

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХОДА ИГЛЫ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗНЫХ И СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Изложены основные неисправности форсунок тепловозных и судовых дизелей при увеличении хода иглы более чем на 50 % от нормативного значения — повышение температуры носика распылителя, прорыв цилиндрических газов в полость распылителя и образование кокса, уменьшение давления впрыскиваемого топлива. Предложен способ определения максимального хода иглы путем измерения длины хвостовика иглы и его условного уменьшения при посадке иглы на седло. Показаны устройство и принцип действия приспособления для определения максимального хода иглы распылителей. Выполнены чертежи основных деталей универсального приспособления для определения хода иглы распылителей с диаметром от 8 до 18 мм тепловозных и судовых дизелей, изготовлен опытный образец. Приведена методика определения перемещения (хода) иглы распылителей форсунок дизелей при помощи разработанного приспособления.

Ключевые слова: форсунки тепловозных и судовых дизелей, распылитель, ход иглы, неисправности, образец приспособления, методика.

Введение. Основным узлом форсунки для впрыска топлива является распылитель, от состояния которого зависит надежность, экономичность двигателя и токсичность отработавших газов [1]. Главными параметрами распылителя являются максимальный ход иглы, давление начала открытия иглы, эффективное проходное сечение. Оптимальные значения указанных параметров выбираются при доводке двигателя и должны соответствовать минимальному расходу топлива и токсичности отработавших газов, а также высокой стойкости против образования кокса в сопловых отверстиях. В работе [2] отмечено, что изменение максимального хода иглы с 0,3 мм до 0,5 мм приводит к увеличению температуры носика распылителя от 170 °С до 250 °С, что может привести к образованию кокса в распылителях [3]. При увеличении хода иглы нарушается контакт конуса иглы и посадочного конуса корпуса распылителя. В результате утечек топлива через запирающий конус происходит закоксовывание сопловых отверстий [4].

В работе [5] отмечается, что при ходе иглы более 1,2 мм заметно возрастает энергия удара подвижных масс форсунки при посадке иглы на седло и при подходе к ограничителю упора. Последнее обстоятельство приводит к износу запорных поверхностей, нарушению герметичности, подтеканию форсунки и быстрому выходу ее из строя.

В процессе длительной эксплуатации дизеля максимальный ход иглы увеличивается по причине пластической деформации металла в посадочном конусе иглы и торце корпуса форсунки, который ограничивает подъем иглы (наклёп, сжатие, сдвиг и срез металла). Увеличение максимального хода иглы на 50 % от номинального значения считается неисправным состоянием распылителя, а более 70 % — отказом [2]. По этой причине необходим контроль изменения хода иглы распылителя. В данной работе предлагается конструкция универсального приспособления и его применение при определении хода иглы распылителей тепловозных, судовых и других дизелей.

1. Форсунки тепловозных и вспомогательных судовых дизелей. На рис. 1 приведен разрез форсунки двигателя типа 8ЧН 26/26 (а), который может быть применен в качестве тепловозного или вспомогательного судового дизеля [6]. Из анализа рис. 1 следует, что игла достигла упора (полный ход) и совершается процесс впрыска топлива.

Первоначальная ширина посадочного пояска нового распылителя не должна превышать 0,1 — 0,2 мм [7]. Следует отметить, что при росте хода иглы увеличивается ширина пояска посадочного конуса, который можно сравнить с местным сопротивлением. Игла перемещается к сопловому наконечнику. При подъеме иглы топливо под

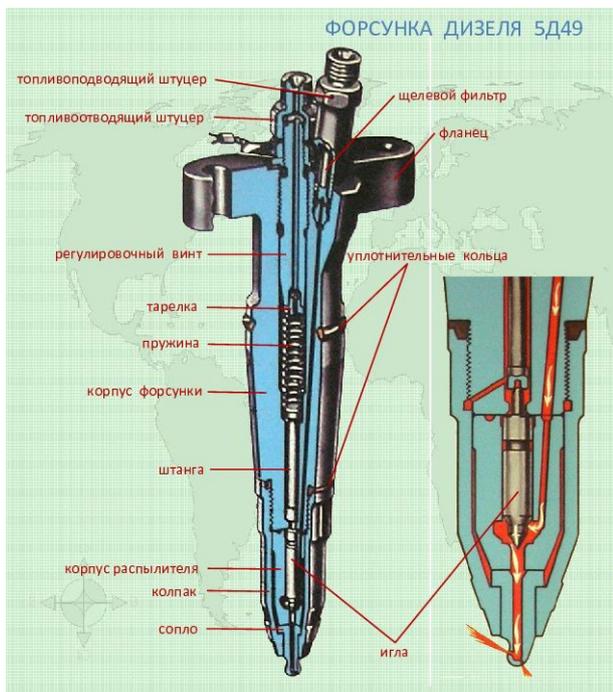


Рис. 1. Общий вид форсунки дизеля 8ЧН 26/26

Источник: https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&text=%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B8%D0%B9%20%D0%B2%D0%B8%D0%B4%20%D1%84%D0%BE%D1%80%D1%81%D1%83%D0%BD%D0%BA%D0%B8%20%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B5%D0%BB%D1%8F%20%D0%A7%D0%9D%2026%2F26&pos=3&img_url=https%3A%2F%2Fs0.slide-share.ru%2Fs_slide%2Fb7771dbdf16dc848d00cec8831ef66a0%2F1a5a8fad-7c8c-4ba1-8af5-6d86c69d0ed7.jpeg&rpt=simage

действием перепада давления движется через данное местное сопротивление (цилиндрическая щель усеченного конуса) и теряет свою кинетическую энергию. Давление топлива за местным сопротивлением снижается, что приводит к нарушению баллистики факела и мелкости распыливания топлива. Процесс сгорания топлива ухудшается, снижается мощность дизеля, увеличивается расход топлива и токсичность отработавших газов.

Техническое состояние распылителя с достаточной для практики точностью можно определить по изменению его максимального хода. В процессе эксплуатации контроль хода иглы распылителей возможен индуктивным датчиком [2] при установке его в корпус форсунки или применения приспособления для определения максимального хода иглы распылителя форсунки при её ремонте.

Для конструктивной разработки прибора при определении максимального хода иглы распылителя форсунки необходимо знать диаметр иглы в цилиндрической части, диаметр хвостовика, его длину и максимальный ход иглы до торца корпуса форсунки. В табл. 1 даны основные характеристики форсунок дизеля типа 8ЧН 26/26.

При увеличении хода иглы более допустимого значения нарушается процесс топливоподачи, повышается расход топлива и увеличивается токсичность отработавших газов, происходит

Таблица 1

Основные параметры форсунок дизеля 8ЧН 26/26

Параметры	
1. Давление, при котором открывается игла $P_{\text{фо}}$, МПа	34,4
2. Диаметр иглы и хвостовика, мм	8/4
3. Длина хвостовика, мм	6,5
4. Максимальный ход иглы, мм	0,75
5. Число и диаметр сопловых отверстий	9,0/0,39

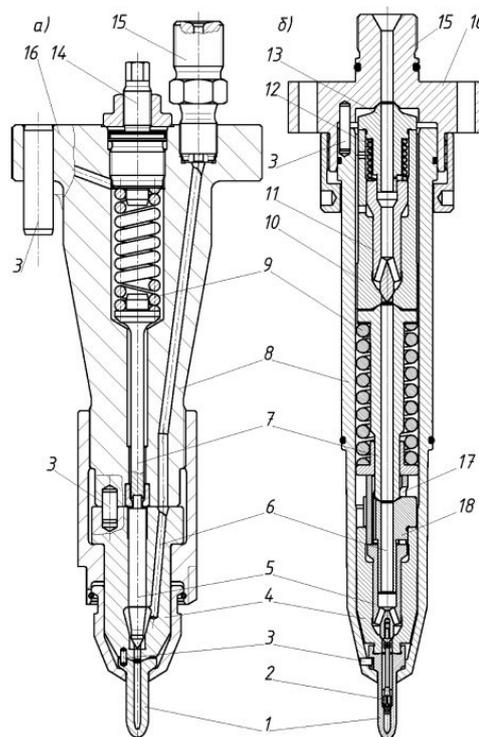


Рис. 2. Форсунки судовых малооборотных дизелей: слева — дизели RTA 58 T фирмы Wartsila; справа — дизели MC фирмы MAN.

- 1 — наконечник распылителя с сопловыми отверстиями; 2 — подвесной клапан; 3 — установочный штифт; 4 — корпус распылителя; 5 — игла распылителя; 6 — канал подвода топлива к распылителю; 7 — штанга; 8 — корпус форсунки; 9 — пружина; 10 — корпус циркуляционного клапана; 11 — циркуляционный клапан; 12 — пружина циркуляционного клапана; 13 — упор циркуляционного клапана; 14 — винт для регулировки давления начала открытия иглы; 15 — штуцер подвода топлива; 16 — фланец крепления форсунки; 17 — промежуточный упор; 18 — направляющая иглы

прорыв цилиндрических газов в полость распылителя и образование кокса в сопловых отверстиях [3].

Самым простым, но не точным и трудоемким методом определения максимального хода иглы является замер длины хвостовика до торца

Основные параметры распылителей судовых дизелей

Параметры	ДКРН 26/98	ДКРН 35/105	ДКРН 42/136	ДКРН 60/229	ДКРН 60/195
1. Давление начала впрыскивания, МПа	$30^{+2,5}$	$30^{+2,5}$	$30^{+2,5}$	$30^{+2,5}$	$30^{+2,5}$
2. Диаметр иглы, мм	12,5	12,5	12,5	17,0	17,0
3. Ход иглы, мм	1,6	1,6	1,6	1,75	1,75
4. Количество и диаметр отверстий распылителя, мм	5/0,5	5/0,67	4/0,9	6/1,02	6/1,02

иглы штангенциркулем (например, $l_{хи} = 6,5$ мм). Затем игла вставляется в корпус распылителя до упора в посадочный конус и измеряется длина хвостовика до торца корпуса иглы (например, $l_{хк} = 5,8$ мм). Если в торце корпуса форсунки имеется углубление от ударов иглы, то дополнительно определяется ее величина (например, $h_{кф} = 0,1$ мм).

Максимальный ход иглы определяется по формуле

$$h_{\max} = (l_{хи} - l_{хк}) + h_{кф} =$$

$$= (6,5 - 5,8) + 0,1 = 0,8 \text{ мм.} \quad (1)$$

2. Форсунки судовых дизелей. Отличительной особенностью форсунок малооборотных дизелей (МОД) является наличие в них сменных наконечников многоструйных распылителей (рис. 2) [6, 8, 9].

Внутренний диаметр направляющей части корпуса распылителя из конструктивных соображений выбирается равным 12–18 мм при ходе иглы от 1,6 до 1,8 мм. Наружный диаметр выходной части штока прибора для измерения хода иглы должен быть на 0,1–0,2 мм меньше, чем внутренний диаметр корпуса распылителя. Перемещение иглы ограничивается упором в корпусе форсунки. Для проведения качественных работ по диагностированию топливной аппаратуры малооборотных дизелей необходимо иметь современные приборы, оборудование и знать ее реальные конструктивные и регулировочные параметры.

В табл. 2 приведены основные параметры топливной аппаратуры МОД судовых дизелей, выпускаемые ОАО «Брянский машиностроительный завод» [6, 9]. Условное обозначение судового дизеля 6-ДКРН 60/229 следующее: 6 — число цилиндров; Д — двухтактный; К — крейцкопфный; Р — реверсивный; Н — с наддувом; 60/229 — диаметр цилиндра и ход поршня в см. Крейцкопф — ползун. Цилиндровая мощность 2044 кВт, цикловая подача 56 см^3 , диаметр и ход плунжера 63/65,3 мм.

Для контроля максимального хода иглы распылителей с диаметром направляющей от 8 до 18 мм предлагается универсальное приспособление с набором штоков, выходной диаметр которых зависит от диаметра направляющей части иглы, диаметра и длины хвостовика.

На рис. 3а показан общий вид приспособления для определения максимального хода иглы

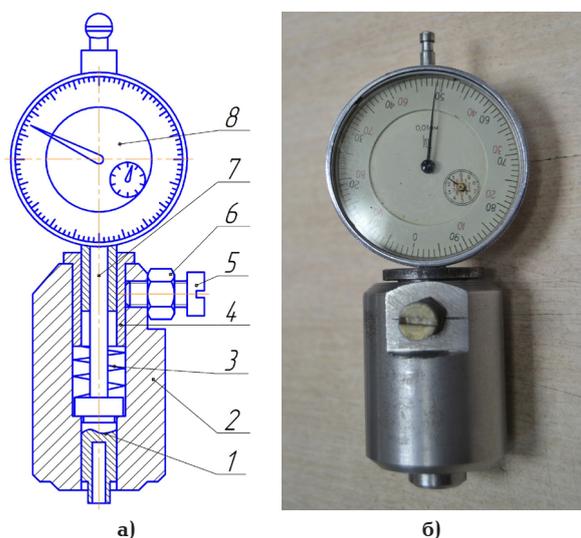


Рис. 3. Разрез и общий вид универсального приспособления для определения хода иглы автомобильных (а)

и тепловозных, судовых дизелей (б): 1 — шток; 2 — корпус приспособления; 3 — пружина; 4 — крепежная втулка; 5 — винт зажимной; 6 — контргайка; 7 — подвижный шток; 8 — индикатор
(Источник для рис. 3б: опытный образец, сделанный автором)

диаметром 6 мм автомобильных двигателей [2, 3], которое явилось прототипом разработанного универсального приспособления (рис. 3б) для оценки хода иглы распылителей форсунок тепловозных, основных и вспомогательных судовых дизелей.

Перед началом измерения хода иглы торцы штока 1 и корпуса 2 устанавливают в равное положение (например, при помощи поверхности притирочной плиты). Стрелку индикатора 8 устанавливают на нуль. В отверстие штока 1 вводится хвостовик иглы и плотно прижимается к торцевой поверхности корпуса распылителя. Шток 1 опускается на глубину хода иглы форсунки дизеля (например, на 0,4 мм). По показанию стрелки индикатора определяют ход иглы. При износе опорной поверхности корпуса форсунки измеряют глубину деформации и суммируют ее с ходом иглы.

Наибольший диаметр циферблата индикатора 8 равен 56 мм. Максимальный ход подвижного штока 7 индикатора соответствует 10 мм.

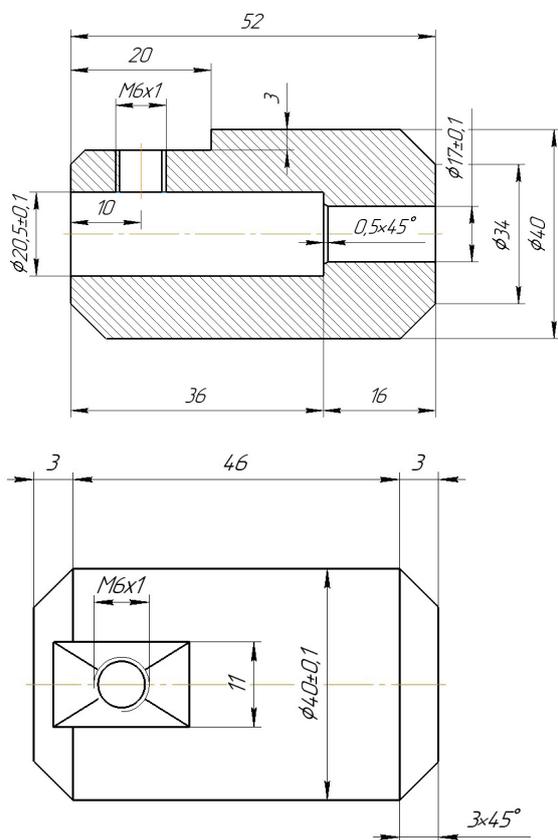


Рис. 4. Корпус приспособления для измерения максимального хода иглы

На циферблате имеется малая стрелка и шкала с ценой деления 1 мм (полная шкала до 10 мм). Подвижный шток может выдвигаться до 10 мм. Большая стрелка показывает выдвижение штока 7 в сотых долях мм. Одно деление шкалы циферблата равно 0,01 мм. Если при измерении хода иглы большая стрелка указывает на 30, это соответствует 0,3 мм. Относительная погрешность данного измерения составит 0,5 % [6].

3. Разработка основных деталей универсального приспособления для определения хода иглы распылителей тепловозных и судовых дизелей. Главными деталями приспособления для измерения хода иглы является корпус (рис. 4),

шток (рис. 5), втулка (рис. 6). Материалом корпуса, штока и втулки может быть сталь марки от 20 до 40.

Корпус. Внешний диаметр корпуса 2 (см. рис. 3 и 4) равен 40 мм, высота (длина) 52 мм. Наибольший диаметр отверстия корпуса 2 равен $20,5^{+0,1}$ мм, глубина 36 мм. Наименьший диаметр корпуса 2 равен $17^{+0,1}$ мм, длиной 16 мм.

Шток. Общая длина штока 1 (см. рис. 3 и рис. 5а) равна $24^{+0,1}$ мм, наибольший (верхний) диаметр равен $20^{+0,1}$ мм и шириной 3 мм, средний внешний диаметр $16,6^{+0,1}$ мм, длиной 21 мм (для измерения хода иглы диаметром 17–18 мм). Диаметр отверстия для входа хвостовика иглы 8 мм, глубина 19 мм.

Для измерения хода иглы диаметром 12,5 мм диаметр штока 16,6 мм от торца на расстоянии 5 мм протачивается диаметр 16,6 мм до диаметра 12 мм (рис. 5б). Внутренний диаметр отверстия штока, в который входит хвостовик иглы, будет равен $6,0^{+0,1}$ мм. Для определения хода иглы с диаметром направляющей иглы менее 8 мм уменьшается диаметр штока до 7,9 мм и диаметр отверстия в корпусе для штока с 17 мм до 8 мм. Концевая часть штока протачивается длиной в 5 мм до диаметра 5,9 мм или 4,9 мм для игл с диаметром 6 или 5 мм.

На рис. 6а показан условный чертеж штока для измерения хода иглы с диаметром иглы распылителя от 8,0 до 18 мм, позволяющий выполнить различные варианты приспособления для одинаковых линейных размеров корпуса, но различном диаметре игл.

Для определения размеров внешних и внутренних диаметров штока при измерении максимального хода иглы для тепловозных, вспомогательных и главных судовых дизелей с диаметром иглы распылителя форсунки (от 8 до 18 мм) и хвостовика (от 4 до 9 мм) рекомендуется табл. 3. Знаком диаметра \varnothing указаны числовые значения диаметров штока с учетом значения диаметра иглы. Глубина отверстия под хвостовик иглы может быть увеличена до 19 мм в зависимости от конструкции распылителя.

Втулка крепежная разрезная (см. рис. 6б). Общая длина втулки 20 мм. Наибольший наружный диаметр 30 мм, ширина 3 мм. Малый наружный диаметр 20 мм, длиной 17 мм. Внутренний

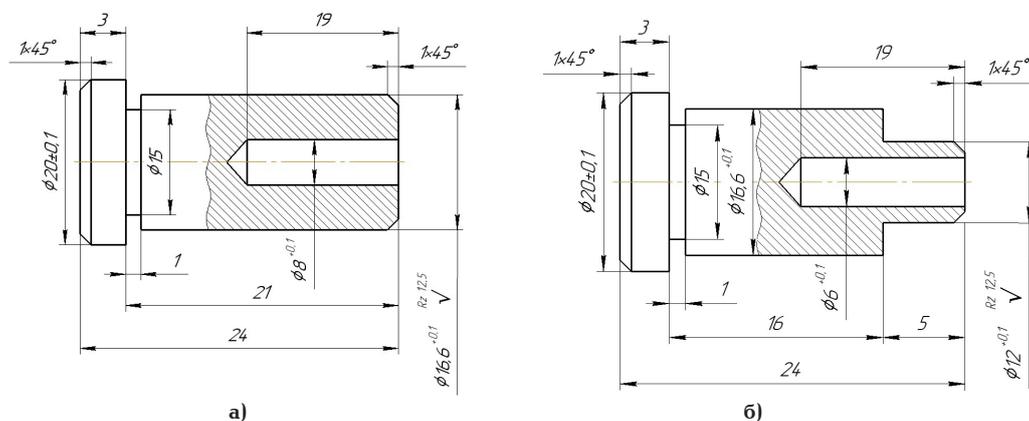


Рис. 5. Шток для измерения хода иглы с диаметром направляющей 17,0–18,0 мм (а) и 12,5–15,0 мм (б)

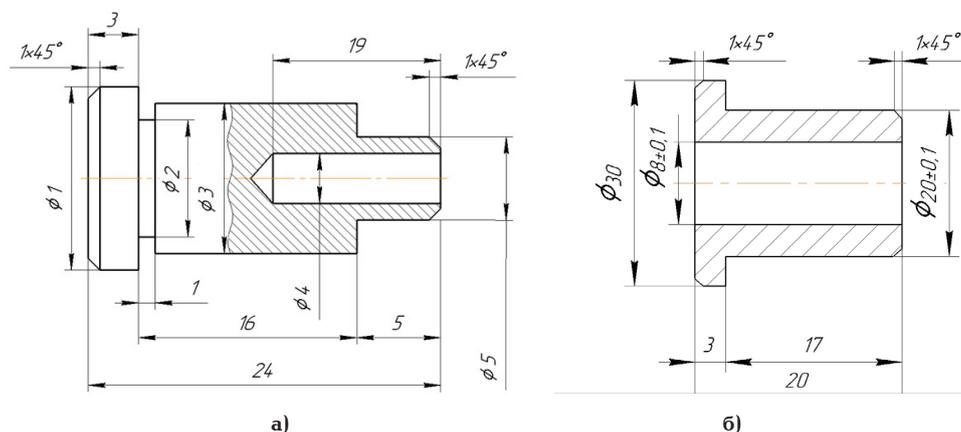


Рис. 6. Условный чертёж штока для измерения хода иглы с диаметром игл распылителей от 8,0 до 18 мм (а). Втулка крепежная разрезная (б)

Таблица 3

Размеры диаметров штока прибора для измерения максимального хода иглы при ее диаметре от 8 до 18 мм

Диаметр иглы	Ø1, мм	Ø2, мм	Ø3, мм	Ø4, мм	Ø5, мм
1. 8,0 мм	20 ^{±0,1}	15 ^{±0,1}	16,6 ^{+0,1}	4,5,0 ^{+0,1}	7,7 ^{-0,1}
2. 12,5 мм	20 ^{±0,1}	15 ^{±0,1}	16,6 ^{+0,1}	6,0 ^{+0,1}	12,0 ^{-0,1}
3. 17,0 мм	20 ^{±0,1}	15 ^{±0,1}	16,6 ^{+0,1}	8,0 ^{+0,1}	16,0 ^{-0,1}
4. 18,0 мм	20 ^{±0,1}	15 ^{±0,1}	16,6 ^{+0,1}	9,0 ^{+0,1}	17,0 ^{-0,1}

диаметр втулки для крепления индикатора равен $8 + 0,1$ мм. Втулка разрезана с двух сторон шириной 2–3 мм на всю длину 20 мм. Чертеж втулки показан без разреза, который выполняется ножовочным полотном во время сборки прибора.

Пружина. Пружина 3 (см. рис. 3а) имеет длину в свободном состоянии 20 мм, диаметр проволоки 1 мм. Наружный диаметр пружины 19 мм, шаг 3 мм, жесткость 2–4 Н/мм, материал сталь 65Г [10]. В собранном состоянии прибора пружина 3 будет сжата. Для размещения пружины в полости длиной 15 мм $[36 - (18 + 3)] = 15$ мм ее длину, равную 20 мм, необходимо сжать на 5 мм. Сила пружины в сжатом состоянии будет равна

$$F = c \cdot \Delta x = 2 \cdot 5 = 10 \text{ Н}, \quad (2)$$

где c — жесткость пружины, Н/мм; Δx — величина сжатия пружины, мм.

Размеры остальных деталей прибора для измерения хода иглы уточняются в зависимости от конструкции распылителей форсунок дизелей. Универсальное приспособление может иметь переносной чемоданчик (футляр), в котором компактно размещаются индикатор, два корпуса (один для распылителей с диаметром игл от 8 до 18 мм, другой — для игл с диаметром от 4 до 8 мм), набор штоков для определения хода игл от 4 до 18 мм.

Выводы

1. Рассмотрены неисправности форсунок тепловозных и судовых дизелей при увеличении хода иглы на 50 % и более от требуемого номинального значения, что способствует повышению температуры носика распылителя, прорыву газов в полость распылителя и образованию кокса, изменению давления впрыскиваемого топлива.
2. Предложен способ определения максимального хода иглы путем измерения длины хвостовика иглы и разности его условного размера при посадке иглы на седло.
3. Показано устройство приспособления, рассмотрен принцип его действия и приведена методика определения максимального хода иглы распылителей.
4. Выполнены чертежи деталей универсального приспособления для определения хода иглы с диаметром от 8 до 18 мм, изготовлен опытный образец.

Библиографический список

1. Трусов В. И., Дмитриенко В. П., Масляный Г. Д. Форсунки автотракторных дизелей. Москва: Машиностроение, 1977. 167 с.
2. Макушев Ю. П., Жигадо А. П., Волкова Л. Ю. Системы подачи топлива и воздуха дизелей. Омск: Изд-во СибАДИ, 2017. 208 с.

3. Володин А. И., Михайлова Л. Ю., Макушев Ю. П. Причины образования кокса в сопловых отверстиях распылителей форсунок дизелей // Омский научный вестник. 2013. № 1 (117). С. 59–63.
4. Марденский В. П. Топливная аппаратура судовых дизелей. Москва: Транспорт, 1973. 168 с.
5. Лышевский А. С. Системы питания дизелей. Москва: Машиностроение, 1981. 216 с.
6. Макушев Ю. П., Жигадо А. П., Волкова Л. Ю. Конструктивные особенности систем подачи топлива современных дизелей. Омск: Омск: Изд-во СибАДИ, 2020. 210 с.
7. Чиркин А. П., Резник И. И. Дизельная топливная аппаратура. Справочник. Москва: Машиностроение, 1963. 169 с.
8. Конкс Г. А., Лашко В. А. Современные подходы к конструированию поршневых двигателей. Москва: Моркнига, 2009. 388 с. ISBN 978-5-903080-53-3.
9. Конкс Г. А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. Москва: Машиностроение, 2005. 512 с. ISBN 5-217-03290-1.
10. Гжиров Р. И. Краткий справочник конструктора: Справочник. Ленинград: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1983. 464 с.

ВОЛКОВА Лариса Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики Калининградского государственного технического университета, г. Калининград.
SPIN-код: 9822-6287
AuthorID (РИНЦ): 1013467
AuthorID (SCOPUS): 57210983249
Адрес для переписки: volkova0969@mail.ru

Для цитирования

Волкова Л. Ю. Разработка универсального приспособления для определения хода иглы распылителей тепловозных и судовых дизелей // Омский научный вестник. 2022. № 1 (181). С. 13–18. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-181-13-18.

Статья поступила в редакцию 27.12.2021 г.
© Л. Ю. Волкова