



Фиг.



(19) **ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ӘДІЛЕТ МИНИСТРЛІГІ  
ЗИЯТКЕРЛІК МЕНШІК ҚҰҚЫҒЫ КОМИТЕТІ**

## **ӨНЕРТАБЫСҚА**

(П) **№ 28001**

(12) **ИННОВАЦИЯЛЫҚ ПАТЕНТ**

(54) АТАУЫ: ЖАНАРМАИДЫҢ Т03АНҒА АЙНАЛДЫРУ ҚЫСЫМЫН АНЫҚТАУ  
ТӘСІЛІ

(73) ПАТЕНТ ИЕЛЕНУШІСІ: Қазақстан Республикасы Білім және ғылым  
министрлігінің "С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті"  
шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны

(72) АВТОР (АВТОРЛАР): Каракаев Абылхан Космурзаевич

(21) №Өтінім 2013/0573.1

(22) Өтінім берілген күн 29.04.2013

Қазақстан Республикасы өнертабыстардың мемлекеттік тізілімінде тіркелді 20.12.2013ж.

Инновациялық патенттің күші Қазақстан Республикасының бүкіл аумағында, оны  
күшінде ұстау үшін ақы уақтылы төленген жағдайда сақталады.

**Қазақстан Республикасы Әділет министрлігі  
Зияткерлік меншік құқығы комитетінің  
торағаеы**

**А. Естайев**

Озгерістер енгіз) туралы мәліметтер осы инновациялық патентке қосымша г^ріндежеіо: паракта келтірілоі

**001511**



(19) **КОМИТЕТ ПО ПРАВАМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
МИНИСТЕРСТВА ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

(12) **ИННОВАЦИОННЫЙ ПАТЕНТ**

(11) **№ 28001**

**НА ИЗОБРЕТЕНИЕ**

(54) **НАЗВАНИЕ: СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ РАСПЫЛИВАНИЯ  
ТОПЛИВА**

(73) **ПАТЕНТООБЛАДАТЕЛЬ:** Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова" Министерства образования и науки Республики Казахстан

(72) **АВТОР (АВТОРЫ):** Каракаев Абылхан Космурзаевич

(21) **Заявка № 2013/0573.1**

(22) **Дата подачи заявки 29.04.2013**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Казахстан 20.12.2013г.

Действие инновационного патента распространяется на всю территорию Республики Казахстан при условии своевременной оплаты поддержания инновационного патента в силе.

**Председатель Комитета по правам  
интеллектуальной собственности  
Министерства юстиции Республики Казахстан**

 **А. Естаев**

Сведения о внесении изменений приводятся на отдельном листе в виде приложения к настоящему инновационному патенту



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) A4 (11) 28001  
(51) F02M 65/00 (2006.01)

КОМИТЕТ ПО ПРАВАМ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
МИНИСТЕРСТВА ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ИННОВАЦИОННОМУ ПАТЕНТУ

(21) 2013/0573.1

(22) 29.04.2013

(45) 25.12.2013, бюл. №12

(72) Каракаев Абылхан Космурзаевич

(73) Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова" Министерства образования и науки Республики Казахстан

(56) Каракаев А. К. Гидродинамика впрыскивания топлива в дизелях. -Павлодар: Издательство «КЕРЕКУ» ПГУ им. С. Торайгырова, 2007. с. 121

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ РАСПЫЛИВАНИЯ ТОПЛИВА

(57) Изобретение относится к области распыливания жидкостей, например, к области впрыскивания топлива форсункой в цилиндр дизеля.

Способ определения давления распыливания топлива, заключающийся в том, что

экспериментально путём осциллографирования или на основе гидродинамического расчёта топливной системы определяют давление распыливания топлива перед сопловыми отверстиями распылителя и по этому давлению скорость распыливания топлива на выходе из сопловых отверстий  $w_c$ , отличается тем, что давление распыливания топлива  $Ap_c$  определяют по формуле  $Ap_c = w_c^2 \rho$  из волнового уравнения  $w_c = Ap_c / (\rho c)$ , где  $c$  - скорость звука в топливе,  $\rho = \gamma/g$  - удельная плотность топлива,  $\gamma$  - удельный вес топлива,  $g$  - ускорение свободного падения.

Технический результат - повышение точности определения давления распыливания топлива и тем самым повышение надёжности работы и срока службы форсунок, а следовательно, всей топливной системы и всего двигателя в целом.

Изобретение относится к области распиливания жидкостей, например, к области распиливания топлива форсункой в цилиндр дизеля.

Известен способ определения давления распиливания топлива, заключающийся в том, что по определённому на безмоторном топливном стенде секундному расходу топлива ( $Q_0 = u^c f^c \sqrt{v^c}$ , где  $Q_0$ -секундный расход топлива ( $\text{см}^3/\text{с}$ ),  $u^c$ - суммарная эффективная площадь сопловых отверстий ( $\text{см}^2$ ),  $v^c$ -коэффициент расхода сопловых отверстий;  $f^c$ - суммарная геометрическая площадь сопловых отверстий ( $\text{см}^2$ ),  $\sqrt{v^c}$ - скорость впрыскивания топлива на выходе из сопловых отверстий ( $\text{см}/\text{с}$ )), вычисляя  $w^c = Q_0 / (H^c f^c)$  по значению  $w^c$  определяют давление впрыскивания топлива на основании уравнения Бернулли для установившегося движения жидкости  $p^c = p_0 - \rho w^{c^2} / 2$ , где  $\rho$ -удельная плотность топлива ( $\text{кг}\cdot\text{с}^2/\text{см}^4$ ) [Каракаев А. К. Двигатели внутреннего сгорания: Учебное пособие - практикум по системам питания, автоматического регулирования и управления двигателями. -Павлодар: Научный издательский центр ПТУ им. С. Торайгырова, 2003. с.274].

Определение давления распиливания топлива на основании уравнения Бернулли для установившегося движения жидкости  $p^c = p_0 - \rho w^{c^2} / 2$  является недостатком аналога, так как не соответствует действительности и не обеспечивает необходимой точности определения  $p^c$ .

Ближайшим прототипом является способ определения давления распиливания топлива, заключающийся в том, что как давление распиливания топлива определяют давление в колодце распылителя перед сопловыми отверстиями экспериментально путём осциллографирования или на основе гидродинамического расчёта топливной системы, состоящей из топливного насоса и форсунок, соединённых между собой нагнетательными трубопроводами [Каракаев А. К. Гидродинамика впрыскивания топлива в дизелях. - Павлодар: Издатель-ство «КЕРЕКУ» ПГУ им. С. Торайгырова, 2007. с. 121].

Недостаток прототипа заключается в сложности гидродинамического расчёта топливной системы и в сложности осциллографирования, а также в то, что не учитывается то обстоятельство, что основным в принципе работы форсунок является нестационарность процесса, получение волн, которые и приводят к распаду жидкости на капли.

Сущность изобретения заключается в следующем.

Учитывая волновой характер распространения возмущений от начала нагнетательного трубопровода до кармана распылителя, в существующих гидродинамических методах для расчёта движения топлива в щели под иглой, в колодце и сопловых отверстиях распылителя, а также распад струи и развитие факела топлива рассматриваются как стационарное или квазистационарное движение и истечение жидкости, В работах автора движение топлива считалось волновым до выходных кромок сопловых отверстий распылителя, были рассмотрены путём

имитационного моделирования 10 вариантов расчёта, которые дали при определении давления в колодце распылителя  $p^c = p^k$  хорошее совпадение с экспериментом, однако скорость истечения топлива при известном в колодце распылителя давлении  $p^c = p^k$  считалось по уравнению Бернулли для установившегося движения жидкости, что, естественно, не соответствует действительности [Каракаев А. К. Двигатели внутреннего сгорания: Учебное пособие - практикум по системам питания, автоматического регулирования и управления двигателями. -Павлодар: Научный издательский центр ПТУ им. С. Торайгырова, 2003. с.274].

Известно, что для установившегося процесса вообще опускают члены, соответствующие локальной нестационарности, а по самому режиму работы форсунок устойчивого стационарного режима не получается, основным же в принципе работы форсунок является нестационарность процесса, получение волн, которые и приводят к распаду жидкости на капли [Витман Л.А., Кацнельсон Б. Д., Палеев И. И. Распыливание жидкости форсунками / Под ред. акад. С. С. Кутателадзе. - М.-Л: ГЭИ, 1962. с.264].

Вычисление скорости распиливания топлива  $w^c$  по волновому уравнению по известному  $p^c = p^k$  определённому экспериментально непосредственно перед сопловыми отверстиями или методами гидродинамического расчёта процесса распиливания топлива, основанными на методах исследования уравнений неустановившегося движения сплошной среды, не даёт удовлетворительных результатов, так как  $w^c$  получаются незначительными, намного уступая действительным  $w^c$ . А давления распиливания  $p^c$ , определённые по волновому уравнению при известных скоростях распиливания топлива  $w^c$ , по крайней мере на порядок превышает давление в колодце распылителя, определяемые экспериментом или расчётом.

Лышевский А. С. [Лышевский А. С. Процессы распиливания топлива дизельными форсунками. - М: Машгиз, 1963. с.180], ссылаясь на работы лаборатории физики сверхвысоких давлений АН СССР, например, [Некоторые исследования гидродинамики струи жидкости, вытекающей из сопла под давлением 1500 атм / Л. Ф. Верещагин, А. А. Семерчан, А. И. Фирсов и др.// ЖТФ. -1956. -Т. 26. - Вып. 11. с.2570-2577], заключает, что нарушения сплошности течения струи не было обнаружено даже при  $p > 100$  МПа ( $p > 1000$   $\text{кг}/\text{см}^2$ ), что объясняют следующим образом: «Для образования парогазовых участков струи при её дросселировании необходимо не только значительно снизить давление, но и повысить температуру. Однако после повышения температуры струи при её дросселировании через сопловые отверстия происходит расширение жидкости по выходе из него, которое сопровождается понижением температуры. Эти процессы противоположны по знаку и в значительной степени компенсируют друг друга. Нарушение компенсации происходит лишь при

очі  
возі  
рас  
при  
Льн  
Прс  
фог.  
пра  
обь  
  
пов  
дав  
уси  
взаі  
про  
соо  
е.  
пла  
тел  
ско  
наг  
МГ  
Рат  
вы<  
-М  
коі  
тел-  
в  
Раф  
вы<  
-М  
из\  
коі  
даі  
пр<  
  
даі  
кГ/  
сог  
наі  
пој  
рез  
соі  
Си  
дві  
Тр  
сні  
бу|  
прі  
Пр  
фо  
Ра<  
вы  
от\*  
рас  
соі  
рез  
  
оп|  
ТОІ  
ра(  
всє

очень высоких давлениях, тогда в струе могут возникнуть разрывы сплошности». По оценочным расчётам авторов для воды это явление наступит примерно при давлении 500 МПа (5000 кг/см<sup>2</sup>). Лышевский А.С. заключает [Лышевский А. С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками. -М.: Машгиз, 1963. с.180], что в практике распыливания жидкостей такие давления обычно почти не встречаются! Ой ли?!

После отражения волны сжатия от свободной поверхности в теле возникают отрицательные давления, т. е. на тело действует растягивающее усилие. Если растягивающее напряжение в области взаимодействия волн разрежения превышает предел прочности вещества на разрыв, то в соответствующем месте тела происходит разрыв, т. е. "откол": от поверхности тела откалывается пластинка материала и отделяется от остального тела, отлетая от поверхности с определенной скоростью, например, сталь при импульсных нагрузках разрушается при усилиях порядка 3000 МПа (30000 кг/см<sup>2</sup>) [Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. -М.: Наука, 1966. с.688], причём ширина зоны, в которой достигается такой интервал напряжений, тем меньше, чем быстрее происходит спад давления в волнах разрежения [Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. -М.: Наука, 1966. с.688]; при этом соответственно изменяется и шероховатость поверхности откола, которая резко уменьшается в области, где спад давления за фронтом ударной волны сжатия происходит гораздо быстрее.

У насос - форсунок двухтактных дизелей ЯМЗ давления достигают 120-150 МПа (1200-1500 кг/см<sup>2</sup>), что сопровождается интенсивным износом сопловых отверстий, а иногда обрывом соплового наконечника по распыливающим отверстиям или поломкой коромысла насос-форсунки в результате резкого повышения давления из-за засорения сопловых отверстий [Ховах М. С, Трусов В. И. Системы питания автомобильных дизельных двигателей. - 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Транспорт, 1967. с.188], признаками чего являются снижение эффективной мощности и густой светлый дым отработавших газов. Эти данные противоречат заключению [Лышевский А. С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками. -М.: Машгиз, 1963. с.180]. Распылители форсунок изготавливаются из высококачественной инструментальной стали, т. е. откол или обрыв соплового наконечника по распыливающим отверстиям из-за засорения сопловых отверстий происходит в результате резкого повышения давления свыше 30000 кг/см<sup>2</sup>.

Из вышеизложенного следует, что точное определение истинного давления распыливания топлива необходимо для повышения надёжности работы и срока службы форсунок, а следовательно, всей топливной системы и всего двигателя в целом,

что позволило обосновать и сформулировать ожидаемый технический результат.

Технический результат - повышение точности определения давления распыливания топлива и тем самым повышение надёжности работы и срока службы форсунок, а следовательно, всей топливной системы и всего двигателя в целом.

Технический результат достигается тем, что в способе определения давления распыливания топлива, заключающийся в том, что экспериментально путём осциллографирования или на основе гидродинамического расчёта топливной системы определяют давление распыливания топлива перед сопловыми отверстиями распылителя и по этому давлению скорость распыливания топлива на выходе из сопловых отверстий  $w_c$ , давление распыливания топлива  $D_{pc}$  определяют по формуле  $A_{pc} = w_c \cdot p$  из волнового уравнения  $w_c = A_{pc} / (c \cdot p)$ , где  $c$  - скорость звука в топливе,  $p = \gamma / g$  - удельная плотность топлива,  $\gamma$  - удельный вес топлива,  $g$  - ускорение свободного падения.

Заявляемый способ определения давления распыливания топлива от способа по прототипу отличается тем, что давление распыливания топлива  $D_{pc}$  определяют по формуле  $A_{pc} = w_c \cdot c \cdot p$  из волнового уравнения  $w_c = A_{pc} / (c \cdot p)$ , где  $c$  - скорость звука в топливе,  $p = \gamma / g$  - удельная плотность топлива,  $\gamma$  - удельный вес топлива,  $g$  - ускорение свободного падения.

Сущность изобретения поясняется чертежом.

Распылитель форсунки состоит из запорной иглы 1, корпуса распылителя 2, отъёмного соплового наконечника (тензодатчика-сопла) 3 с предсопловым каналом (колодцем) 4, тензодатчиком 5 и сопловыми отверстиями 6. Распылитель с отъёмным сопловым наконечником прижимается к корпусу форсунки гайкой 7. Запорная игла 1 и корпус распылителя 2 образуют карман распылителя 8. В корпус распылителя выполнен канал 9 для подвода топлива в карман распылителя 8 от топливного насоса.

При работе топливной системы топливо от топливного насоса поступает по каналу 9 в карман распылителя 8, повышая давление топлива в нём. Когда давление в кармане распылителя 8 станет равным давлению открытия запорной иглы 1, запорная игла 1 поднимается и открывает доступ топлива к предсопловому каналу 4 и к сопловым отверстиям 6, а тензодатчиком 5 осциллографируется давления распыливания топлива. По этому давлению определяется скорость распыливания топлива на выходе из сопловых отверстий  $w_c$  по уравнению Бернулли для установившегося движения жидкости

$$w_c = (2A_{pc}/p)^{0,5} = (2A_{pc}g/\gamma)^{0,5}, \quad (1)$$

где  $p = \gamma / g$  - удельная плотность топлива, кг-с<sup>2</sup>/см<sup>4</sup>;  
 $\gamma = 835 \text{ кг/м}^3 = 83510^{-6} \text{ кг/см}^3$  - удельный вес топлива;  
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2 = 981 \text{ см/с}^2$  - ускорение свободного падения.

При распыливание топлива в атмосферу принимаем:  $p_c = p^0 = A_{pc}$   
 $w_c = (2A_{pc}g/\gamma)^{0,5} = (2 \cdot 9810^6 A_{pc}c / 835)^{0,5}, \quad (2)$   
 где  $p^0$  - давление окружающей среды.

Определяем по формуле (2)  $w_c$  при разных  $Ar_c$ :  
 при  $Dr_c=500$  кг/см<sup>2</sup>:  $w_c = 343$  м/с= 34300 см/с;  
 при  $Ar_c=1000$  кг/см<sup>2</sup>:  $w_c = 485$  м/с= 48500 см/с;  
 при  $Ar_c=1500$  кг/см<sup>2</sup>:  $w_c = 594$  м/с= 59400 см/с;  
 при  $Ar_c=2000$  кг/см<sup>2</sup>:  $w_c = 685,5$  м/с= 68550 см/с.

Давление распыливания топлива согласно защищаемой формулы изобретения, т. е. из волнового уравнения  $w_c=Ar_c/(c-p)$  определяется по следующей формуле:

$$Ar_c = -c-p-w_c = -c-\gamma w_c / g. \quad (3)$$

Принимаем скорость звука в топливе  $c=1400$  м/с= 140000 см/с.

$$Ar_c = c\gamma w_c / g = 140000 \cdot 10^{-6} \cdot 835 - w_c / 981. \quad (4)$$

Давление распыливания топлива по волновому уравнению определим при следующих значениях скоростей распыливания топлива на выходе из сопловых отверстий  $w_c$ , м/с: 343; 485; 594; 685,5:

при $w_c=343$ М/С=34300 СМ/С	получается
$Ar_c=4087,30$ кг/см <sup>2</sup> ;	
при $w_c=485$ М/С=48500 СМ/С	получается
$Ar_c=5781,20$ кг/см <sup>2</sup> ;	
при $w_c=594$ М/С=59400 СМ/С	получается
$Ar_c=7080,48$ кг/см <sup>2</sup> ;	
при $w_c=685,5$ М/С=68550 СМ/С	получается
$Ar_c=8171,16$ кг/см <sup>2</sup> .	

Таким образом, заявляемый способ определения давления распыливания топлива позволяет более точно определить давление распыливания топлива и проектировать форсунки и другие распыливающие устройства в различных областях человеческой деятельности с учётом того, что основным в принципе работы форсунок является нестационарность процесса, получение волн, которые и приводят к распаду жидкости на капли, и тем самым повысить надёжность работы и срока службы форсунок, а следовательно, всей топливной системы и всего двигателя в целом.

Научно-практическое значение изобретения заключается в том, что на основе его может разрабатываться гидродинамика неустановившегося сплошной среды (НДСС) в напорных линиях различных систем, в том числе и при разработке гидродинамики распыливания топлива в дизелях, а также новых технических решений для обеспечения эффективности и повышенной безопасности трубопроводных систем, что может быть использовано и при создании "Ядерной энергетики повышенной безопасности". Практическое значение изобретения состоит в том, что с его помощью можно: существенно повысить эффективность технических устройств, имеющих каналы и трубы с переменными по времени и координате сечениями, причём достаточно вспомнить, что наша земля

буквально опоясана пересекающейся сетью водо-, газо- и других трубопроводов, в том числе и продуктопроводов, не говоря о том, что ни одна машина, ни одна из электрических, тепловых и атомных станций не обходится без трубопроводов и каналов с изменяющимися по времени и координате сечениями; более обоснованно назначать мероприятия, препятствующие выходу из строя (в результате резкого повышения давления при перекрытии и закрытии каналов) отдельных агрегатов и трубопроводов, регулирующих и управляющих устройств, применяемых в различных отраслях народного хозяйства, а также в биологических системах, например, в системах кровообращения человека и животных; дают возможность объяснить неясные вопросы, неразрешимые существующими положениями, например, ударное повышение давления в напорных линиях самолётных гидросистем из-за быстрого действия устройств управления, что зачастую является причиной срабатывания отдельных устройств (реле давления, гидрозамков и т. д.), в том числе и резкие повышения давления перед сопловыми отверстиями, приводящие к отраву сопловых наконечников распылителей дизельных форсунок; обосновать получение высоких давлений распыливания, например, высоких давлений распыливания при относительно малых давлениях, создаваемых плунжером топливного насоса высокого давления (ТНВД), что, в свою очередь, повышает надёжность работы ТНВД и всей топливной системы дизеля, уменьшая нагруженность ТНВД путем уменьшения контактных напряжений в паре "кулачок-ролик толкателя".

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ определения давления распыливания топлива, заключающийся в том, что экспериментально путём осциллографирования или на основе гидродинамического расчёта топливной системы определяют давление распыливания топлива перед сопловыми отверстиями распылителя и по этому давлению скорость распыливания топлива на выходе из сопловых отверстий  $w_c$ , отличающийся тем, что давление распыливания топлива  $Ar_c$  определяют по формуле  $Ar_c = w_c \cdot c \cdot \gamma$  из волнового уравнения  $w_c = Ar_c / (c - p)$ , где  $c$  - скорость звука в топливе,  $p = \gamma / g$  - удельная плотность топлива,  $\gamma$  - удельный вес топлива,  $g$  - ускорение свободного падения.