

портных машин и роботов» ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, ул. Мира 19 aa.akulova@urfu.ru).

Маркин Георгий Александрович – магистр кафедры «Организация машиностроительных производств» ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г.

Екатеринбург, ул. Мира 19 geo.markin@gmail.com).

Юферова Елизавета Олеговна – магистр кафедры «Организация машиностроительных производств» ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, ул. Мира 19 geo.markin@gmail.com).

УДК 624.04

## **К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОГО ПУСКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

М.Ю. Манзин, А.А. Заикин, С.В. Рослов, В.В. Иванов  
Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы использования СВЧ-нагрева топлива для обеспечения ускоренного и надежного пуска дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха. Обосновывается идея тем, что существующие на сегодняшний день методы облегчения пуска дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха не удовлетворяют современным требованиям ведения боевых действий. Как нам представляется, использование СВЧ нагрева топлива и тепловой трубы для нагрева моторного масла позволит обеспечить надежный пуск дизеля в условиях низких температур. На основе проведенных исследований, автор предлагает применять СВЧ – нагрев топлива для обеспечения надежного пуска двигателя в условиях низких температур.

**Ключевые слова:** Топливо, нагрев, пуск дизеля, низкие температуры окружающего воздуха, удельная активная мощность.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Существующие на сегодняшний день методы облегчения пуска дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха не удовлетворяют современным требованиям ведения боевых действий. Как нам представляется, использование СВЧ – нагрева топлива и использование тепловой трубы для нагрева моторного масла, позволит соответствовать обеспечить надежный пуск дизеля в минимальные сроки. [4]

### **СУЩЕСТВУЮЩИЕ СРЕДСТВА ОБЛЕГЧЕНИЯ ПУСКА**

Работа двигателей в условиях низких температур имеет ряд особенностей, обусловленных как непосредственным снижением температуры воздушного заряда, поступающего в двигатель, так и снижением его общего теплового состояния. На функционировании двигателя и его систем сказывается также изменение физических свойств топлива. [3] Одно из важнейших требований к качеству дизельного

Таблица 1

Дизельное топливо			Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре, °С	
	плюс 20	0	минус 10	минус 20
Летнее	6,36	12,94	20,59	50,92
Зимнее	4,26	8,36	12,43	20,6

топлива – легкая прокачиваемость при различных температурах окружающей среды. Это качество определяется вязкостью и температурой застывания топлива. Вязкость дизельного топлива зависит от температуры (табл.1).

В подавляющем большинстве случаев нагрев каких — либо физических тел производится путем передачи тепла снаружи во внутрь за счет теплопроводности [1](рис.1).

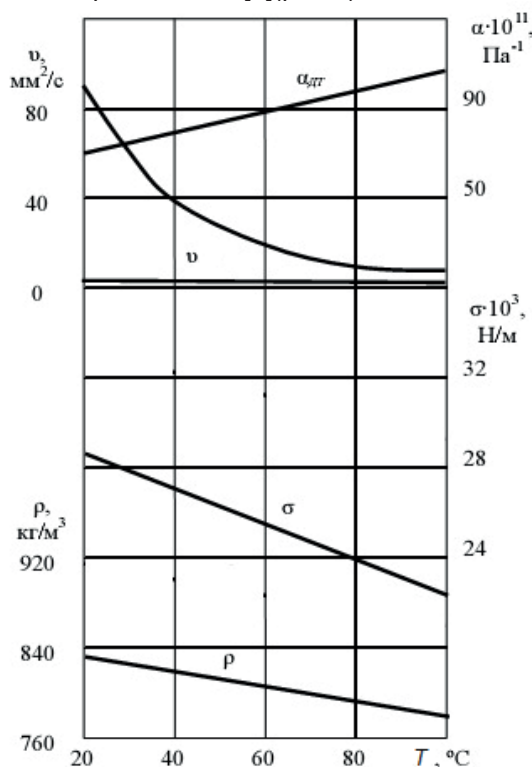


Рис.1.Изменение физических свойств топлива в зависимости от температуры

### СВЧ-НАГРЕВ

Используя СВЧ – нагрев, при рациональном подборе частоты колебаний и параметров камер, где происходит преобразование СВЧ энергии в тепловую, можно получить равномерное выделение тепла по объему тела. Эффективность преобразования энергии электрического поля в тепло возрастает прямо пропорционально частоте колебаний и квадрату напряженности электрического поля. При этом следует отметить простоту подачи СВЧ энергии практически к любому участку нагреваемого тела. [6]

Механизм нагрева материалов сверхвысокочастотной энергией основан на явлении поляризации – перемещении в некоторых ограниченных пределах связанных электрических зарядов – диполей. Под действием внешнего

переменного электромагнитного поля в материале происходит их колебательное движение и переориентация, в результате которых возникают токи проводимости и смещения. Совокупность обоих явлений и обеспечивает нагрев материала. [1]

Удельная активная мощность, определяющая количество тепла выделенного при СВЧ – нагреве в единице объёма материала рассчитывают согласно классическому закону Джоуля-Ленца по формуле:

$$P_{уд} = 0,556 \cdot 10^{-6} \cdot \varepsilon \cdot tg\sigma \cdot f \cdot E^2, \quad (1)$$

Длина волны СВЧ генератора (магнетрона) может быть выбрана из условия:

$$\lambda = (1 + 2)\pi \cdot l \cdot \sqrt{2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{1 + tg\sigma} - 1}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – длина волны;  $tg\sigma$  – тангенс угла диэлектрических потерь;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость;  $l$  – толщина изделия.

Основным генератором СВЧ энергии является магнетрон (электровакуумный генератор электромагнитных колебаний СВЧ, основанный на взаимодействии электронов, движущихся в магнитном поле, с возбуждаемыми ими электромагнитными полями. Основу его конструкции, составляет коаксиальный цилиндрический диод с внутренним электродом – катодом в однородном магнитостатическом поле, направленном вдоль его оси). [1,4]

Для передачи энергии источника к приемнику используется как волноводные линии, так и свободное пространство. Волновод, по которому распространяется волна, представляет собой трубку круглого или прямоугольного сечения. Наиболее применим на практике волновод прямоугольного сечения[2,3].

Генерируемая мощность поступает по волноводу (линия связи) в рабочую зону, представляющую собой камеру (рабочая камера).

В устройствах СВЧ – нагрева находят применение резонаторные камеры в виде прямоугольных объемных резонаторов, линейные размеры которых в 5 – 6 раз превышают длину волны генератора. В подобном резонаторе может существовать несколько различных видов колебаний (более десяти), у каждого из которых свое распределение электрического и магнитного полей внутри объема резонатора. Такие резонаторы называются многомодовыми, т.е. в них может быть одновременно возбуждено несколько видов колебаний.[2,5]

Размеры и параметры объемных резонаторов могут быть рассчитаны на ЭВМ и оптимизи-

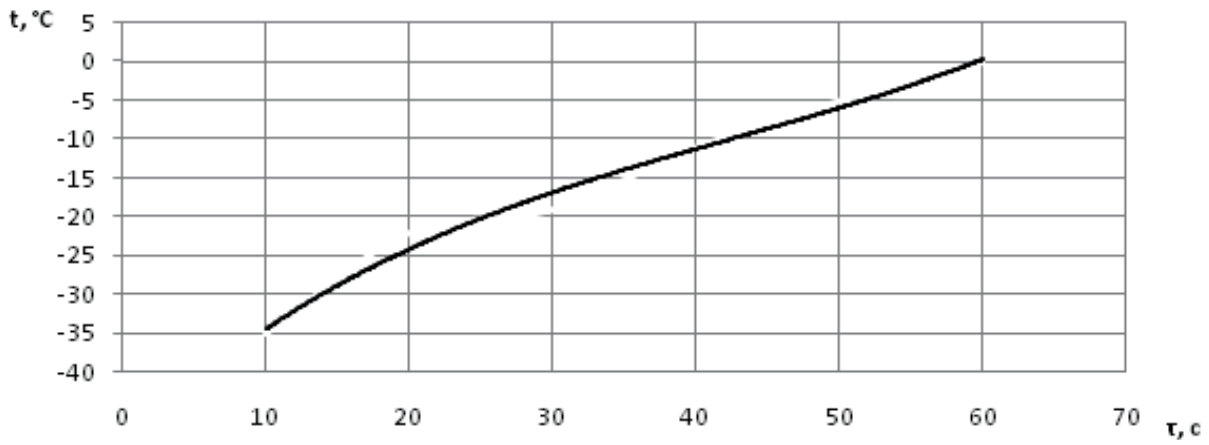


Рис. 2. Зависимость температуры топлива от времени СВЧ нагрева при РСВЧ = 0,5 кВт

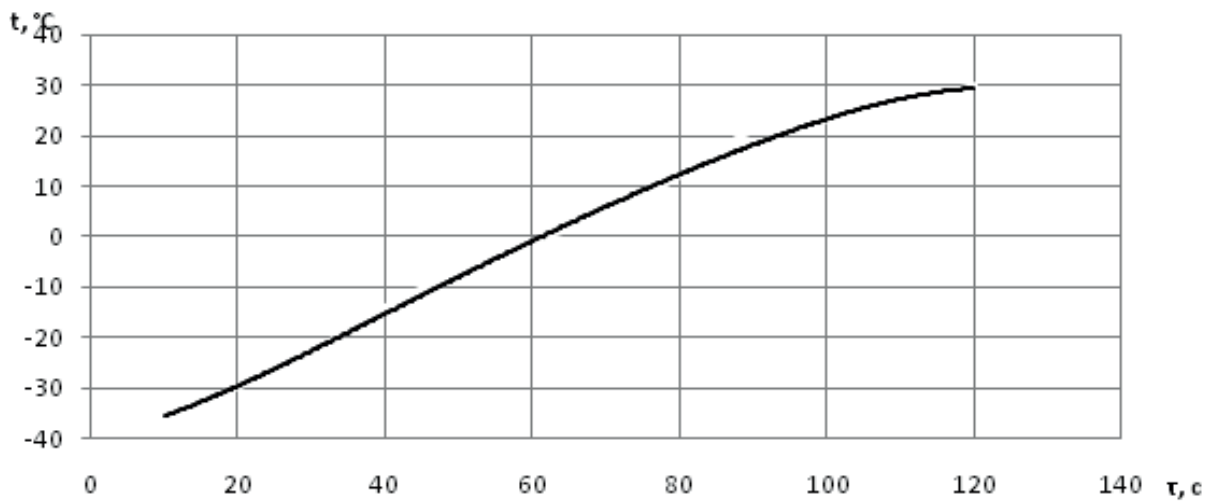


Рис.3. Зависимость температуры топлива от времени СВЧ нагрева при РСВЧ=1,0 кВт

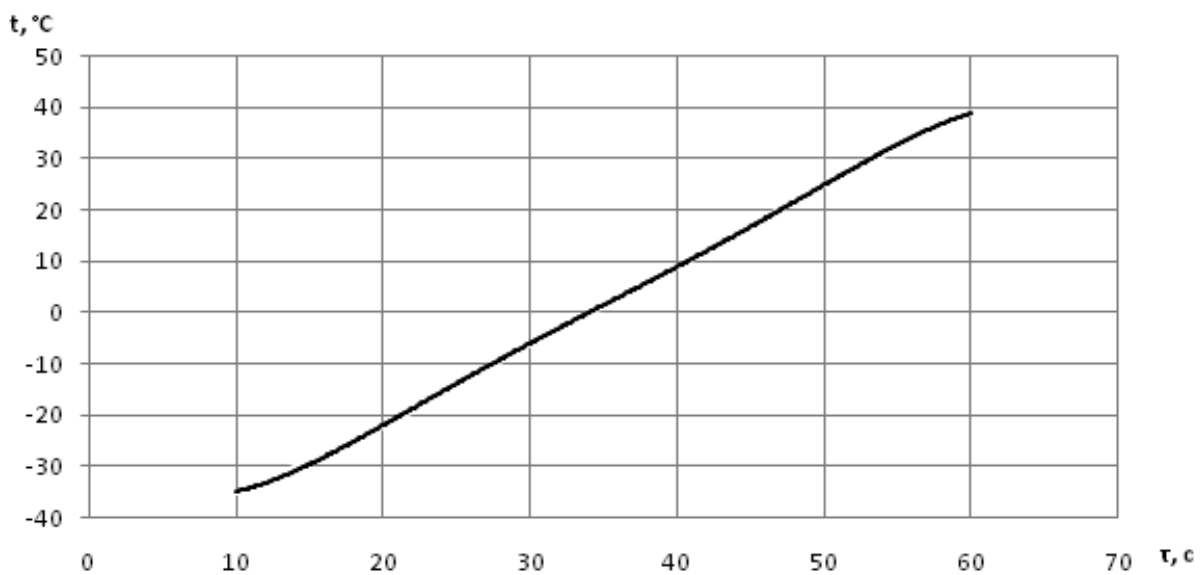


Рис. 4. Зависимость температуры топлива от времени СВЧ нагрева при РСВЧ = 1,5 кВт

зированы. Задача оптимизации состоит в том, чтобы выбрать такие размеры резонатора, при которых в нем можно было бы возбуждать только определенные виды колебаний, а интерференция между ними давала бы возможно более равномерное поле по объему. При этом возбуждающие колебания устройства должны устанавливать строго определенные соотношения между амплитудами тех видов колебаний, которые дают суммарное равномерное поле. [5,6]

Существует несколько иной способ получения равномерности нагрева – это применение двух или более генераторов, работающих на разных, но обычно близких частотах, или введение изменения во времени генерируемой длины волны в некоторых возможных пределах  $\pm d\lambda$ .

Чем ближе по шкале длин волн расположены виды колебаний рассматриваемого многомодового резонатора, тем меньшее изменение длины волны генератора оказывается достаточным для улучшения равномерности нагрева и получения равномерного электромагнитного поля в нем даже при слабой загрузке резонатора обрабатываемым диэлектриком. [6]

Для СВЧ – нагрева наиболее пригодны такие многомодовые резонаторы, у которых резонансные длины волн различных видов колебаний расположены по шкале длин волн не сгустками, а возможно более равномерно. Это получается, когда размеры резонатора соизмеримы, но не равны, т.е. когда резонатор представляет собой параллелепипед, близкий к кубу.

Анализ параметров системы топливоподачи с установкой СВЧ нагрева топлива результаты исследования СВЧ нагрева топлива Первоначально эксперименты проводились с целью определения допустимых параметров устройства СВЧ нагрева топлива. [5,6]

Результаты эксперимента, полученные при мощности устройства до РСВЧ = 0,5 кВт и времени нагрева 60 с при температуре топлива  $t$  ниже минус 20°C показали, что при данных величинах достичь желаемых результатов по СВЧ нагреву топлива не удастся. На рисунке 2 изображен график, характеризующий нагрев топлива при вышеуказанных параметрах.

При корректировании параметров устройства до РСВЧ = 1,0 кВт, времени нагрева не менее 60 с были получены удовлетворительные результаты, приведенные на рисунке 3.

Наиболее оптимальных результатов, приведенных на рисунке 4 удалось добиться при РСВЧ=1,5 кВт и времени нагрева =60 с.

В результате комплексного влияния кон-

вективных теплопотерь и нагрева топлива от сжатия при продвижении топлива в системе топливоподачи его температура увеличивается на 4°C.

На основании выполненных экспериментов можно сделать вывод о том, что получение наиболее оптимального СВЧ нагрева топлива возможно при РСВЧ = 1,5 кВт и времени нагрева = 60 с.

Результаты исследования характеристик впрыскивания и распыливания топлива поведены в приложении В. [4,6]

В процессе обработки данных, полученных при регистрации характеристик о впрыскивании и распыливания топлива на втором этапе безмоторных исследований, построены сравнительные зависимости характеристик от варьируемых факторов (рисунки 5, 6, 7).

На рисунках 5 и 6 показаны зависимости среднего диаметра капель топлива от времени нагрева и мощности источника СВЧ излучения при первоначальной температуре топлива минус 10°C и минус 35°C соответственно.

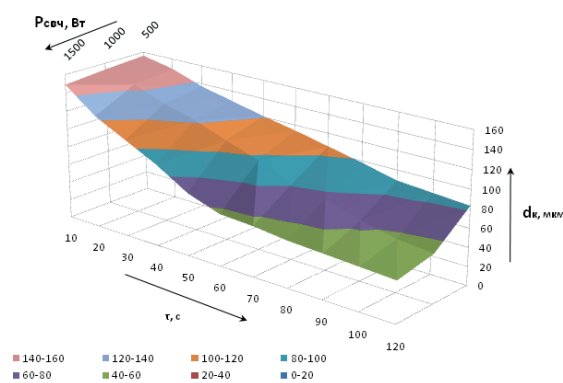


Рис. 5. Характеристика диаметра капель  $dk$  от мощности источника РСВЧ и времени нагрева при  $t$  – минус 10°C

В ходе исследования установлено, что наиболее существенное влияние на оптимизацию среднего диаметра капель топлива и однородность распыливания топлива оказывают мощность устройства СВЧ и время нагрева. С понижением первоначальной температуры топлива, определяемой температурой окружающего воздуха, в период нагрева топлива до 20 – 30 с и, в особенности, снижением мощности СВЧ излучения до 500 Вт средний диаметр капель топлива уменьшается незначительно. Это связано с тем, что в начальный период нагрева, пока топливо остается холодным, практически отсутствует конвективный теплообмен в камере нагрева топлива. [3,7]

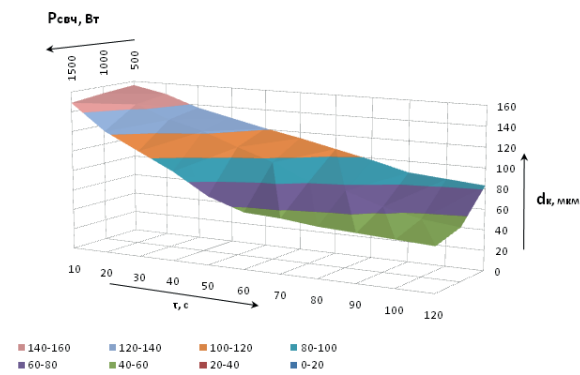


Рис.6. Характеристика  $dk$  от РСВЧ и при  $t$  – минус  $35^{\circ}\text{C}$

С ростом температуры топлива увеличивается однородность его распыливания (рисунок 7). При этом коэффициент однородности стремится к 1 при мощности СВЧ излучения 1500 Вт и времени нагрева около 2 минут, однако при этом уже после 60 с нагрева коэффициент однородности находится в зоне оптимальных значений, поэтому отсутствует необходимость в дальнейшем нагреве топлива.

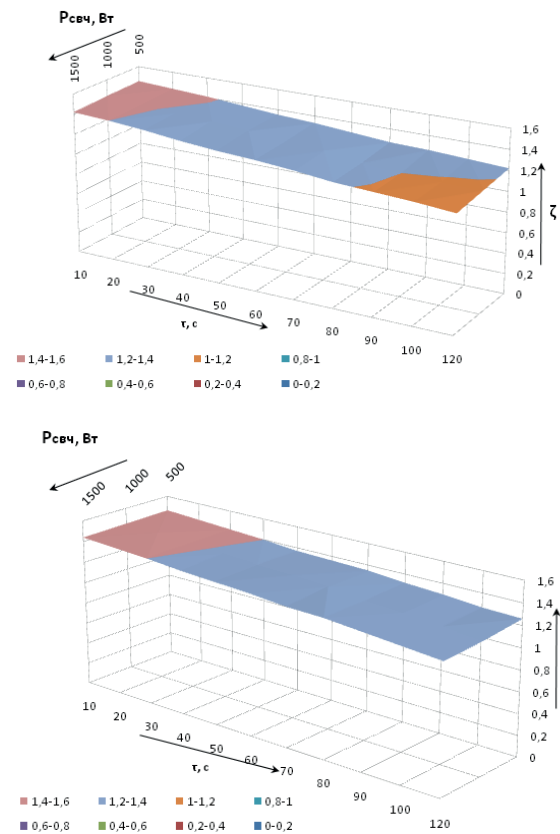


Рис. 7. Характеристика коэффициент однородности от мощности источника РСВЧ и времени нагрева при  $t$  – минус  $10$  (1), минус  $35^{\circ}\text{C}$  (2)

В результате обработки данных, полученных при регистрации вероятности пуска дизеля в условиях низких температур на втором этапе моторных исследований, построена зависимость характеристик от варьируемых факторов (рисунок 8). [1,2]

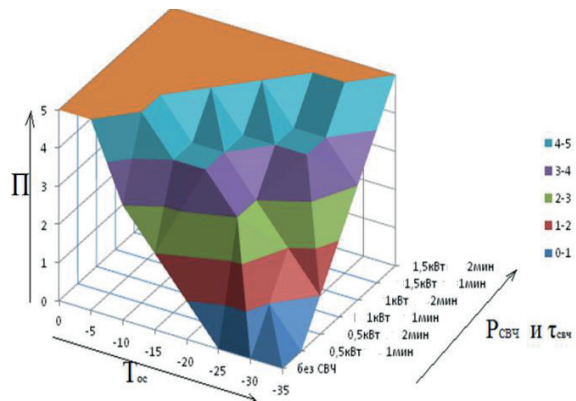


Рис. 8. Зависимость количества попыток пуска дизеля от температуры окружающей среды, мощности и времени воздействия СВЧ источника

Способ повышения качества смесеобразования за счет нагрева топлива с помощью СВЧ колебаний при пуске дизеля в условиях низких температур. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили выявить зависимость надежного пуска дизеля от характеристик топливоподачи, а именно параметров впрыскивания и распыливания топлива, и определить наиболее эффективный метод обеспечения надежного пуска дизеля по условиям топливоподачи и сокращение времени на подготовку к пуску при низких температурах окружающего воздуха: СВЧ нагрев дизельного топлива.

**ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЧ – НАГРЕВА ТОПЛИВА**

В заключении отметим положительные стороны СВЧ нагрева топлива:

Преимущества СВЧ – нагрева перед другими видами физического воздействия на топливо [2]:

- тепловая безынерционность, т.е. возможность практически мгновенного включения и выключения теплового воздействия на обрабатываемый материал. Отсюда высокая точность регулировки процесса нагрева и его воспроизводимость;

- принципиально высокий КПД преобразования СВЧ энергии в тепловую, выделяемую в объеме нагреваемых тел. Теоретическое зна-

чение этого КПД близко к 89%. Тепловые потери в подводящих трактах обычно невелики, и стенки волноводов и рабочих камер остаются практически холодными; [6]

- возможность осуществления и практического применения новых необычных видов нагрева – избирательного, равномерного, сверхчистого.

- СВЧ излучение позволяет в течении непродолжительного времени осуществить равномерный нагрев топлива, необходимого на весь период осуществления пуска дизеля, тем самым способствуя сокращению времени на подготовку к пуску в условиях низких температур окружающего воздуха до 1 – 1,5 минуты; [1.4]

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брилинг, И.Р. Исследование рабочего процесса и теплопередачи в двигателях дизеля. [Текст] /И.Р. Брилинг//. М., Л. ГНТИ 1981.- 413 с.
2. Вамберский, М.В. Передающие устройства СВЧ. Учебное пособие для радиотехнических и специальных ВУЗов [Текст] /Вамберский М.В., Казанцев В.И., Шелухин С.А. М.:

Высшая школа, 1984. – 448 с.

3. Вибе, И. И. Новое о рабочем цикле двигателей / И.И. Вибе. - Свердловск: Машгиз, 1962.-272 с.

4. Фомин, Ю.Я. Топливная аппаратура дизелей [Текст] / Ю.Я. Фомин, Г.В. Никонов, В.Г. Ивановский. – М.: Машиностроение, 1982. – 168

5. Вамберский, М.В. Передающие устройства СВЧ: учебное пособие для радиотехнических и специальных ВУЗов [Текст] / М.В. Вамберский, В.И. Казанцев, С.А. Шелухин - М.: Высшая школа, 1984. – 448

Сборники трудов, статей:

6. Рослов, С.В. Определение технического состояния топливной аппаратуры высокого давления дизельного двигателя [Текст] / А.М. Смирнов. //Сборник рефератов депонированных рукописей. Серия. Б, сборник 107 (14) - М.: 46 НИИЦ МО РФ, 2014. Инв. Б 8388, 09.04.14. (СП. 18401)

Патент:

7. Пат. 69928 Российская Федерация, МПК F 02 N 9/00. Устройство для облегчения пуска двигателя внутреннего сгорания [Текст] / В.Н. Шапран, М.А.Савельев, Н.Л. Пузевич, А.Ю. Веревитин, Д.Ю. Козлов;

## TO A QUESTION OF ENSURING RELIABLE LAUNCH OF DIESEL ENGINES IN THE CONDITIONS OF LOW TEMPERATURES

M.Y. Manzin, A.A. Zaikin, S.V. Roslov, V.V. Ivanov

**Abstract.** In this article questions of use of microwave heating of fuel for ensuring the accelerated and reliable launch of the diesel in the conditions of low temperatures of air are considered. The idea by the fact that the methods of simplification of launch of the diesel existing today in the conditions of low temperatures of air don't meet modern requirements of conducting combat operations is proved. From our point of view, use of the microwave oven of heating of fuel and a thermal pipe for heating of engine oil will allow to provide reliable launch of the diesel in the conditions of low temperatures. On the basis of the conducted researches, the author suggests to use the microwave oven – heating of fuel to ensuring reliable launch of the engine in the conditions of low temperatures.

**Keywords:** Fuel, heating, diesel engine start-up, low temperatures of air, specific active capacity.

#### REFERENCES

1. Briling, I. R. Issledovaniya rabocheho protsessa i teploperedachi v dvigatelnykh dizely [Issledovaniye of working process and a heat transfer in diesel engines]. GNTI 1981.- 413 p.
2. Vamberskiy, M. V. Peredaychiye ystroistva SVCH. Ychebnoe posobie dly radiotekhnicheskikh I specialnykh VYZov[Microwave ovens sending devices. Manual for radio engineering and special HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS].Vamber-

sky M. V., Kazantsev V. I., Shelukhin S.A. of M.: Vyisshaya shkola, 1984. – 448 pages.

3. Vibe, I. I. Novoe o rabochem tickle dvigate-lye[New about a running cycle of engines] I.I. Vibe. - Sverdlovsk: Mashgiz, 1962.-272 pages.

4. Fomin Y.I. Toplivnaya apparatyra dizelei[The fuel equipment of diesel engines].{Tekst} Y.I.Fomin, G.V. Nikonov. , V.G. Ivanovskii. – M. Mashinostroeniye,1982 – 168 p

5. Vamberskiy , M.V. peredaushie ystroistva dly radiotekhnicheskikh I spechialnyh VYZov.

