

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ НА БЫСТРОДЕЙСТВИЕ РАЗРАБОТАННОЙ ЭЛЕКТРОННО-УПРАВЛЯЕМОЙ ФОРСУНКИ

М. К. Джафарли

*Азербайджанский технический университет,
Баку, Азербайджан*

Предложен новый рабочий процесс двигателя внутреннего сгорания и разработана новая конструкция электронно-управляемой форсунки двигателя в соответствии с требованиями, предъявляемыми к экологическим и технико-экономическим показателям автомобильных двигателей. Одним из основных требований, предъявляемых к электронно-управляемым форсункам, является высокое быстродействие. Рассмотрена возможность повышения быстродействия разработанной форсунки. Исследовано влияние давления на выходе топливного насоса высокого давления на быстродействие разработанной электронно-управляемой форсунки при различных значениях длительности управляющего электрического импульса, поступающего на пьезопривод. Исследование проведено методом численного эксперимента с применением математической модели. Приведены и проанализированы результаты численных исследований, в результате определено оптимальное значение давления на выходе топливного насоса высокого давления с точки зрения быстродействия разработанной форсунки.

Ключевые слова: аккумулятор давления, топливная система, топливный насос высокого давления, электронно-управляемая форсунка, быстродействие форсунки, численное исследование, пьезопривод, управляющий электрический импульс.

Для цитирования: *Джафарли М. К.* Численное исследование влияния управляющих параметров на быстродействие разработанной электронно-управляемой форсунки // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2020. № 1 (69). С. 58–64. DOI: 10.24143/1812-9498-2020-1-58-64.

Введение

На кафедре «Автомобильная техника» Азербайджанского технического университета на уровне изобретения предложен новый рабочий процесс двигателя с непосредственным впрыском бензина в цилиндр и с форкамерно-факельным воспламенением расслоенного рабочего заряда [1]. За счет особенностей организации этого рабочего процесса предусматривается повышение экологических и технико-экономических показателей двигателя. Особенности предложенного рабочего процесса предъявляют к системе впрыска бензина некоторые повышенные требования [2]. Для удовлетворения этим требованиям в работе [3] представлена разработка новой конструкции электронно-управляемой форсунки, предназначенной для работы в составе электронно-управляемой топливной системы с аккумулятором давления автомобильного двигателя.

Постановка задачи

Схема широко распространенной электронно-управляемой системы впрыска бензина с аккумулятором давления, предусмотренная для применения в двигателе с предложенным новым рабочим процессом, представлена на рис. 1.

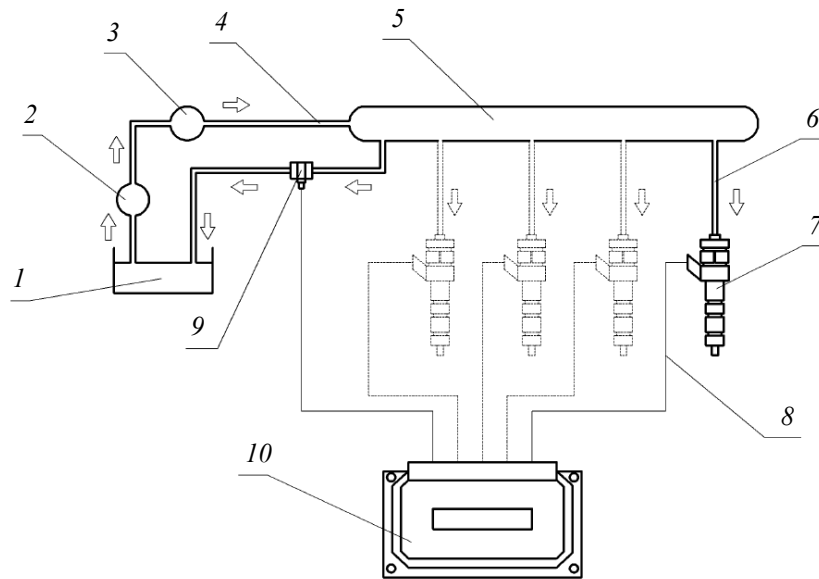


Рис. 1. Схема электронно-управляемой системы впрыска бензина с аккумулятором давления:
 1 – топливный бак; 2 – топливный насос низкого давления; 3 – топливный насос высокого давления;
 4 – входной трубопровод высокого давления топливного аккумулятора; 5 – топливный аккумулятор
 (аккумулятор давления); 6 – выходной трубопровод высокого давления топливного аккумулятора;
 7 – электронно-управляемая форсунка; 8 – электрический провод управления;
 9 – электронно-управляемый клапан регулирования давления в полости аккумулятора;
 10 – электронный блок управления

На рис. 2 представлена предложенная схема электронно-управляемой форсунки.

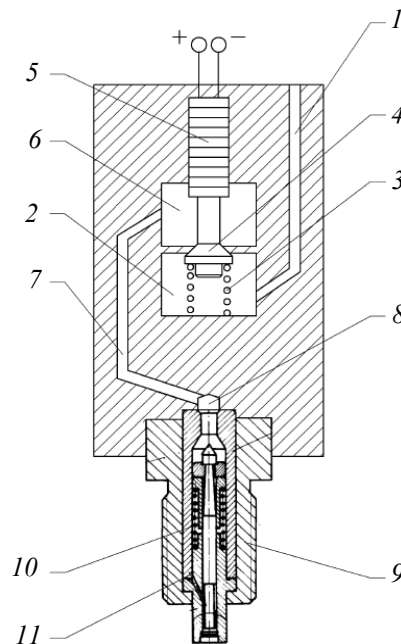


Рис. 2. Принципиальная схема электронно-управляемой форсунки [3, 4]:
 1 – входной канал; 2 – полость управляющего клапана; 3 – пружина управляющего клапана;
 4 – управляющий клапан; 5 – пакет пьезоэлементов; 6 – камера управления; 7 – соединительный канал;
 8 – полость клапанно-сопловой распылителя; 9 – сопловая часть клапанной форсунки;
 10 – пружина впрыскивающего клапана; 11 – впрыскивающий клапан

В форсунке использована сопловая часть обычной клапанно-сопловой форсунки с гидравлическим управлением впрыскивающего клапана, которая изначально предусматривалась для приме-

нения в составе системы с плунжерным насосом высокого давления. Полость управляющего клапана с помощью трубопровода высокого давления и входного канала сообщается с полостью аккумулятора давления [5].

Топливо, проходя через трубопровод высокого давления, из аккумулятора давления с помощью входного канала поступает в полость объема управляющего клапана, и при закрытом положении управляющего клапана топливо в полости управляющего клапана находится под давлением аккумулятора. Под действием давления топлива в полости управляющего клапана и силы упругости пружины уплотняющий конус клапана прижимается к седлу, закрывая путь топлива в камеру управления. В полостях камеры управления и клапанно-соплового распылителя, а также в соединительном канале топливо находится под остаточным давлением, оставшимся от предыдущего цикла впрыска. Это остаточное давление меньше давления открытия впрыскивающего клапана. Поэтому в состоянии покоя впрыскивающий клапан остается в закрытом положении [3–5].

При поступлении управляющего напряжения от блока электронного управления пакет пьезоэлементов расширяется и воздействует на управляющий клапан. В результате управляющий клапан открывается и освобождает путь топливу под высоким давлением в камеру управления. Топливо под высоким давлением из камеры управления через соединительный канал поступает в полость клапанно-соплового распылителя, и давление в этой полости повышается. При повышении давления в полости выше давления открытия впрыскивающего клапана последний открывается, и происходит впрыск топлива [3–5].

С прекращением управляющего электрического импульса управляющий клапан под действием пружины возвращается в исходное – закрытое – состояние, прекращая поступление топлива в камеру управления. В результате этого, а также из-за продолжения истечения топлива из полости клапанно-соплового распылителя в цилиндр давление топлива в полости клапанно-соплового распылителя падает. Давление падает также и в сообщающихся с этой полостью соединительном канале и полости управления. При понижении давления в полости клапанно-соплового распылителя ниже давления закрытия впрыскивающего клапана последний закрывается, и впрыск топлива прекращается. В полостях управления и клапанно-соплового распылителя, а также в канале управления устанавливается некоторое остаточное давление, ниже давления открытия впрыскивающего клапана [3–5].

Как видно, пьезопривод действует на впрыскивающий клапан не непосредственно, а через гидравлическую систему. Вследствие этого открытие и закрытие впрыскивающего клапана происходят не в момент поступления и прекращения управляющего напряжения на пьезопривод, а спустя некоторое время, с запаздыванием. Поэтому исследование быстродействия открытия и закрытия впрыскивающего клапана разработанной форсунки приобретает особое значение.

Известно, что в электронно-управляемых системах впрыска с аккумулятором давления управление величиной цикловой дозы топлива осуществляется изменением продолжительности управляющего электрического импульса, поступающего на пьезопривод, а также изменением давления топлива в аккумуляторе [5]. Поэтому возникает необходимость в расчетном исследовании влияния управляющих параметров – давления топлива в аккумуляторе и продолжительности управляющего электрического импульса – на быстродействие форсунки методом математического моделирования.

Решение задачи

Поскольку топливо подается в аккумулятор из топливного насоса высокого давления, давление в аккумуляторе определяется главным образом величиной давления на выходе топливного насоса высокого давления. Поэтому в настоящей работе исследовано влияние давления на выходе топливного насоса высокого давления на быстродействие разработанной форсунки при различных значениях длительности управляющего импульса.

Численное исследование проведено методом численного эксперимента с применением математической модели, которая подробно описана в работе [6]. Для этого математическая модель была реализована в виде компьютерной программы, и с использованием последней проведен ряд вычислительных экспериментов. При этом длительность управляющего электрического импульса (τ) изменялась в пределах от 0,1 до 2,5 мс через каждые 0,1 мс, а давление топлива на выходе топливного насоса высокого давления (P_n) – в пределах от 50 до 100 бар через каждые 10 бар. Расчеты были проведены для частоты вращения коленчатого вала двигателя 4 000 мин⁻¹.

В результате была получена исчерпывающая информация о кривых движения пьезоэлектрического актюатора вместе с управляющим клапаном (z) и впрыскивающего клапана (h) в зависимости от времени или угла поворота коленчатого вала двигателя для различных значений управляющих параметров. Некоторые результаты этих численных исследований представлены на рис. 3.

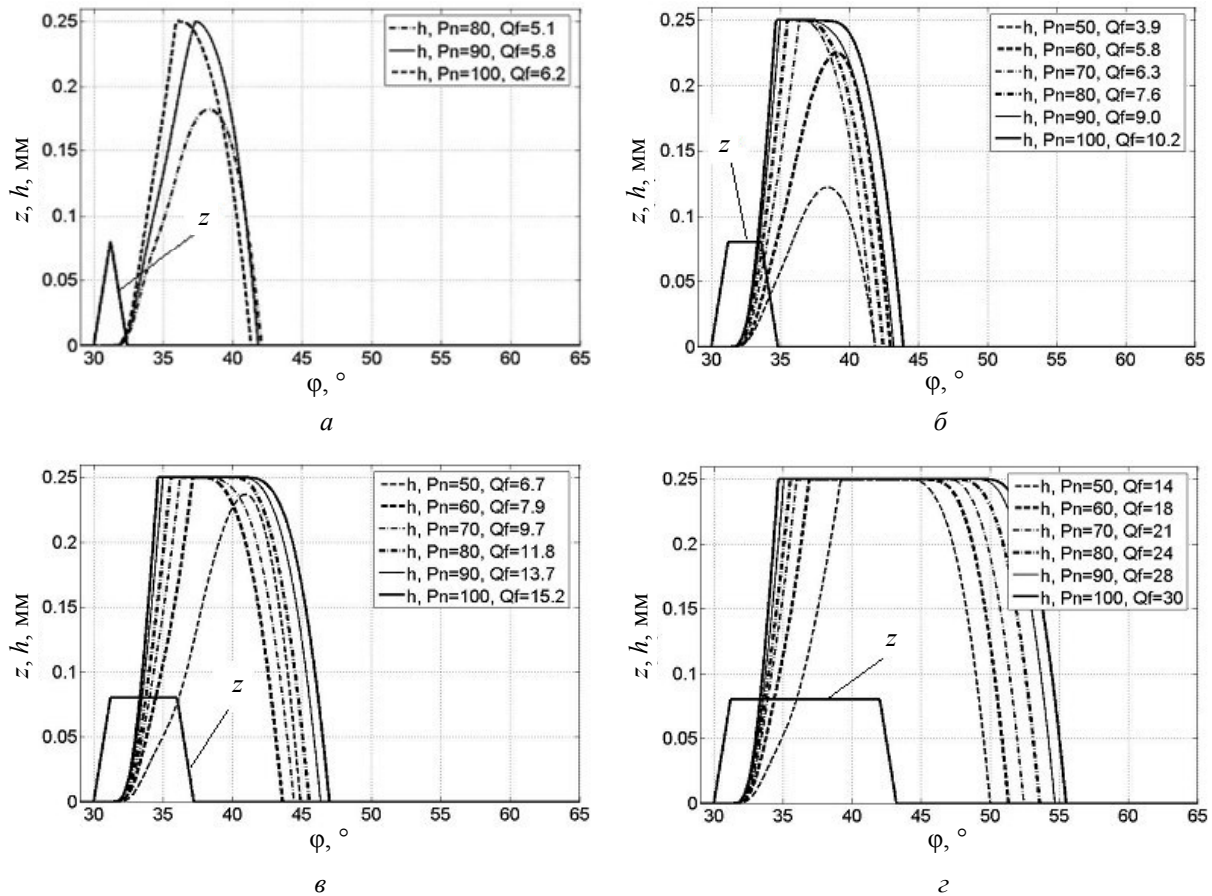


Рис. 3. Кривые движения пьезоэлектрического актюатора вместе с управляющим клапаном (z) и впрыскивающего клапана (h) в зависимости от угла поворота газораспределительного вала двигателя (φ) для различных значений управляющих параметров: $\tau = 0,1$ мс (а); $\tau = 0,3$ мс (б); $\tau = 0,5$ мс (в); $\tau = 1,0$ мс (з)

Следует отметить, что при некоторых значениях длительности управляющего импульса наблюдалось одинаковое влияние давления на выходе топливного насоса высокого давления на быстродействие форсунки. Поэтому результаты численных исследований, проведенных по некоторым значениям длительности управляющего импульса, в статье не приведены.

Расчеты, проведенные при $\tau = 0,1$ мс, показали, что при значениях P_n , равных 50, 60 и 70 бар, работа форсунки является нестабильной. Поэтому на рис. 3, а, не приводятся кривые движения впрыскивающего клапана при соответствующих значениях P_n .

Анализ рис. 3, а, показывает, что при $\tau = 0,1$ мс и $P_n = 80$ бар впрыскивающий клапан открывается не полностью, но при давлениях $P_n = 90$ бар и $P_n = 100$ бар впрыскивающий клапан совершает полный ход до упора. При давлении $P_n = 100$ бар процессы открытия и закрытия впрыскивающего клапана являются более быстродействующими, чем при давлении $P_n = 90$ бар. Следовательно, при $\tau = 0,1$ мс оптимальное значение давления на выходе насоса, с точки зрения быстродействия форсунки, составляет $P_n = 100$ бар.

Из рис. 3, б, видно, что при $\tau = 0,3$ мс и $P_n = 50$ бар и 60 бар впрыскивающий клапан открывается не полностью. При более высоких давлениях впрыскивающий клапан может совершать свой максимальный ход. В диапазоне от 70 до 100 бар влияние давления на выходе насоса на быстродействие форсунки является одинаковым, т. к. с увеличением P_n быстродействие откры-

тия впрыскивающего клапана увеличивается, а быстродействие закрытия уменьшается. Таким образом, наиболее быстрое открытие впрыскивающего клапана достигается при $P_n = 100$ бар, а наиболее быстрое закрытие – при $P_n = 70$ бар.

Из рис. 3, в, видно, что при значениях $\tau = 0,5$ мс и $P_n = 50$ бар впрыскивающий клапан очень близко доходит до упора, но не достигает своего максимального хода. С другой стороны, при этих значениях управляющих параметров быстродействие открытия впрыскивающего клапана меньше, чем в других случаях. Однако в диапазоне 60–100 бар впрыскивающий клапан открывается полностью, и влияние давления на выходе насоса на быстродействие форсунки является одинаковым, т. к. с увеличением значения P_n быстродействие открытия впрыскивающего клапана увеличивается, а быстродействие закрытия уменьшается. Таким образом, наиболее быстрое открытие впрыскивающего клапана достигается при $P_n = 100$ бар, а наиболее быстрое закрытие – при $P_n = 60$ бар.

Из анализа рис. 3, г, следует, что при $\tau = 1,0$ мс впрыскивающий клапан достигает своего максимального хода во всех случаях. В диапазоне P_n от 50 до 100 бар давление на выходе насоса одинаково влияет на быстродействие форсунки, т. к. с ростом значения P_n быстродействие открытия впрыскивающего клапана увеличивается, а быстродействие закрытия уменьшается. Таким образом, наиболее быстрое открытие впрыскивающего клапана достигается при $P_n = 100$ бар, а наиболее быстрое закрытие – при $P_n = 50$ бар.

Обобщая полученные результаты, можно отметить, что с увеличением давления на выходе топливного насоса высокого давления быстродействие открытия впрыскивающего клапана увеличивается, а быстродействие закрытия впрыскивающего клапана уменьшается. Поэтому значение этого давления $P_n = 70$ бар можно рассматривать как умеренное и компромиссное значение с точки зрения быстродействия форсунки. Следует отметить, что это значение давления также обеспечивает достаточно высокое давление впрыска и хорошее распыливание топлива, поэтому многие современные системы непосредственного впрыска бензина работают при этом значении давления. Однако окончательное значение этого давления должно определяться с учетом требований рабочего процесса при экспериментальных исследованиях нового рабочего процесса двигателя. Следует также отметить, что для уменьшения продолжительности впрыска при больших и номинальных значениях цикловой подачи топлива необходимо также рассмотреть возможность увеличения значения этого давления до $P_n = 100$ бар и выше.

Заключение

В результате проведенных численных исследований влияния управляющих параметров – давления топлива в аккумуляторе и продолжительности управляющего электрического импульса – на быстродействие разработанной форсунки методом математического моделирования определено оптимальное значение давления на выходе топливного насоса высокого давления с точки зрения быстродействия форсунки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евразийский* патент № 023968, МПК F02B 19/10; F02B 17/00. Форкамерный двигатель с непосредственным впрыском топлива в цилиндр и принудительным зажиганием / Керимов З. Х., Мамедзаде Х. Ш., Джафарли М. К.; заявл. 17.12.13; опубл. 29.07.16; Бюл. Евраз. патент. ведомства № 7'2016. С. 659–660.
2. Керимов З. Х., Джафарли М. К. Особенности рабочих процессов двигателей с непосредственным впрыском бензина и расслоенным зарядом и пути их дальнейшего развития // Науч. тр. Азерб. гос. мор. акад. 2016. № 1. С. 93–102.
3. Керимов З. Х., Джафарли М. К. Разработка новой конструкции электронно-управляемой форсунки для двигателя с непосредственным впрыском бензина и форкамерно-факельным зажиганием // Изв. высш. техн. учеб. заведений Азербайджана. 2017. Т. 19. № 3 (107). С. 63–71.
4. Джафарли М. К. Анализ конструктивных особенностей электронно-управляемой форсунки, разработанной для двигателя с непосредственным впрыском бензина и форкамерно-факельным зажиганием // Междунар. науч.-исслед. журнал. Екатеринбург, 2019. № 9 (87). Ч. 1. С. 30–35.
5. Керимов З. Х., Джафарли М. К. Численное исследование способа управления впрыскиваемой дозой топлива в аккумуляторной топливной системе непосредственного впрыска бензина с новой конструкцией электронно-управляемой форсунки // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщения. 2020. № 1. С. 8–14.

6. Керимов З. Х., Джафарли М. К. Особенности математической модели гидродинамических процессов в аккумуляторной системе непосредственного впрыска бензина с новой конструкцией электронно-управляемой форсунки // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2019. Т. 23. № 1 (83). С. 3–10.

Статья поступила в редакцию 15.04.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Джафарли Мирали Камран оглы – Азербайджан, AZ 1073, Баку; Азербайджанский технический университет; старший преподаватель кафедры автомобильной техники; mkceferli@gmail.com.



NUMERICAL INVESTIGATION OF INFLUENCE OF CONTROL PARAMETERS ON OPERATING SPEED OF DEVELOPED ELECTRONICALLY CONTROLLED INJECTOR

M. K. Jafarli

*Azerbaijan Technical University,
Baku, Azerbaijan*

Abstract. The paper presents the the new internal combustion engine working process and a new design of an electronically controlled engine injector in accordance with the requirements for environmental, technical and economical characteristics of automobile engines. One of the main requirements for the electronically-controlled injectors is a high operating speed. There has been considered a possibility to improve the operating speed of the injector. There has been studied the influence of pressure at the outlet of the high-pressure fuel pump on the operating speed of the developed electronically-controlled injector at different values of the electrical control impulse fed on the piezoelectric actuator. The investigation was carried out by the method of numerical experiment using a mathematical model. The results of numerical investigations are presented and analyzed; in the result, the optimal value of the pressure at the outlet of the high-pressure fuel pump is determined in terms of the operating speed of the developed injector.

Key words: pressure accumulator, fuel system, high pressure fuel pump, electronically controlled injector, injector operation speed, numerical investigations, piezoelectric actuator, control electrical impulse.

For citation: Jafarli M. K. Numerical investigation of influence of control parameters on operating speed of developed electronically controlled injector. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2020;1(69):58-64. (In Russ.) DOI: 10.24143/1812-9498-2020-1-58-64.

REFERENCES

1. Kerimov Z. Kh., Mamedzade Kh. Sh., Dzhafarli M. K. *Forkamernyi dvigatel' s neposredstvennym vpryskom topliva v tsilindr i prinuditel'nyy zazhiganiem* [Pre-chamber spark ignition engine with direct fuel injection into the cylinder]. Evraziiskii patent № 023968; 29.07.16.
2. Kerimov Z. Kh., Dzhafarli M. K. Osobennosti rabochikh protsessov dvigatelei s neposredstvennym vpryskom benzina i rassloennym zariadom i puti ikh dal'neishego razvitiia [Features of working processes of engines with direct injection of gasoline and stratified charge and ways of their development]. *Nauchnye trudy Azerbaidzhanskoi gosudarstvennoi morskoi akademii*, 2016, no. 1, pp. 93-102.
3. Kerimov Z. Kh., Dzhafarli M. K. Razrabotka novoi konstruktsii elektronno-upravliaemoi forsunki dlia dvigatel'ia s neposredstvennym vpryskom benzina i forkamerno-fakel'nyy zazhiganiem [Developing new design of electronically controlled injector for engine with direct gasoline injection and pre chamber-torch ignition]. *Izvestiia vysshikh tekhnicheskikh uchebnykh zavedenii Azerbaidzhana*, 2017, vol. 19, no. 3 (107), pp. 63-71.
4. Dzhafarli M. K. Analiz konstruktivnykh osobennostei elektronno-upravliaemoi forsunki, razrabotannoi dlia dvigatel'ia s neposredstvennym vpryskom benzina i forkamerno-fakel'nyy zazhiganiem [Analysis of design

features of electronically controlled injector) for engine with direct gasoline injection and pre chamber-torch ignition]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. Ekaterinburg*, 2019. No. 9 (87), part 1. Pp. 30-35.

5. Kerimov Z. Kh., Dzhafarli M. K. Chislennoe issledovanie sposoba upravleniia vpryskivaemoi dozoj topliva v akkumuliatornoi toplivnoi sisteme neposredstvennogo vpryska benzina s novoi konstruktsiei elektronno-upravliaemoi forsunki [Numerical study of method for controlling injected fuel dose in accumulator gasoline direct injection fuel system with new design of electronically controlled injector]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia*, 2020, no. 1, pp. 8-14.

6. Kerimov Z. Kh., Dzhafarli M. K. Osobennosti matematicheskoi modeli gidrodinamicheskikh protsessov v akkumuliatornoi sisteme neposredstvennogo vpryska benzina s novoi konstruktsiei elektronno-upravliaemoi forsunki [Characteristics of mathematical model of hydrodynamic processes in accumulator direct fuel injection system with new design of electronically controlled injector]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, vol. 23, no. 1 (83), pp. 3-10.

The article submitted to the editors 15.04.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Jafarli Mirali Kamran ogly – Azerbaijan, AZ 1073, Baku; Azerbaijan Technical University; Senior Lecturer of the Department of Automotive Engineering; mkceferli@gmail.com.

