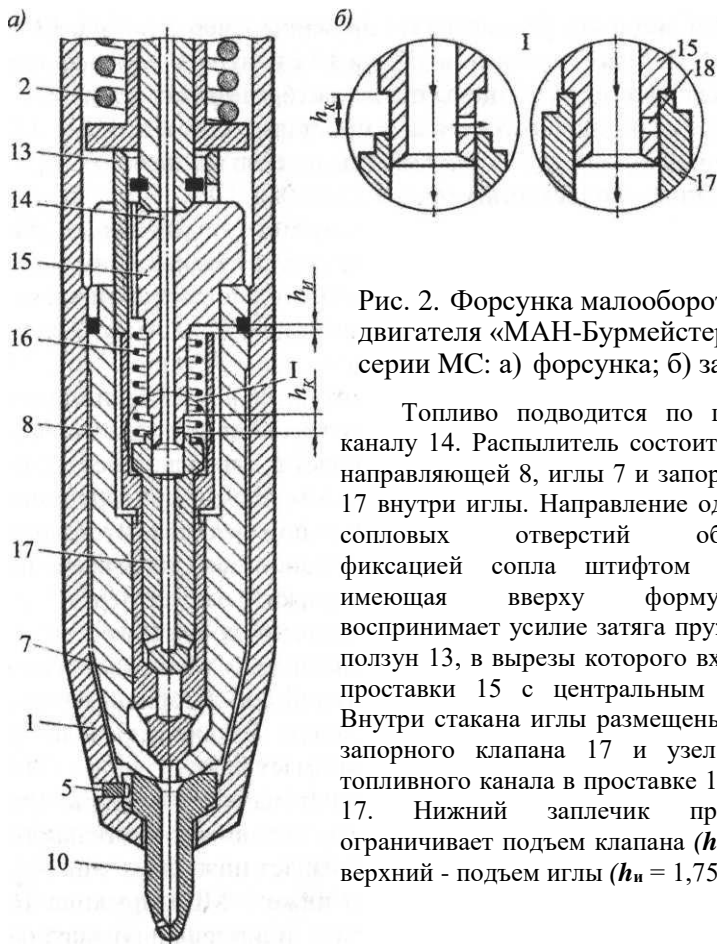


Рис. 2. Форсунка малооборотного двигателя «МАН-Бурмейстер и Вайн» серии МС: а) форсунка; б) запорный

Топливо подводится по центральному каналу 14. Распылитель состоит из сопла 10, направляющей 8, иглы 7 и запорного клапана 17 внутри иглы. Направление односторонних сопловых отверстий обеспечивается фиксацией сопла штифтом 5. Игла 7, имеющая сверху форму стакана, воспринимает усилие затяга пружины 2 через ползун 13, в вырезы которого входит головка проставки 15 с центральным каналом 14. Внутри стакана иглы размещены пружина 16 запорного клапана 17 и узел сопряжения топливного канала в проставке 15 и в клапане 17. Нижний заплечик проставки 15 ограничивает подъем клапана ($h_k = 3,5$ мм), а верхний - подъем иглы ($h_n = 1,75$ мм).

Форсунка обеспечивает циркуляцию нагретого топлива при неработающем двигателе (во время подготовки к пуску и при вынужденных остановках в море), а также в период между смежными впрысками, когда ролик толкателя плунжера обкатывает цилиндрическую часть шайбы.

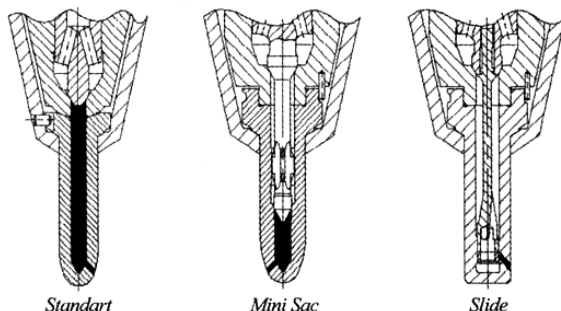
При стоянке двигателя, когда ТНВД находится в положении нулевой подачи (полости наполнения и нагнетания соединены), топливоподкачивающий насос при давлении 0,8 МПа подает топливо в нагнетательный топливопровод и канал 14 форсунки. Так как пружина 16 запорного клапана 17 имеет затяг 1 МПа, то клапан не поднимается, и топливо проходит через небольшое отверстие 18 в стакан иглы и далее вверх на слив. Таким образом, при стоянке любой продолжительности через форсунки циркулирует топливо с постоянной температурой и вязкостью.

При работе двигателя в период активного хода плунжера давление нагнетания практически мгновенно поднимает запорный клапан 17, и перепускное отверстие 18 перекрывается. Топливо проходит к дифференциальной площадке иглы 7 и поднимает иглу.

В конце активного хода плунжера вся система нагнетания быстро разгружается через рабочую полость насоса, так как нагнетательного клапана в нем нет. Когда давление топлива падает ниже давления $P_{зф}$, пружина 2 сажает иглу 7, а при давлении ниже 1 МПа пружина 16 опускает на место запорный клапан 17. Ролик толкателя плунжера на длительное время выходит на верх шайбы, и система нагнетания вновь прокачивается топливом до следующего активного хода плунжера.

Исследования, проведенные фирмой МАН на двигателях МС, показали, что объем внутренней полости соплового наконечника играет существенную роль в образовании в цилиндрах сажистых частиц и углеводородов (СН), а

Рис.3. Типы распылителей МОД МАН Дизель и Турбо серии МС-МЕ



также коксованию сопловых отверстий (см. рис. 3 **Standart**).

Уменьшение этой полости, достигнутое путем введения в канал сопла золотника, изготовленного за одно целое с иглой (см. рис. 3 **Mini Sac**), позволило существенно улучшить чистоту выхлопа. В двигателях серии МЕ использована новая конструкция распылителя (см. рис. 3 **Slide**), в которой объем топлива во внутренней полости соплового наконечника сведен практически к нулю путем установки уд-

линенного золотника. Такое конструктивное решение обеспечило снижение дымности ОГ и выброса оксидов азота.

К уменьшению объема камеры сопла сегодня прибегают и при производстве форсунок среднеоборотных двигателей.

В большинстве случаев отверстия в распылителях сверлятся. На выходе сверла образуются заусенцы, провоцирующие образование вихрей, приводящих к кавитационно-эрозионным разрушениям и быстрому износу отверстий. Поэтому, во избежание отмеченных явлений, ряд фирм, обладающих технологическими возможностями, применяют скругление кромок отверстий, чем существенно продлевают их ресурс.

В двигателях небольшой размерности сопловой наконечник изготавливают за одно целое с направляющей иглы форсунки. В мало- и среднеоборотных двигателях в целях **удешевления** изготовления и замены сопловых наконечников при их износе сопла изготавливают отдельно от основного корпуса распылителя.

Насос-форсунка двигателя Катепиллер с электронным управлением

Это изготовленные в одном корпусе форсунка и топливный насос с управляющей им электромагнитным клапаном. Насос приводится в действие распредвалом через толкатель. Когда управляющий клапан (рис. 3) находится в **нижнем** положении, он сообщает полость под плунжером через канал 2 с отсечкой (канал 1) и даже при движении плунжера вниз (ход нагнетания), давление под ним не будет расти. Последнее начнёт подниматься лишь после того, как включение соленоида потянет клапан вверх и посадит его на седло, полость под плунжером будет разобщена с отсечкой. Когда давление под плунжером а, следовательно, и под иглой достигнет 350 бар, начнётся впрыск топлива в цилиндр. Конец подачи происходит в момент прекращения подачи тока на соленоид. Клапан под действием пружины опускается вниз и сообщает полость нагнетания с отсечкой.

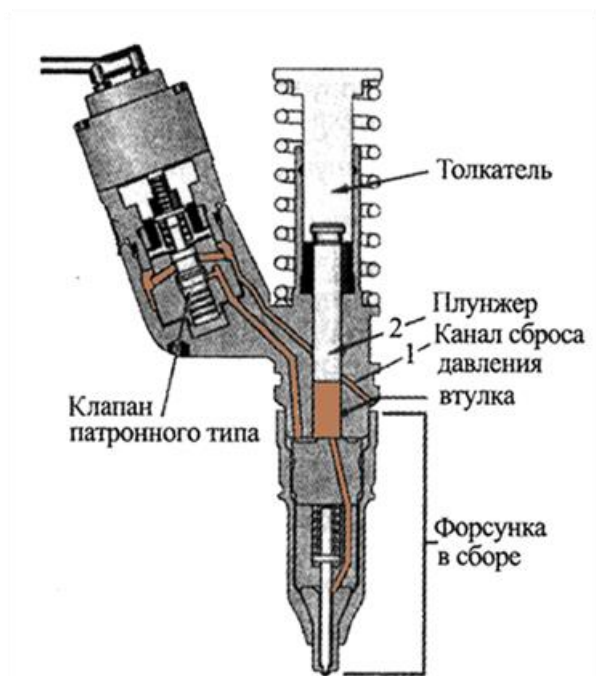


Рис.2. Насос-форсунка с электронным управлением

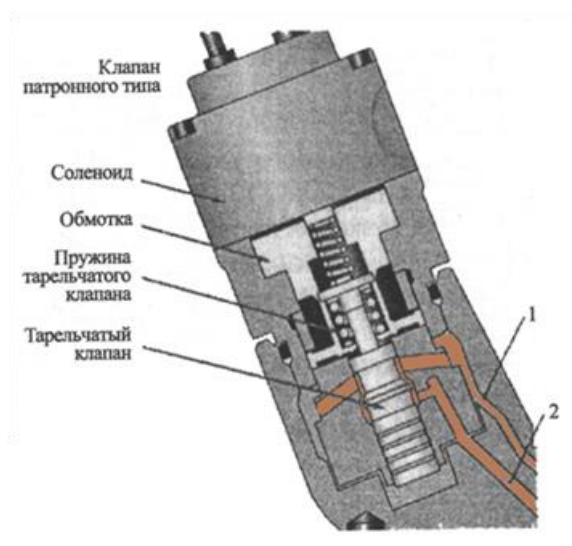


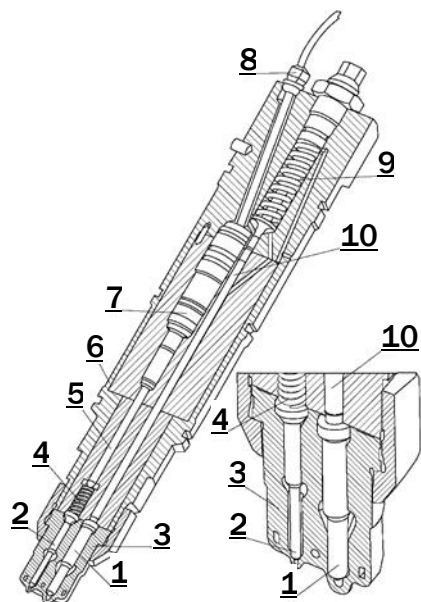
Рис. 3. Управляющий клапан

Форсунка газодизельного двигателя Вяртсила 50DF

Двигатель Wärtsilä 50DF имеет двухигольную форсунку. Большая игла используется в дизельном режиме, меньшая игла для запального топлива, когда двигатель работает на газе, а также в дизельном режиме для охлаждения сопел. Впрыск запального топлива управляется электронно, основной впрыск жидкого топлива управляется гидромеханически. Индивидуально управляемый соленоидный клапан позволяет оптимизировать момент и продолжительность впрыска запального топлива в каждый цилиндр,



Рисунок 1. Форсунка двигателя 50DF фирмы Wärtsilä.



1 — игла резервного топлива; 2 — игла запального топлива; 3 — корпус распылителя; 4 — пружина игольчатого клапана запального топлива; 5 — штанга клапана запального топлива; 6 — корпус форсунки; 7 — электрогидравлический привод клапана запального топлива; 8 — электрический разъем; 9 — пружина игольчатого клапана резервного топлива; 10 — штанга

когда двигатель работает на газе. Так как образование NOx весьма зависит от количества запального топлива, данная конструкция гарантирует низкий уровень образования NOx, в то время как обеспечивается устойчивый и надёжный источник воспламенения обеднённой газовой смеси в камере сгорания

Газовая форсунка с предкамерой Wärtsilä 34SG

Предкамера – это источник воспламенения для главного топливного заряда и один из важнейших компонентов двигателей, работающих на обеднённой смеси с воспламенением от искры.

Предкамера должна быть настолько малой насколько это возможно, чтобы добиваться низких значений NOx, но достаточно большой, чтобы обеспечить быстрое и надёжное воспламенение. Следующие факторы должны приниматься во внимание:

- форма и размер
- смешивание воздуха и топлива
- скорость газа и завихрения у свечи
- охлаждение предкамеры и свечи

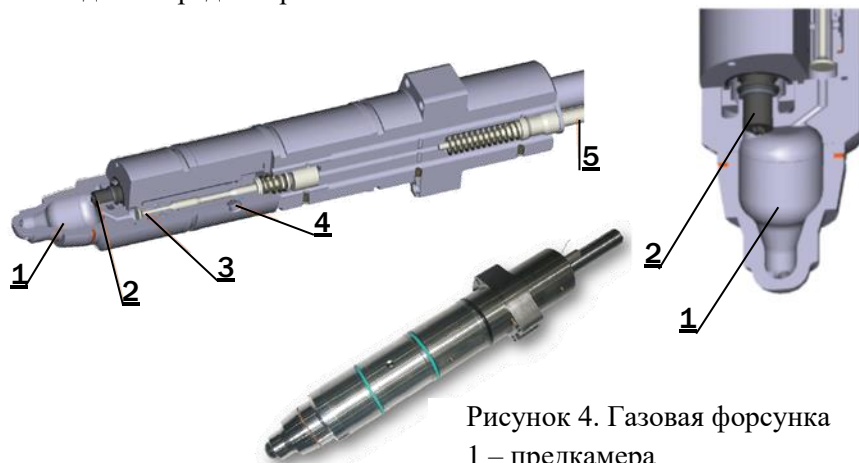


Рисунок 4. Газовая форсунка

- 1 – предкамера
- 4 - свеча зажигания
- 3 – клапан подачи газа
- 4 – подвод газа
- 5 – шток клапан подачи газа

выбор материала

Предкамера оптимизирована на стадии конструирования с использованием улучшенной трёхмерной компьютерной гидродинамики. На практике результат может быть виден в качестве:

- надёжного и мощного воспламенения
- высокой стабильности и эффективности сгорания

увеличенным сроком службы свечей
очень низким уровнем NOx

Газ поступает в предкамеру посредством механического клапана, приводимого от распредвала. Доказано, что это решение наиболее надёжно и даёт прекрасное смесеобразование в предкамере.

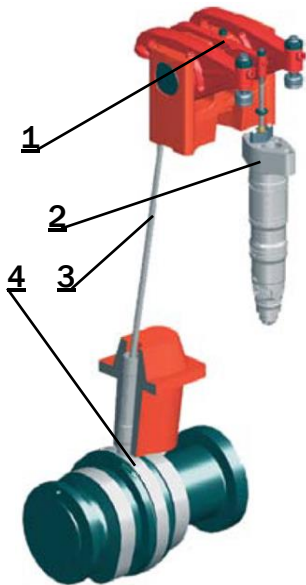


Рисунок 2. Привод газовой форсунки.

- 1 – коромысло
- 2 – газовая форсунка
- 3 – штанга
- 4 – кулачковая шайба

Газовая форсунка

Конструкция газовой форсунки показана на [рисунке. 22](#). Форсунка имеет традиционную компактную конструкцию. Газ поступает в газовую форсунку через канал в цилиндровой крышке. Для предотвращения протечки газа между цилиндровой крышкой и форсункой и между корпусом форсунки и направляющей иглы установлены уплотнительные кольца из тепло- и газостойкого материала (поз. 15 рисунок 22). Любая протечка через газовое уплотнительное кольцо и отверстие в форсунке будет поступать в

пространство между внутренней и наружной трубами двойных газовых труб и будет обнаружена ультразвуковым сенсором

Газ воздействует непрерывно на иглу форсунки под давлением примерно 250 бар. Открытие форсунки осуществляется ELGI клапаном, который работает используя масле из масляной системы двигателя.

Для предотвращения попадания газа в систему гидравлического масла через зазор иглы уплотнена маслом под давлением на 25-50 бар выше, чем давление газа (поз.2 [рисунок 22](#)).

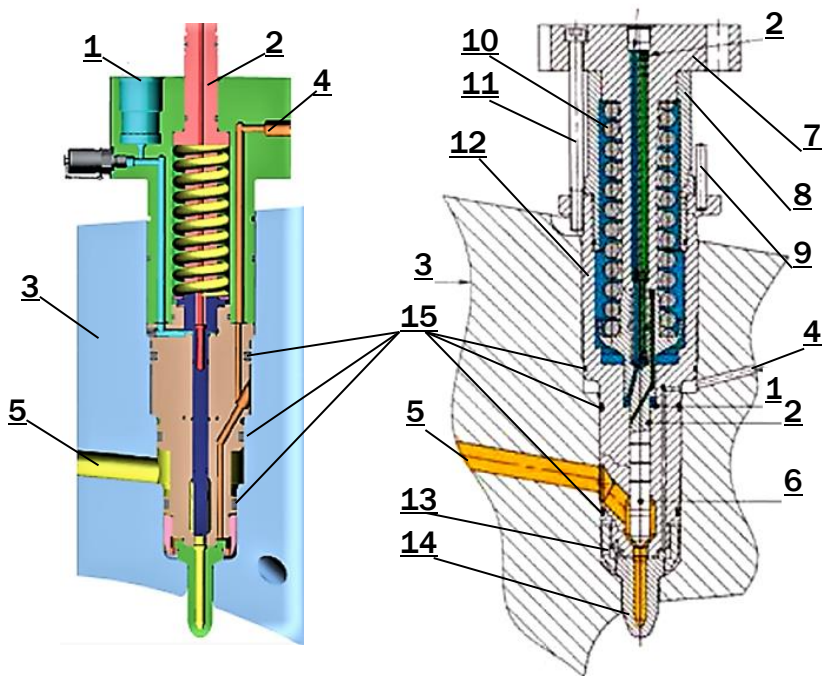


Рисунок 1. Газовая форсунка двигателя ME-GI:

1-Подвод управляющего гидравлического масла; 2- Подвод уплотнительного масла; 3-Крышка цилиндра; 4- Определение пропусков газа; 5 – Подвод газа; 6- Игла распылителя; 7 -Фланец; 8- Проставка; 9- Штифт (кокса); 10 – Пружина; 11 – Болт; 12 – Корпус форсунки; 13 - Накидная гайка крепления сопла; 14 – Сопло; 15 – Уплотнительные кольца.

Использованная литература:

Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 1./ И.В.Возницкий, А.С.Пунда – М.:МОРКНИГА, 2010.- 260 с. Стр. 174-179

Возницкий И. В. Судовые дизели и их эксплуатация / И.В.Возницкий, Е.Г.Михеев – М.:Транспорт, 1990. - 360 с Стр.128-129