

**Минченя В. Т.****Белорусский
национальный
технический
университет****Асимов Р. М.****ООО «Сенсоэлектроника», РБ****Роппельт Х.****GmbH «HPF», Германия****Бубулис А.****Юренас В.****Каунасский
технологический
университет, Литва****УДК 621.382****УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА
РАЗОГРЕВА ЖИДКОСТИ ПРИ
НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

В работе приведены результаты исследования влияния ультразвука на разогрев дизельного топлива при низких температурах. Установлены основные зависимости влияния амплитуды и времени озвучивания на распределение температуры по длине волновода. Приведены результаты испытаний разработанной установки и метода в климат камере.

In work the results of research of influencing are resulted ultrasound of anna warming-up of diesel fuel at low temperatures. Basic dependences of influencing of amplitude and time of wiring for a sound on distributing of temperature are set on length of waveguide. The results of tests of the developed setting and method are resulted in a climate to the chamber.

В холодное время года эксплуатация автомобильного транспорта значительно усложняется, т.к. при низких температурах происходит «загустение» дизельного топлива с осаждением в нем кристаллов парафина. В результате этого закупориваются фильтры и топливопроводы, прекращается подача топлива к двигателю, и запуск двигателя становится серьезной проблемой [1]. Одним из способов восстановления подачи дизельного топлива является подогрев топливной системы автомобиля электрическими нагревателями. Недостатком подобных нагревателей является их небольшая тепловая мощность (250-300 Вт вместо требуемых 1,5-2,5 кВт), из-за чего они не в состоянии обеспечить прогрев всей топливной системы автомобиля и могут быть использованы только для локального подогрева ее отдельных участков.

Нами проведены экспериментальные исследования по влиянию ультразвука на процесс разогрева дизельного топлива. Исследования проводились в два этапа.

Вначале исследовалось влияние влияния ультразвука на тепловые процессы в длинных

гибких волноводах. Для этой цели использовалась экспериментальная установка приведенная на рисунке 1. Установка состоит из ультразвукового преобразователя 1, связанного с гибким металлическим волноводом 6, ультразвукового генератора 2, измерительного комплекса для записи температуры комплекса для записи температуры от термодатчика 3, датчика контроля амплитуды 4, полихлорвиниловой трубки 5.

Известно, что распространение упругой энергии при колебании волновода приводит к затуханию ультразвуковых волн, при этом ультразвуковые металлические волноводы, работающие при амплитудах деформации 10^{-4} – 10^{-3} мм заметно нагреваются, так как часть звуковой энергии рассеивается в материал. Причем скорость выделения тепла зависит от амплитуды деформации, которая, как правило, неодинакова по длине гибкого тонкого волновода. В связи с тем, что в гибком волноводе большой длины имеет место бегущая волна, то практически температура усредняется по длине волновода.

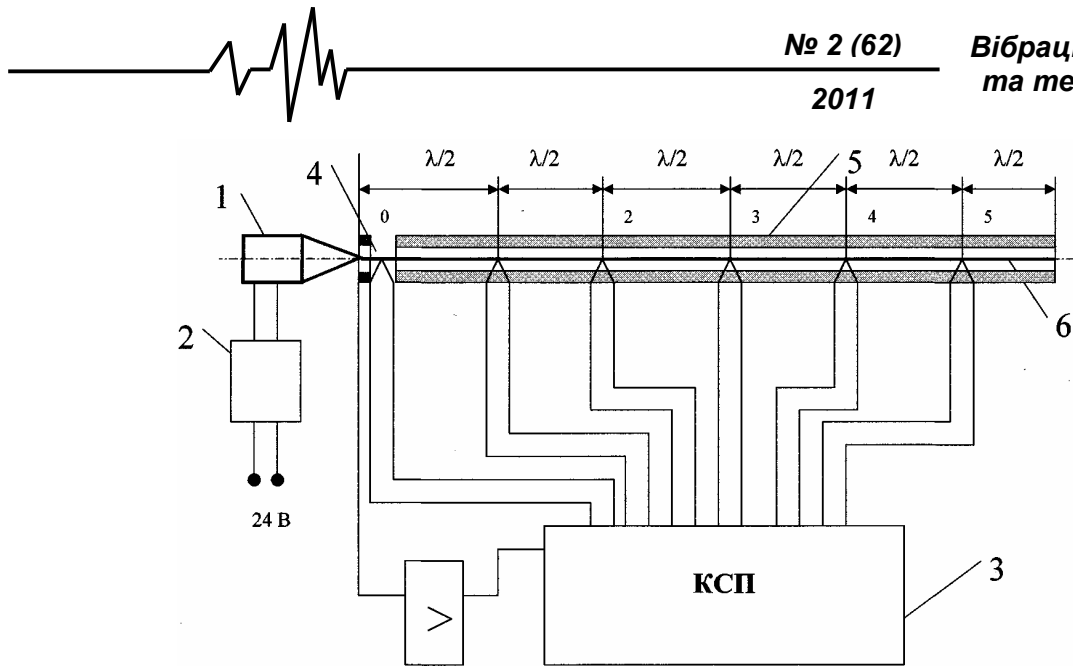


Рис. 1. Установка для изучения тепловых процессов в ультразвуковых волноводах

В приведенной на рисунке экспериментальной установке, озвучивание волновода осуществляли при помощи ультразвукового пьезопреобразователя от генератора высокочастотных колебаний, питающего от аккумуляторной батареи на 24 В. Акустическая система настроена на резонансную частоту $26 \pm 0,2$ кГц. Резонансная настройка обеспечивалась по амплитудному значению в цепи питания преобразователя. Исследование температуры по длине волновода проводили без дизтоплива. Измерение температуры осуществляли в точках на расстоянии $\lambda/2$ от места крепления волновода к концентратору ультразвукового генератора. Термопары крепились к поверхности волновода при помощи контактной сварки. Регистрацию ЭДС термопар осуществляли путем непрерывной записи в базу данных на персональный компьютер с последующей расшифровкой записи. Амплитуда колебаний измерялась на входе волноводной системы при помощи специального бесконтактного индуктивного преобразователя, размещенного в пучности колебаний в точке 0 (рис.1).

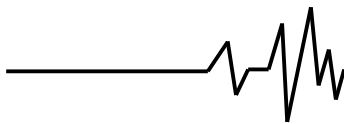
В работе /4/ показано, что для продольно колеблющегося однородного стержня со свободным концом при непродолжительном воздействии ультразвуком изменение температуры в любой точке описывается выражением:

$$\Delta t(x, \tau) = t_1 - t_0 = \frac{3}{16} \frac{\xi_{m0}^2 Q^{-1}(\varepsilon_{m0}) E f}{J a} \times \left\{ \begin{aligned} & k^2 \chi \tau + \frac{1}{6} (1 - e^{-16k^2 \chi \tau}) \sin^4 k(l-x) + \\ & \times \left[\frac{2}{3} \left(\frac{3}{4} - e^{-4k^2 \chi \tau} + \frac{1}{4} e^{-16k^2 \chi \tau} \right) \sin^2 k(l-x) - \right. \\ & \left. - \frac{1}{48} e^{-16k^2 \chi \tau} + \frac{1}{3} e^{-4k^2 \chi \tau} - \frac{5}{16} \right] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где t_1 – температура стержня; $t_0 = \text{const}$ – начальная (стационарная) температура стержня; E – модуль упругости материала волновода, ξ_{m0} – амплитуда смещения в начале волновода, ε_{m0} – амплитуда деформации в начале волновода, J – механический эквивалент теплоты, равный $4,2 \cdot 10^7$ эрг/кал, a – коэффициент теплопроводности, f – частота колебаний волновода, $k^2 = \frac{f^2 \rho}{E}$ – волновое число,

$\chi = \frac{a}{\rho c}$ – коэффициент температуро-

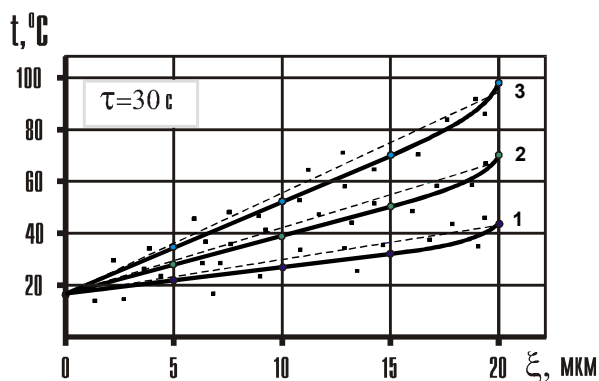
проводности, ρ – плотность материала волновода, c – скорость звука в волноводе, l – длина волновода, x – координата исследуемой точки волновода, τ – время озвучивания, $Q^{-1}(\varepsilon_{m0})$ – внутреннее трение коррозионно-стойкой стали X19H10 /5/, рассчитанное с учетом поправки на неравномерность распределения амплитуды деформации $\varepsilon_m/6$.



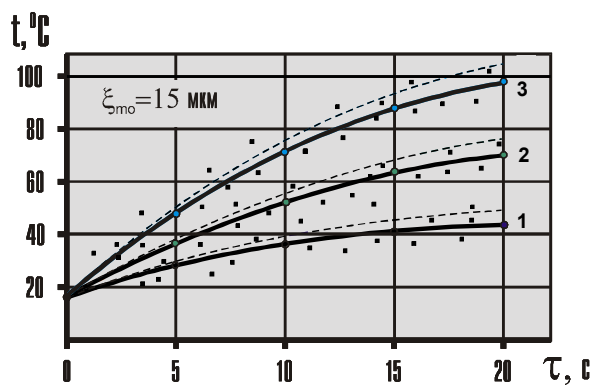
На рис. 2а,б представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния амплитуды ультразвуковых колебаний на входе длинного волновода на распределение температуры в контролируемых точках и время озвучивания.

Установлено, что с увеличением времени озвучивания, температура в контрольных точках растет равномерно и достигает максимального значения на входе за 30 с.

Причем, при дальнейшем увеличении времени озвучивания температура по длине волновода в среднем составляет $\approx 60^\circ$, градиент температуры от 55 до 85° .



а)



б)

--- - теоретические данные

— - экспериментальные данные

Кривые 1, 2, 3 соответствуют распределению температур в точках лежащих от торца преобразователя на расстоянии, соответственно, $\lambda/2$; $\lambda/2+4\lambda$; $\lambda/2+9\lambda$

Рис. 2. Зависимость температуры волновода от амплитуды колебаний (а) и времени озвучивания (б) волновода

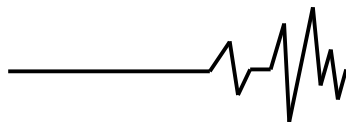
Установлено, что с увеличением амплитуды колебаний температура возрастает плавно до амплитуды 15 мкм, а при амплитуде свыше 20 мкм происходит резкое повышение температуры в контрольных точках и разрушение волновода.

Расхождение теоретических и экспериментальных данных составляет 15-20% и ошибка увеличивается с увеличением амплитуды. Очевидно, что в расчетах не возможно учесть, возникающие в гибком волноводе изгибные и крутильные колебания при увеличении амплитуды свыше 15 мкм. Теоретический расчет основывался только с учетом продольных колебаний волноводов, поэтому полученные экспериментальные исследования позволили внести поправку в расчетные зависимости по амплитуде продольных колебаний.

Второй этап исследований проводился с использованием специально разработанной экспериментальной установки, приведенной на рисунке 3. В топливопровод вводится гибкий проволочный металлический волновод, на который подавались ультразвуковые колебания. За счет диссипации акустической энергии, внутреннего трения, волновод разогревается и вокруг него образовывается кольцевой микроканал, и топливо начинает свободно перемещаться по топливопроводу.

При перемещении топлива ширина проходного сечения канала возрастает, проходное сечение топливопровода восстанавливается. Разработаны и другие способы подвода ультразвуковой энергии, отличающиеся тем, что разогрев топлива осуществляют волноводами изготовленными из ферромагнитного материала или материала обладающего магнитострикционным эффектом за счет воздействия на них переменным магнитным полем с частотой не ниже 1 кГц, которое получают путем подачи на обмотки провода переменного напряжения от ультразвукового генератора, при этом волноводы располагают внутри трубопровода на котором расположены обмотки провода, сами обмотки провода располагают по всей длине волновода на расстоянии относительно друг друга, кратном половине или четверти длины волны продольных колебаний волновода.

Система разогрева испытана в климат камере фирмы HPF GmbH Германия при температуре -40 градусов (рисунок 3). Вся система перекачки топлива помещалась камеру и выдерживалась до полного замерзания дизельного топлива по всему каналу топливной системы. Контроль



температуры осуществлялся при помощи термопар на входе T_1 , в середине T_2 и на выходе T_3 системы. После замерзания всей топливной системы, включался ультразвуковой

генератор и при достижении положительной температуры, включался насос M и дизельное топливо перекачивалось из одной емкости в другую.

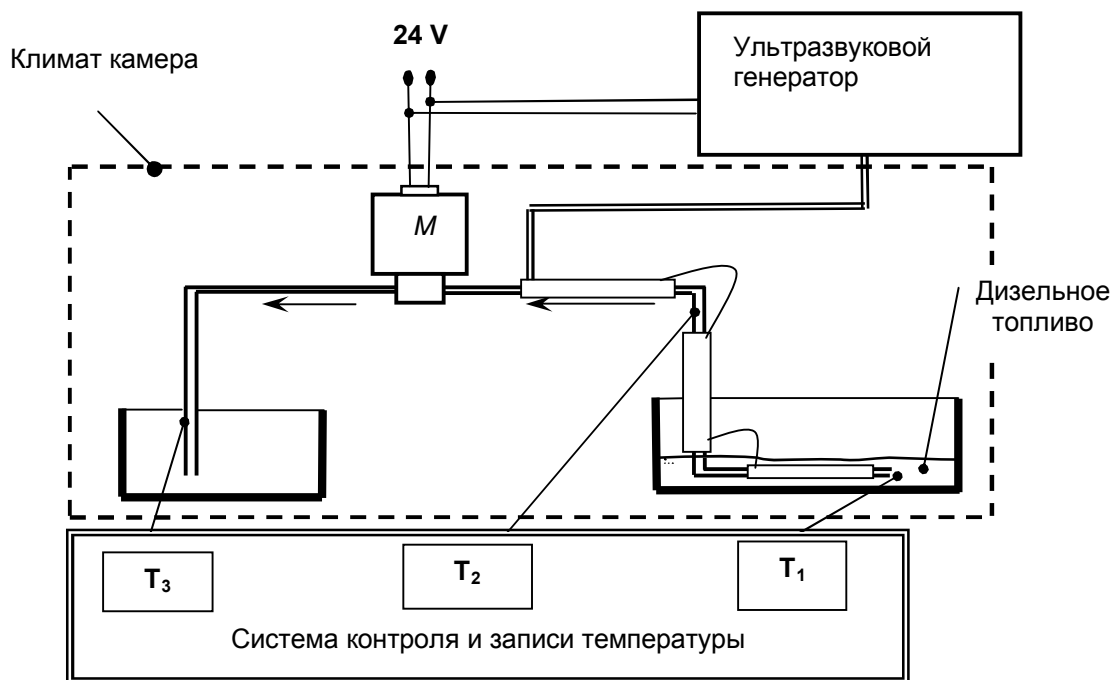


Рис. 3. Установка для исследования ультразвукового разогрева дизельного топлива.

Исследования показали, что за время разогрева, температура волновода не превышает 40°C , т.к. в начале происходит диссипативный нагрев при возрастающей скорости ультразвука, а затем, скорость распространения ультразвуковых волн убывает с ростом температуры. Это приводит к тому что температура в жидкости не может быть повышена до критической величины, т.е. происходит саморегуляция системы разогрева топлива в трубопроводе, это обеспечивает взрыво- и пожаробезопасность топливной системы.

На предложенный способ разогрева дизельного топлива при низких температурах и устройство для его осуществления получены Евразийский Патент, патент РБ, патент Германии.

Изготовленная и введенная в эксплуатацию ультразвуковая система позволит быстро восстанавливать проходимость в трубопроводах при низких температурах при малой мощности потребления электроэнергии.

Акустическая система может размещаться на топливопроводах средств передвижения, летательных аппаратов и других аппаратах, где необходимо

восстановить проходимость каналов при низких температурах.

Разработка системы осуществлялась совместно фирмой «Sensotronica» Республика Беларусь (www.sensotronica.com), фирмой HPF GmbH Германия, испытания волноводных систем осуществлялось в лаборатории «Мехатроника» Каунасского технологического университета.

Выводы

1. В результате воздействия ультразвука происходит быстрый нагрев длинного металлического волновода в течении 10-15 с.

2. С увеличением времени озвучивания происходит равномерный рост температуры по длине волновода, достигающий максимального значения на входе за 30 с. При дальнейшем увеличении времени озвучивания температура по длине волновода в среднем составляет $\approx 60^{\circ}$, градиент температуры от 55 до 85° .

3. Установлено, что с увеличением амплитуды колебаний температура возрастает плавно до амплитуды 15 мкм, а при амплитуде



свыше 20 мкм происходит ее резкое повышение и разрушение волновода.

4. Предложены способ разогрева и акустическое устройство, позволяющие производить подогрев замершего дизельного топлива при потребляемой мощности не более 130 Вт., при этом температура волновода, внедренного в топливопровод, не превышает 60°C, что обеспечивает взрыво- и пожаробезопасность топливной системы.

5. Разработанный генератор ультразвуковых колебаний имеет небольшие габариты и малое потребление электроэнергии, что дает возможность применения его на подвижных и летательных аппаратах при низких температурах.

Литература

1. Пурец М.Я., Минченя В.Т., Липкин Н.А. Ультразвук как средство разогрева замершего дизельного топлива. Научно-техн.

журнал «Автопромышленность», Россия, Москва, № 4, 2003г.

2. Цуцов В.И. Зимняя эксплуатация тракторов и автомобилей. М.: 1983 г.

3. Семенов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур. М.: 1993 г.

4. Кулемин А.В. М. Ультразвук и диффузия в металлах., «Металлургия», 1978г.

5. Кулемин А. В.- В кн.: Новые разработки в ультразвуковой технике. Л., ЛДНТП, 1972, с. 3-12.

6. DE 10 2007 025 690 A1 2008.12.04.Bezeichnung: Verfahren und Anordnung zum Erwärmen eines Mediums in einem lang gestreckten Behältnis insbesondere in einer schlauchförmigen Flüssigkeitszuleitung.

7. Способ разогрева дизельного топлива при низких температурах и устройство для его осуществления получен Евразийский Патент №002460 ЕАПО. Бюлл.№2, 2002г. от 25.04.02 г. Заявка № 200100200 (ЕАПО) и патент BY.