

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ В ТОПЛИВОПРОВОДЕ ДИЗТОПЛИВА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*Канд. техн. наук, доц. МИНЧЕНЯ В. Т., инж. ЛИПКИН Н. А.,
канд. техн. наук ПУРЕЦ М. Я., докт. техн. наук, проф. СОЛОМАХО В. Л.*

*Белорусский национальный технический университет,
Институт порошковой металлургии,
фирма «Фалькат»*

При низких температурах происходит загустение дизельного топлива с осаждением в нем кристаллов парафина. В результате закупориваются фильтры и топливопроводы, что затрудняет подачу топлива к двигателю, и запуск двигателя становится серьезной проблемой автомобилиста [1].

Эффективным способом восстановления подачи дизельного топлива является подогрев топливной системы автомобиля электрическими подогревателями. Однако из-за конструктивных особенностей и высокой потребляемой электрической мощности подобные нагреватели ориентируют только на отдельные участки топливной системы. Обычно это топливозаборник из топливного бака, фильтры грубой и тонкой очистки, топливopодкачивающий насос [2]. Такое расположение нагревательных элементов делает невозможным разогрев топлива в топливопроводе по всей длине от бака до двигателя.

Нами предложен способ разогрева дизельного топлива в длинном топливопроводе с использованием акустической энергии (евразийский патент № 002460 от 25.04.2002).

Известно, что распространение упругой энергии при колебании волновода приводит к затуханию ультразвуковых волн. При этом ультразвуковые металлические волноводы, работающие при амплитудах деформации $\epsilon_m = 10^{-4} \dots 10^{-3}$ мм, заметно нагреваются, так как часть звуковой энергии рассеивается в материал. Скорость же выделения теплоты зависит от амплитуды и частоты

деформации, которые, как правило, неодинаковы по длине гибкого тонкого волновода [3].

Целью настоящей работы являются исследование влияния амплитуды ультразвуковых колебаний, времени озвучивания длинных волноводов (длиной более 3λ , где λ – длина волны) на распределение температуры по длине волновода, а также разработка акустической системы для разогрева дизельного топлива в топливопроводе автомобиля.

Исследования влияния ультразвука на тепловые процессы проводились на волноводе диаметром 0,6 мм длиной 12λ . Материал волновода – коррозионно-стойкая сталь марки X18Ni10.

Озвучивание волновода осуществляли ультразвуковым пьезопреобразователем от генератора высокочастотных колебаний, питающегося от аккумуляторной батареи. Акустическая система настроена на резонансную частоту $26 \pm 0,2$ кГц. Резонансная настройка обеспечивалась по амплитудному значению в цепи питания преобразователя. Измерение температуры проводили с помощью термопар ТХК-1199 в точках на расстоянии $\lambda/2$ от места крепления волновода к концентратору ультразвукового генератора. Результаты измерений обрабатывались с помощью программы UNIVER. Амплитуда колебаний измерялась на входе волноводной системы индуктивным преобразователем, размещенным в пучности колебаний (рис. 1).

В работе [4] показано, что для продольно колеблющегося однородного стержня со свободным

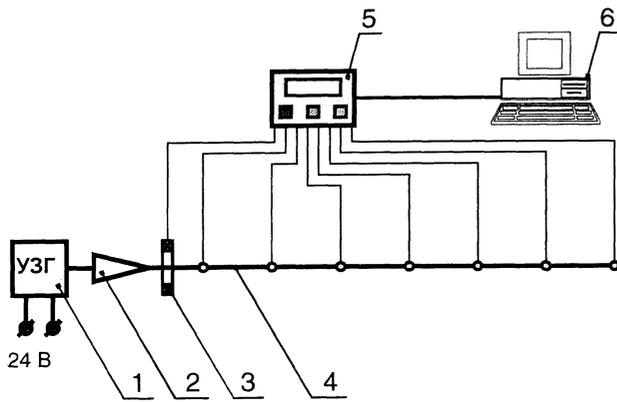


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования ультразвукового нагрева металлических волноводов: 1 – ультразвуковой генератор; 2 – концентратор; 3 – индуктивный преобразователь; 4 – исследуемый волновод; 5 – многоканальный измерительный прибор; 6 – персональный компьютер

концом при непродолжительном воздействии ультразвуком изменение температуры в любой точке описывается выражением

$$\Delta t(x, \tau) = t_1 - t_0 = \frac{3}{16} \frac{\xi_{m0}^2 Q^{-1}(\epsilon_{m0}) E f}{J a} \times \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} &k^2 \chi \tau + \frac{1}{6} (1 - e^{-16k^2 \chi \tau}) \sin^4 k(l-x) + \\ &\times \left[\frac{2}{3} \left(\frac{3}{4} - e^{-4k^2 \chi \tau} + \frac{1}{4} e^{-16k^2 \chi \tau} \right) \sin^2 k(l-x) - \right. \\ &\left. - \frac{1}{48} e^{-16k^2 \chi \tau} + \frac{1}{3} e^{-4k^2 \chi \tau} - \frac{5}{16} \right] \end{aligned} \right\},$$

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} – то же 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;

ло; $\chi = \frac{a}{\rho c}$ – коэффициент температуропроводности; ρ – плотность материала волновода; c – скорость звука в волноводе; l – длина волновода; x – координата исследуемой точки волновода; τ – время озвучивания; $Q^{-1}(\epsilon_{m0})$ – внутреннее трение

коррозионно-стойкой стали X18N10 [5], рассчитанное с учетом поправки на неравномерность распределения амплитуды деформации ϵ_m [6].

На рис. 2 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.

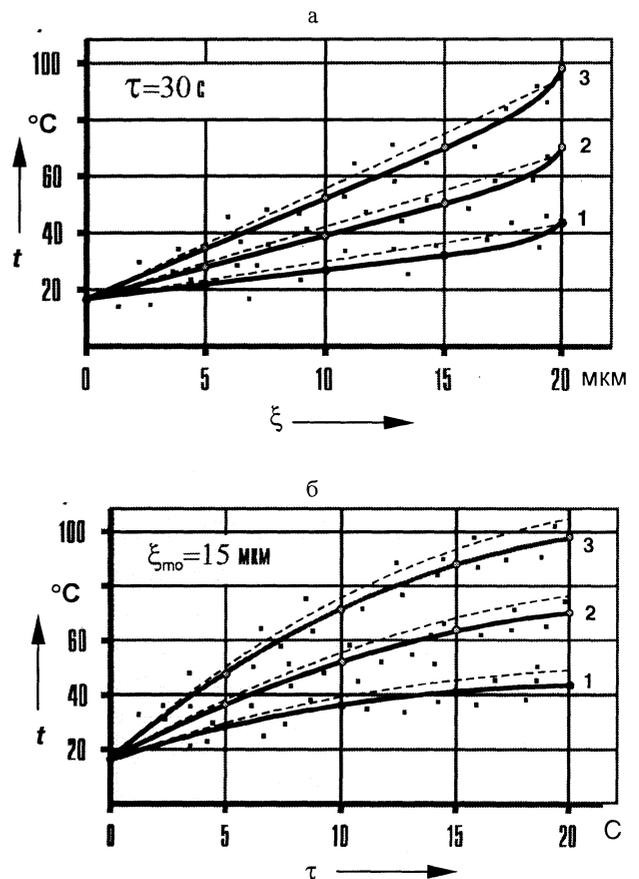


Рис. 2. Зависимость температуры волновода от амплитуды колебаний (а) и времени озвучивания (б) волновода: кривые 1, 2, 3 соответствуют распределению температур в точках, лежащих от торца преобразователя на расстоянии соответственно $\lambda/2$; $\lambda/2+4\lambda$; $\lambda/2+9\lambda$; - - - - теоретические данные; — — — экспериментальные данные

При дальнейшем увеличении времени озвучивания температура по длине волновода в среднем составляет $\approx 60^\circ$, градиент температуры – от 55 до 85° . С увеличением амплитуды колебаний до 15 мкм температура возрастает плавно, а при ам-

плитуде свыше 20 мкм происходят резкое повышение температуры в контрольных точках и разрушение волновода.

Расхождение теоретических и экспериментальных данных составляет 15...20 %, и ошибка увеличивается с ростом амплитуды. Очевидно, что в расчетах невозможно учесть возникающие в гибком волноводе изгибные и крутильные колебания при увеличении амплитуды больше 15 мкм. Теоретический расчет производился только с учетом продольных колебаний волноводов, поэтому результаты экспериментальных исследований позволили внести поправку в расчетные зависимости по амплитуде продольных колебаний.

Так как для разогрева дизельного топлива необходима температура в пределах 40...60 °С, на основании полученных зависимостей можно сделать вывод о возможности создания акустической системы разогрева на амплитудах до 15 мкм и времени озвучивания 30...40 с. В этом случае акустическая система обеспечивает достаточно устойчивый резонанс и безопасность работы.

Основываясь на экспериментальных данных, нами создано устройство для разогрева дизельного топлива при низких температурах, обеспечивающее прогрев топливной системы по всей длине от места забора топлива до двигателя (рис. 3).

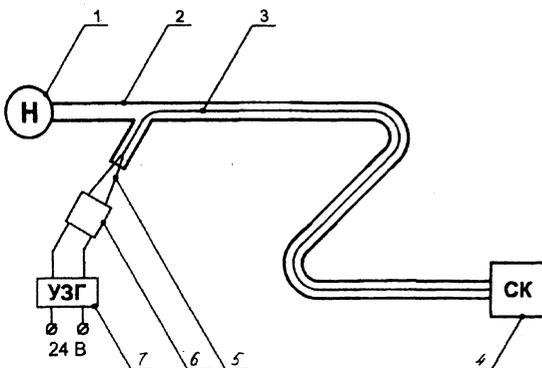


Рис. 3. Схема акустического устройства для разогрева дизельного топлива: 1 – насос; 2 – топливопровод; 3 – гибкий проволочный волновод; 4 – система контроля перемещения топлива; 5 – концентратор; 6 – корпус; 7 – ультразвуковой генератор

В топливопровод вводится гибкий проволочный волновод диаметром 0,6 мм и длиной 3,0 м. На волновод с помощью генератора подают ультразвуковые колебания, в результате чего происходит быстрый разогрев волновода по всей длине

топливопровода в среднем до 60 °С и появляется кольцевой микроканал для прохода жидкого топлива. При образовании микроканала вокруг металлического волновода в жидкой фазе топлива возникают кавитационные пузырьки, которые приводят к дополнительному разрушению кристаллической фазы топлива и переходу ее в жидкую. При этом ширина проходного сечения канала возрастает и топливо может свободно перемещаться по трубопроводу.

Были проведены испытания предложенного устройства. В стандартный топливопровод автомобиля МАЗ длиной 3 м закачивали дизельное топливо марки «Л». Топливопровод помещали в холодильную камеру и выдерживали при температуре –36 °С до замерзания топлива. При помощи насоса создавалось внешнее рабочее давление. На выходе топливопровода устанавливалась система контроля перемещения топлива. На разработанной установке были проведены исследования с целью определения рациональных режимов ее работы.

Экспериментально установлено, что при замерзании топлива до –36 °С для восстановления проходимости топливопровода требуется не более 30 с работы при потребляемой мощности 80...130 Вт. Отметим, что температура самого волновода не превышает 60 °С, а это обеспечивает взрыво- и пожаробезопасность топливной системы.

ВЫВОДЫ

1. В результате воздействия ультразвука происходит быстрый нагрев длинного металлического волновода, что может быть использовано для разогрева дизельного топлива в топливопроводе.

2. Установлено, что 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 ≈ 60°, градиент температуры – от 55 до 85°.

3. С увеличением амплитуды колебаний до 15 мкм температура плавно возрастает, а при амплитуде свыше 20 мкм происходят резкое повышение температуры и разрушение волновода.

4. Предложены способ разогрева и акустическое устройство, позволяющие производить разо-

грев дизельного топлива при потребляемой мощности не более 130 Вт. При этом температура волновода, внедренного в топливопровод, не превышает 60 °С, что обеспечивает взрыво- и пожаробезопасность топливной системы.

5. Разработанный генератор ультразвуковых колебаний имеет небольшие габариты и малое потребление электроэнергии, что позволяет применять его на автомобиле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цуцов В.И. Зимняя эксплуатация тракторов и автомобилей. – М., 1983.

2. Семенов Н. В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур. – М., 1993.

3. Кулемин А. В. Ультразвук и диффузия в металлах. – М.: Металлургия, 1978.

4. Кулемин А. В. Исследование тепловых процессов в ультразвуковых волноводах, работающих на больших интенсивностях звука // Новые разработки в ультразвуковой технике. – Л.: ЛДНТП, 1972. – С. 3–12.

5. Гордиенко Л. К., Степанов В. Н. О температурной зависимости внутреннего трения аустенитных сталей в полигонизованном состоянии // Внутреннее трение в металлических материалах. – М., 1970. – С. 138–142.

6. Кулемин А. В., Мицкевич А. М. О потерях в металлах на низких ультразвуковых частотах // Акустический журнал. – 1970. – Т. 16, вып. 2. – С. 275–280.

УДК 621.785:681.3

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ТЕЛ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ

*Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВСКИЙ В. Б., инж. КОВАЛЬКОВА И. А.,
канд. техн. наук, доц. КОВАЛЬКОВ А. Т.*

Белорусский национальный технический университет

При прогнозировании процесса нагрева в промышленных печах и распределения температурного поля в заготовках требуется знание значений коэффициентов теплообмена конвекцией α и радиацией σ . Эта задача для заготовок прямоугольного сечения решалась [1] путем идентификации математической модели нагрева на основе сопоставления теоретической модели, описывающей процесс нагрева, и экспериментальных исследований, т. е. подбирались такие значения коэффициентов теплообмена конвекцией и радиацией, при которых значения температур металла в печи, полученные как решение уравнения процесса нагрева, наименее отличались от тех же величин, но полученных экспериментальным путем. При этом рассчитывались значения температуры в различных точках поперечного сечения от поверхности до центра заготовки.

В настоящей работе решается аналогичная задача для заготовок цилиндрической формы, причем температура в процессе нагрева рассчитывается только на поверхности заготовки по методике [2]. В результате расчетов определяются значе-

ния чисел подобия Старка Sk и Био Bi , на основании которых могут быть определены коэффициенты теплообмена конвекцией и радиацией для исследуемой нагревательной печи.

Программное обеспечение решаемой задачи состоит из нескольких модулей на Турбо-Паскале, которые реализуют частные задачи:

- расчета значений температуры на поверхности заготовки в процессе нагрева [2];
- аппроксимации экспериментальной кривой изменения температуры на поверхности цилиндрической заготовки кубическим сплайном [3];
- минимизации целевой функции с двумя переменными (числа подобия Sk и Bi) методом координатного спуска [3], минимум одномерной функции вычисляется методом золотого сечения.

При расчете значений температуры на поверхности заготовки в соответствии с методикой [2] процесс нагрева разбивается на два этапа: инерционный, когда цилиндр только прогревается (температура центра еще не изменяется), и регулярный, когда температура изменяется по всему сечению. На регулярном этапе температура на