

УДК 621.436

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ТОПЛИВА В КАНАЛАХ КОНУСА РАСПЫЛИТЕЛЯ ФОРСУНКИ ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО КОНФОРМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ

В.С. Гун, В.С. Морозова, А.А. Бакин

В статье представлено применение метода расчета течения топлива, основанного на численном конформном отображении произвольной односвязной области на прямоугольник. Описана методика применения численного конформного отображения для преобразования области течения топливной смеси в расчетную область простого вида – прямоугольник. Изложены преимущества численного конформного отображения, для решения задач численного моделирования физических процессов широкого назначения. Представлены результаты расчетных исследований полей скоростей в идеальном (невязком) приближении течения топлива в каналах конуса распылителя при различных изменениях геометрических параметров проточной части, изменении положения иглы форсунки и положения распыливающих отверстий.

Ключевые слова: форсунка, конус распылителя, течение среды, конформное отображение, распыливающие отверстия, поля скоростей, метод конечных элементов.

Обеспечение высоких технико-экономических показателей дизелей с учетом ужесточающихся требований по мощности и экологическим параметрам невозможно без совершенствования системы топливоподачи, оказывающей определяющее влияние на процессы смесеобразования и сгорания. Удовлетворение комплекса требований к показателям дизелей только за счет увеличения давления впрыска топлива не представляется возможным. Повышение топливной экономичности, обеспечение гибкого алгоритма регулирования и повышение надежности топливной систем Common Rail требует совершенствования геометрии проточной части форсунки. На этапе проектирования необходимо определять параметры распылителя в зависимости от мощности дизеля и частоты вращения коленчатого вала с учетом алгоритма управления ходом иглы распылителя. Основное влияние на дисперсность распыливания, и дальнобойность струи топлива оказывают давление впрыскивания и эффективное проходное сечение, что позволяет обеспечить совершенствование процесса впрыскивания путем подбора геометрических параметров распылителей.

Проведенный анализ показывает, что дальнейшее увеличение уровня давления впрыскивания не дает существенного улучшения качества смесеобразования. Удовлетворение современных требований к показателям по-

дачи и распыливания топлива возможно лишь при использовании на этапе проектирования топливных форсунок Common Rail современного программного обеспечения для расчета течений в каналах сложной формы.

Разработка методов решения задач математической физики, включая моделирование течения вязкой жидкости в каналах сложной формы с использованием методов построения и адаптации расчетных сеток и численно-аналитических методов построения конформных отображений, включена в план фундаментальных исследований Академии наук на 2013–2025 г. [2].

Внедрение систем впрыска Common Rail, основанных на принципе подачи топлива к форсункам от общего аккумулятора высокого давления, позволило разделить процессы создания давления и впрыск топлива.

Отмечается [3], что, внутренняя геометрия и состояние гидравлических трактов форсунок во многом определяют пропускную способность и рабочие характеристики узлов впрыска топлива. Поскольку, особенно в системах Common Rail, приходится учитывать точное распределение во времени скорости подачи топливных смесей, сравнимое по длительности со временем формирования фронтов распыливания, актуальна задача расчета нестационарных по времени потоков в гидравлических трактах.

В работе [1] была изложена методика расчета течения топлива в канале ЭГФ путем перехода к расчетной области простого вида – прямоугольнику. Переход осуществляется путем применения численного конформного отображения.

Предложенная методика расчета обладает следующими преимуществами:

Геометрические параметры исходной области задаются однократно и в дальнейшем не меняются при вычислении величин, зависящих от времени (нестационарных).

В параметрической (прямоугольной) области могут быть использованы различные методы расчета физических величин (сеток, конечных объемов, быстрого преобразования Фурье и др.).

Проявляются расчетные преимущества метода конечных разностей. Могут быть применены экономичные схемы координатного расщепления (переменных направлений, локально-одномерной и т.д.) с высокой степенью параллелизма вычислений.

Различные системы уравнений, описывающие течение среды (Навье – Стокса, теплопроводности и др.), могут решаться каждое на своей сетке с высоким порядком точности.

Граничные условия для этих уравнений при таком преобразовании переходят к простому виду условий на прямолинейных сторонах расчетной области.

Становится возможным вводить сетки с учетом резкого изменения решения в различных областях (пограничный слой на границе области течения, скачки уплотнения и т.д.).

Упрощаются различные операции с полями расчетных величин (температур, давлений, скоростей) – отображение графическими системами, дифференцирование, интерполирование, интегрирование, вычисление градиентов, пересчет с сетки на сетку и т.д.

В связи с этим системы преобразования расчетного пространства из физического в параметрическое вызывают возрастающий интерес по мере, с одной стороны, роста сложности задач, с другой – повышения возможностей вычислительной техники.

В настоящей работе описано применение разработанного комплекса программ моделирования нестационарных процессов на основе численного конформного отображения к расчету течений в каналах конуса распылителя опытной форсунки, учитывающее зависимость течения топливной струи от геометрии канала и положения иглы.

Предложенная методика, кроме решения основной задачи – формирования «расчетной среды» для решения основных краевых задач, позволяет непосредственно, «на глаз» оценить качество профилирования канала форсунок. Эта возможность основана на гидродинамической интерпретации аналитических функций двух переменных, реализующих конформное отображение.

На рис. 1 показана физическая область течения гидравлических трактов распылителя.

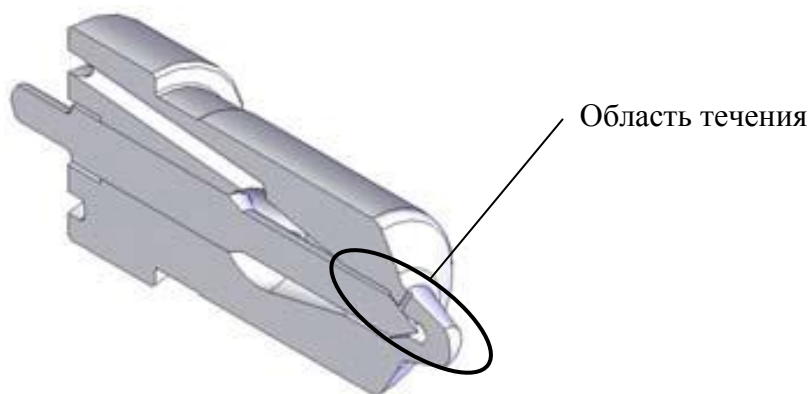


Рис. 1. Область течения. Канал игла-корпус распылителя

Примем в качестве приближения течения топлива в канале потенциальное (безвихревое) течение несжимаемой жидкости. Линии тока этого течения представляет собой траектории движущихся частиц. Следовательно, по их положению, а также по виду полей векторов скоростей на протяжении промежутка времени положения иглы распылителя можно оценить «качество» течения. Равномерное, без резких расширений и сужений распределение линий тока с малым изменением векторов по величине и направлению свидетельствует о малой изменчивости течения, следовательно – «плавности» протекания через канал форсунки. Неравномерное, с зо-

нами расширения и сужения – о затрудненном течении с высоким гидравлическим сопротивлением, застойными зонами, возможной кавитацией и фазовыми превращениями – вскипанием, появлением и схлопыванием газовых (кавитационных) полостей. Это позволяет производить быструю предварительную оценку работы проектируемого канала форсунки без проведения точных расчетов течения.

На рис. 2 показана расчетная сетка конечных элементов в канале распылителя форсунки для построения конформного отображения.

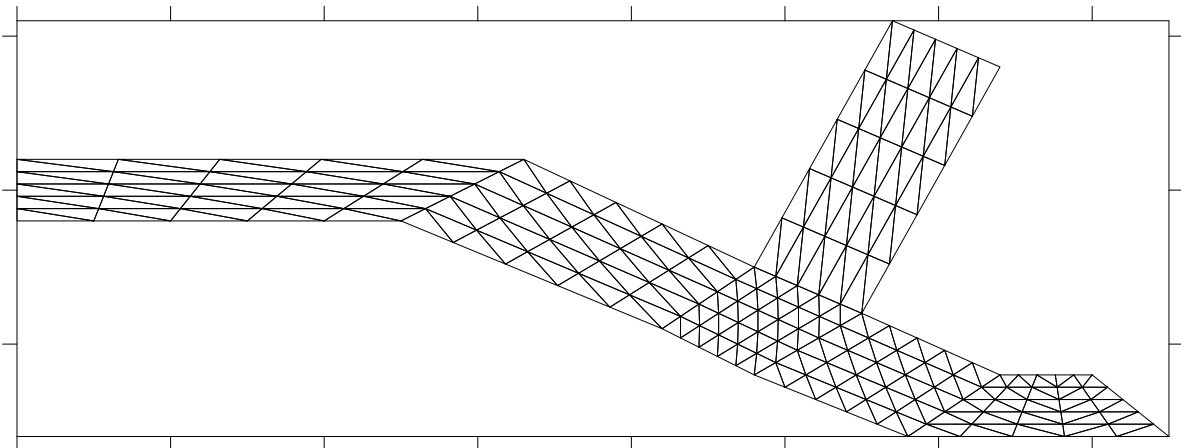


Рис. 2. Сеть конечных элементов в канале распылителя форсунки для построения конформного отображения

На рис. 3 показаны линии тока течения топлива в канале форсунки.

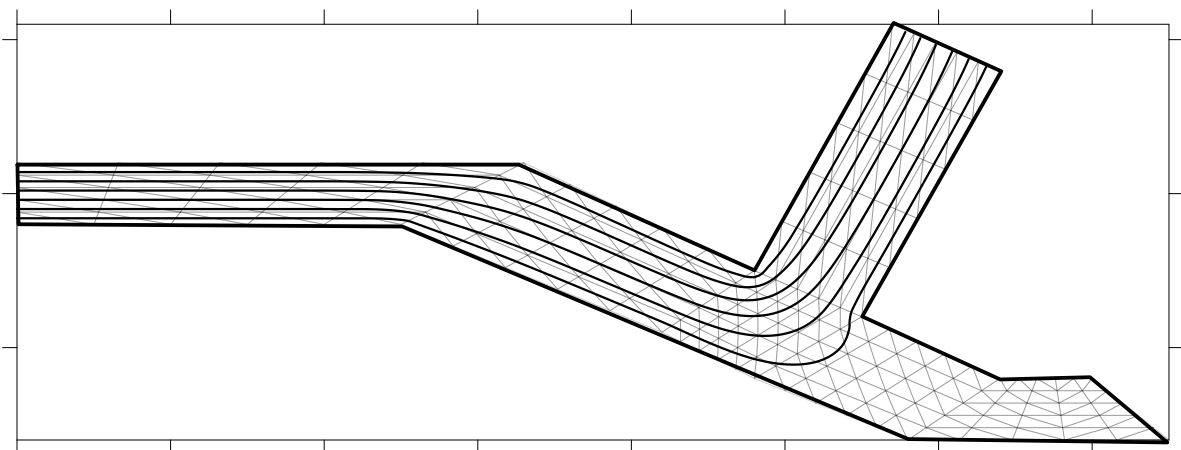


Рис. 3. Линии тока течения топливной смеси в канале форсунки

На рис. 4 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки.

На рис. 5 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при увеличенной длине и уменьшенном диаметре распыливающего отверстия (верхнее положение иглы).

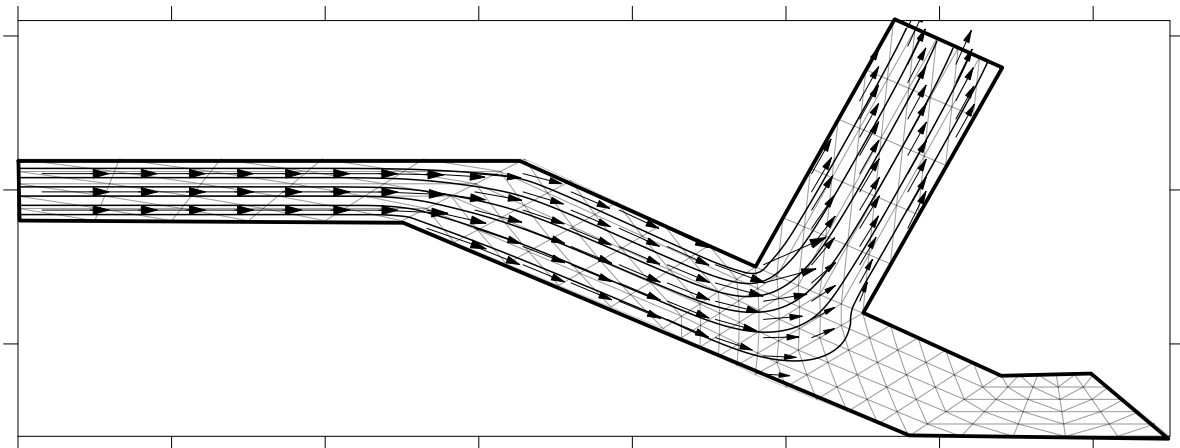


Рис. 4. Поле скоростей течения топливной смеси в канале форсунки при верхнем положении иглы

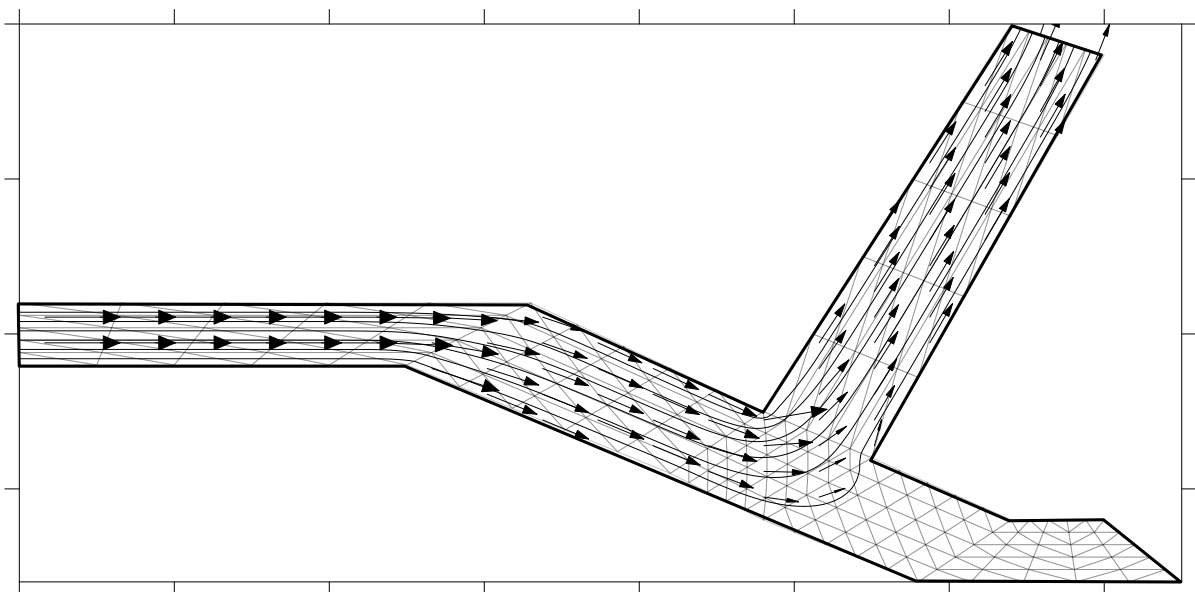


Рис. 5. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при увеличенной длине и уменьшенном диаметре распыливающего отверстия (верхнее положение иглы)

На рис. 6 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при увеличенной длине и уменьшенном диаметре распыливающего отверстия (среднее положение иглы).

На рис. 7 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (верхнее положение иглы).

На рис. 8 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (среднее положение иглы).

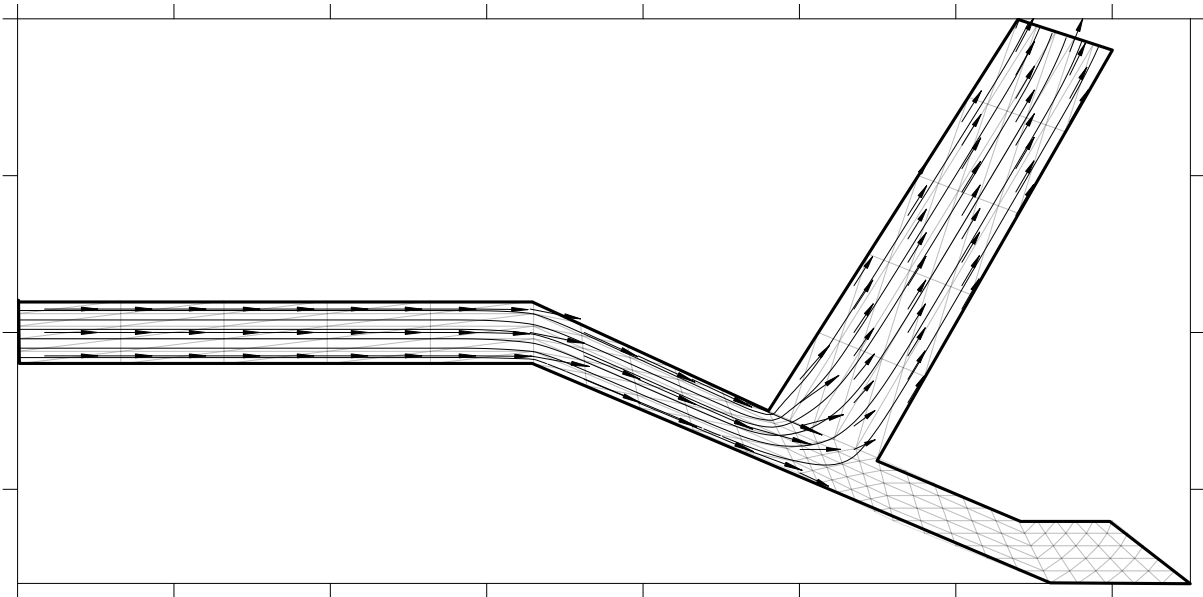


Рис. 6. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при увеличенной длине и уменьшенном диаметре распыливающего отверстия (среднее положение иглы)

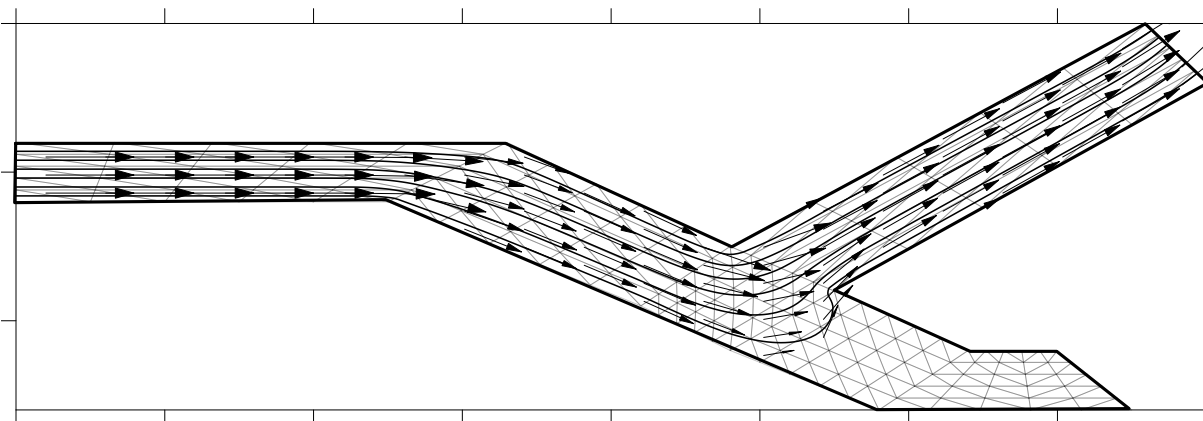


Рис. 7. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (верхнее положение иглы)

При анализе распределения скоростей обращает на себя внимание наличие застойных зон в канале (оконечная часть) а также наличие явно выраженных максимумов вблизи крайних угловых точек, где наблюдается срыв потоков с кромок канала распылителя.

Таким образом, используя данную методику построения конформного отображения канала распылителя, можно на стадии проектирования графически показать, как влияют острые кромки на отрыв потока топливной смеси, а следовательно, на эффективное проходное сечение, величину заряда. Скругление острых кромок канала распылителя, использование до-

полнительных фасок, плавный вход смеси в канал и непосредственно распыливающие отверстия – неполный перечень мероприятий, приводящий к повышению точности дозирования заряда.

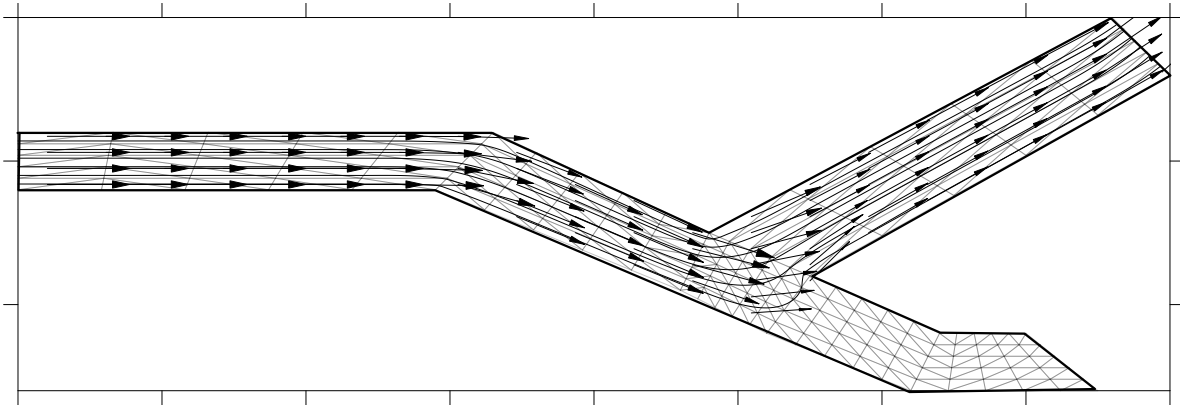


Рис. 8. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (среднее положение иглы)

На рис. 9 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (1/3 от верхнего положения иглы).

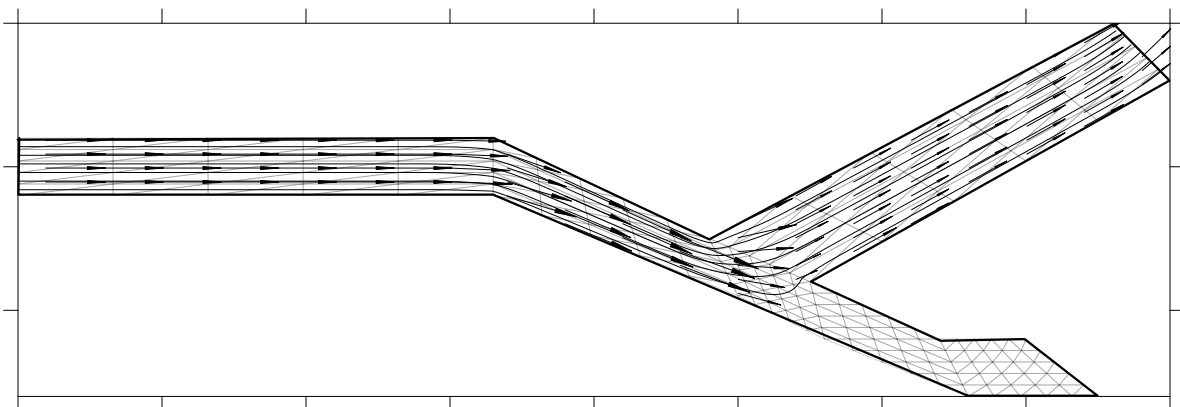


Рис. 9. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (1/3 от верхнего положения иглы)

Выводы

Расчет течения топлива в каналах распылителей позволяет определить оптимальные геометрические параметры области течения.

Исследовано влияние геометрии конуса распылителя и положения иглы форсунки на распределение скоростей течения топлива.

Предложенная методика позволяет обеспечивать требуемое качество распыливания за счет регулирования геометрических параметров проточной части распылителя как для сопловых так и для штифтовых форсунок.

Библиографический список

1. Морозова, В.С. Метод расчета течения вязкой среды в каналах распылительной форсунки дизеля / В.С. Морозова, В.С. Гун, В.Л. Поляцко // Вестник ЮУрГУ Сер. «Машиностроение». – 2013. – Вып. 13. – № 2. – С. 75–80.
2. План фундаментальных исследований Российской академии наук на период до 2025 года. – URL: <http://https://www.ras.ru/scientificactivity/plan2025.aspx/>.
3. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
4. Лазарев, В.Е. Повышение ресурса распылителей топлива в дизелях снижением нагруженности прецизионных сопряжений: дис. ... д-ра техн. наук / В.Е. Лазарев. – Барнаул. АГТУ им. И.И. Ползунова. – 336 с.