

Рис. 4. Термограммы образцов ПХА дисперсностью 2—5 мкм.  
1 — исходный; 2 —  $f = 45$  Гц; 3 —  $f = 80$  Гц.

хода до 530,5 К, а двух температур, характеризующих указанные выше экзоэффекты, — до 647 и 721 К. После виброобработки эти характерные температуры стали равными для трех типов образцов ПХА соответственно 524, 614 и 686 К при  $f = 45$  Гц; 523,8, 599 и 669 К при  $f = 80$  Гц; 600 и 702 К, если  $f = 100$  Гц.

Замена поликристаллических образцов ПХА на монокристаллы дает у исходного материала практически те же характерные температуры переходов, как у образцов с  $d = 160$  мкм. После виброобработки температуры полиморфного превращения и двух экзоэффектов понижаются.

Одновременное воздействие повышенной температуры и вибрации на ПХА практически не влияет на вид термограмм и их характерные температуры по сравнению с термограммами ПХА только после виброобработки. Причинами изменения реакционной способности ПХА разной дисперсности после виброобработки могут быть: механохимический распад в твердой фазе с образованием конденсированных продуктов, являющихся катализаторами разложения ПХА, сильное возрастание дефектности кристаллов с образованием микро- и макротрещин, скопления дислокаций, способных стать реакционными центрами топомимической реакции разложения. Термографический метод позволяет определить влияние вибрации на температуры переходов и химических превращений с хорошей степенью точности и может служить способом оценки изменения реакционной способности после виброобработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев К. К. Термическое разложение и горение ВВ.— М.: Наука, 1966.
2. Коробан В. А., Светлов Б. С. и др. // Механизм термического разложения ПХА.— Черноголовка, 1981.
3. Хайретдинов Э. Ф., Мулина Т. В., Болдырев В. В. Там же.
4. Раевский А. В. Там же.
5. Логиннов И. П., Муратов С. М., Назаров П. К. ФГВ, 1976, 12, 3, 440.

Поступила в редакцию 8/IV 1987,  
после доработки — 23/XI 1987

УДК 621.43.016

### ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА ТОНКИХ ПЛЕНОК МОТОРНЫХ ТОПЛИВ, ДВИЖУЩИХСЯ В НАРАСТАЮЩЕМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ

Ю. Б. Свиридов  
(Ленинград)

Горение моторных топлив развивается только в газовой фазе, и горению жидких горючих должна предшествовать стадия газификации за счет подвода теплоты в количестве, достаточном для разрыва только межмолекулярных связей. Проблема получения гомогенной горючей

смеси особенно актуальна для поршневых двигателей (бензиновых и дизельных), так как присутствие жидкой фазы затрудняет процесс горения и ухудшает состав продуктов сгорания. В энергетических установках смесеобразование имеет, как правило, объемный характер, задаваемый пространственным распылением топлива в воздушной среде, в результате чего формируется гомогенная топливно-воздушная смесь переменного состава и температуры.

В [4] для дизелей предложен альтернативный метод смесеобразования посредством пленочного испарения. Развитие идеи пленочного испарения топлива позволило разработать принципиально отличный способ сверхбыстрой газификации моторных топлив [2]. Суть нового способа заключается в том, чтобы каждый компонент топлива газифицировался (испарялся) в оптимальном режиме при своей температуре кипения. С этой целью поле температур испарителя должно перекрывать поле фракционной разгонки топлива с тем, чтобы временной процесс фракционной разгонки топлива осуществлялся как пространственный, перемещающийся по линейной координате с определенной скоростью тонкую топливную пленку.

Опыты по напылению топлива на изотермическую пластину показали, что топливо оседает и растекается в виде пленки только при низких температурах. Так, бензин (с пределами разгонки  $t_p = 60 \div 180^\circ\text{C}$ ) полностью осаждается на поверхности при  $t \leq 100^\circ\text{C}$ . При большей температуре горючее частично разбрызгивается в форме капель, поток которых нарастает с увеличением  $t$ . При температуре, близкой к концу разгонки, пленка вообще на поверхности не образуется, и все напыленное топливо отбрасывается от горячей поверхности парами вскипающих легких фракций. Это означает, что пленочное испарение с образованием гомогенной смеси невозможно на изотермической пластине. Для газификации топлива оказалось необходимым, чтобы топливная пленка двигалась в поле нарастающих температур. Режим высокоэффективного кипения обеспечивается односторонним подводом тепла с конца, противоположного подводу топлива (противоток).

На предложенном принципе противотока разработаны эффективные смесеобразующие устройства для различных энергетических устройств: пленочно-испарительная камера сгорания газовой турбины [3], «пленочный карбюратор» для бензинового двигателя [4, 5] и др. Разнообразие уже реализованных и возможных новых путей технологического применения предложенного способа пленочного смесеобразования в противотоке потребовало изучения природы процессов тепло- и массообмена. Опытным путем установлено, что основные характеристики теплообмена могут быть охарактеризованы кривыми изменения коэффициента теплообмена  $\alpha_n$  и доли испаренного топлива  $J_n = \frac{G_r}{G_t} \cdot 100\%$ , где  $G_t$  и  $G_r$  — массовый расход топлива и количество испаренного топлива.

Эксперименты проведены на установке<sup>1</sup>, основной частью которой служила высокотеплопроводная (латунная) пластина, нагреваемая токами высокой частоты со стороны, наиболее удаленной от места ввода топлива. Моторное топливо увлекалось потоком воздуха по теплоизолированной пластине по направлению к наиболее нагретому концу. Сама пластина служила стенкой прямоугольного воздушного канала. В пластину заделано 16 термопар, измерявших температуру теплопередающей поверхности испарителя  $t_n$  и пленки  $t_p$  по пути ее следования  $x$ , что позволило определить коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n h_n}{\Delta t_i} \left( \frac{d^2 t_n}{dx^2} \right), \quad (1)$$

где  $\Delta t_i = t_n - t_p$ ;  $\lambda_n$  — коэффициент теплопроводности испарителя;  $h_n$  — толщина испарителя.

<sup>1</sup> Установка разработана А. М. Андреевым.

Тепловой поток от испарителя к пленке находится по выражению

$$Q_{\Pi} = Q_{\lambda} \left[ t - \frac{\left( \frac{dt_{\Pi}}{dx} \right)_{x+dx}}{\left( \frac{dt_{\Pi}}{dx} \right)_{x}} \right], \quad (2)$$

отсюда, элементарная доля испаренного топлива

$$\Delta G_r = \frac{1}{r} (Q_{\Pi} - c_{p_T} G_T t_{\Pi}), \quad (3)$$

так что суммарная доля испаренного топлива

$$J_{\Pi} = \frac{1}{r G_T} \sum_1^n (Q_{\Pi} - c_{p_T} G_T t_{\Pi}). \quad (4)$$

Здесь  $Q_{\lambda} = \lambda_{\Pi} \rho_{\Pi} \nu_{\Pi} \frac{dt_{\Pi}}{dx}$  — тепловой поток вдоль испарителя навстречу движущейся пленке;  $r$  — теплота парообразования;  $c_{p_T}$  — теплоемкость топлива;  $b_{\Pi}$  — ширина испарителя. Приведенные выражения позволяют вычислить по замеренным данным  $t_{\Pi} = f(x)$  и  $t_{\Pi} = f(x)$  искомые характеристики  $\alpha_{\Pi}$  и  $J_{\Pi}$ .

Визуальные наблюдения при исследовании испарения топливной пленки в тепловом противотоке показали, что помимо хорошо изученного пузырькового кипения существует процесс полного и строго пофракционного кипения без паровых пузырьков.

При исследовании пузырькового кипения (режим I) установлены следующие особенности:

1) в начале движения и прогрева пленки процесса активного испарения нет, хотя поверхность пленки возмущена. При достижении бензиновой пленкой  $t \approx 130^{\circ}\text{C}$  она распадается на ручейки, которые при  $150^{\circ}\text{C}$  распадаются на капли;

2) при температуре, близкой к кипению концевых фракций (для бензина  $180^{\circ}\text{C}$ ), происходит пузырьковое кипение жидкости с быстрым парообразованием;

3) пузырьковое закипание сопровождается фонтанами брызг, которые уносятся потоком воздуха, одновременно часть топлива разлагается, что фиксируется в виде смолистых отложений.

При пленочной газификации моторных топлив, как многокомпонентных жидкостей, когда топливные пленки очень тонки, отмечен особый случай «скрытого» кипения (режим II). Он характерен следующими особенностями:

1) на всем своем пути поверхность пленки гладкая и не распадается на ручейки и капли;

2) на всем пути движения и нагрева пленка не фонтанирует и не оставляет смолистых следов;

3) процесс испарения всегда заканчивается полностью, пленка исчезает одновременно по всему фронту, как при поверхностном испарении; у очень тонких пленок конец фракционной разгонки наблюдался при более низких температурах, чем при разгонке.

Между режимами I и II наблюдается промежуточный (переходный) тип кипения, когда начавшийся процесс кипения в конечной зоне нарушался периодическим редким возникновением паровых пузырьков, брызг и отложений.

В опытах определены параметры  $\alpha_{\Pi}$  и  $J_{\Pi}$  по длине неизотермической поверхности испарителя<sup>2</sup>.

На рис. 1 приведены зависимости  $\alpha_{\Pi}(t_{\Pi})$  для бензиновых пленок при различных расходах топлива (соответственно — толщинах пленки), на рис. 2 — экспериментальные зависимости доли выкипевшего бензина из

<sup>2</sup> Опыты проведены и обработаны Л. Ю. Дроздовской.

$\alpha_n \cdot 10^{-3}$ , ккал/(м<sup>2</sup>·ч·град)

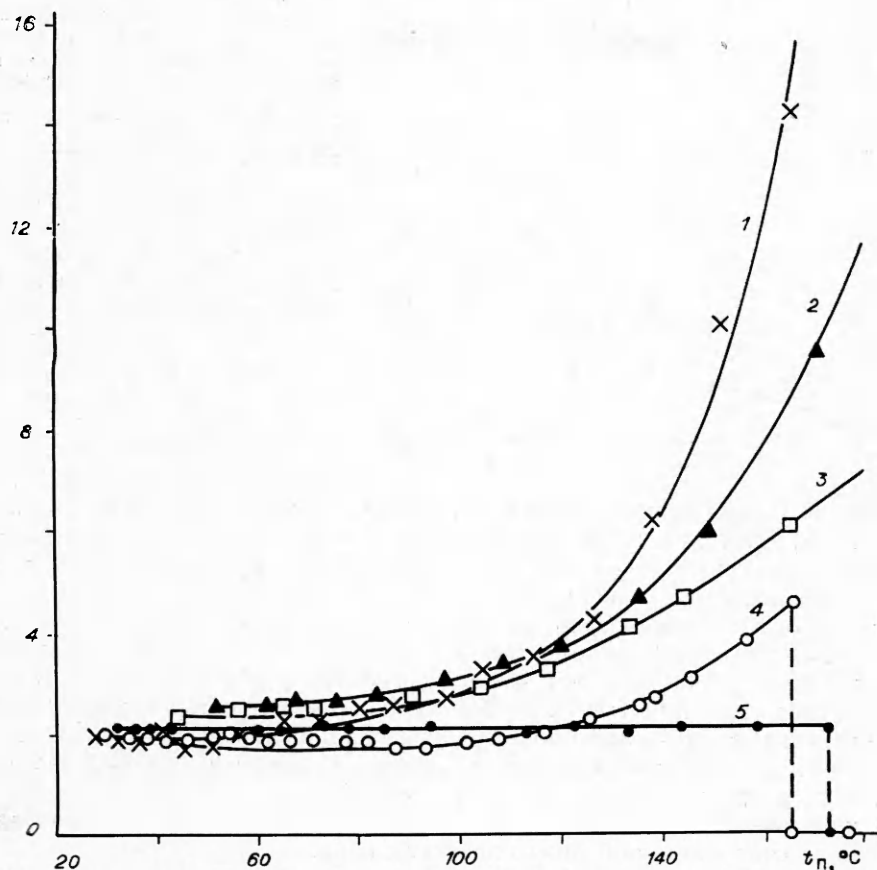


Рис. 1. Изменение коэффициента отдачи  $\alpha_n$  по мере прогрева пленки бензина, движущейся в нарастающем температурном поле  $t_n$ , при различных расходах топлива  $G_n$  и воздуха  $G_B$ .

1—3 — режим кипения II; 4 — переходный режим кипения; 5 — режим кипения I;  $G_n$ , кг/ч: 1 — 2,427, 2 — 3,692, 3 — 4,80, 4 — 2,437, 5 — 4,706;  $G_B$ , м<sup>3</sup>/ч: 1 — 60,2, 2 — 62,0, 3 — 60,3, 4 — 31,2, 5 — 42,2.

пленки от ее температуры. Видно, что при пузырьковом кипении доля выкипевшего топлива  $(J_n)_{\max}$  не превышает 60%, в то время как при режиме кипения II испаряется все топливо. Графики показывают, что у тонких пленок можно значительно интенсифицировать процесс теплообмена. При этом у тонких, т. е. малорасходных, пленок рост  $\alpha_n$  при нагревании происходит лавинообразно, так что значения  $\alpha_n$  достигают величин  $(20-30) \cdot 10^3$  ккал/(м<sup>2</sup>·ч·град). По-видимому, лавинообразный характер роста связан с непрерывным снижением толщины пленки. Менее интенсивный характер теплообмена имеется при переходном процессе.

При пузырьковом кипении значения  $\alpha_n$  практически постоянны, а после разрыва пленки и образования сухих пятен измерить  $\alpha_n$  трудно.

Итак, опыты по оценке  $\alpha_n$  и  $J_n$  при различных типах кипения показали, что у очень тонких пленок по мере их движения и прогрева возможно явление, когда молекулы какого-либо компонента топлива, достигнув температуры кипения, самостоятельно диффундируют к свободной поверхности пленки и вырываются из жидкой фазы в поток газа. С ростом  $t_n$  в этот процесс постепенно, по мере достижения своей температуры кипения, вовлекаются более тяжелые компоненты топлива. При этом тяжелые фракции не могут собраться в пристеночный пузырь, не только потому, что пленка тонкая, но и потому, что в мотор-

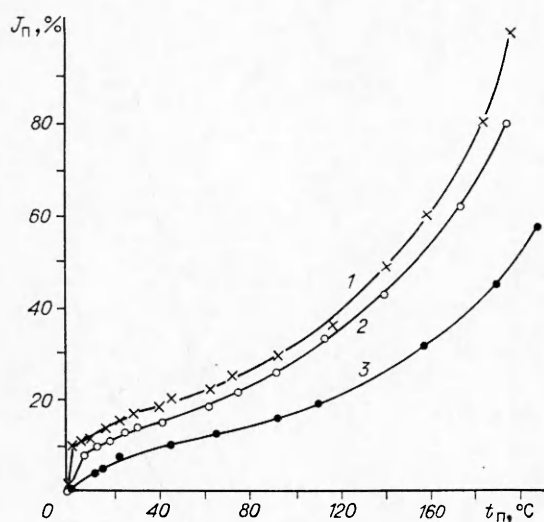


Рис. 2. Характеристики испаряемости бензиновой пленки  $J_p$ , движущейся в нарастающем температурном поле.

1 — режим кипения II; 2 — переходный режим кипения; 3 — режим кипения I;  $G_{II}$ , кг/ч: 1 — 2,427, 2 — 2,437, 3 — 4,706;  $G_B$ , м<sup>3</sup>/ч: 1 — 60,2, 2 — 31,2, 3 — 42,2.

температуры кипения компонента получают пространство, если при этом путь диффузии, т. е. толщина пленки, мала. Когда эта толщина больше критической, то эти молекулы (или их часть) не достигнут поверхности раздела фаз и фракционирование топлива не будет отслеживать изменение температуры. В результате испаряться будет часть компонента, достигшего температуры фракционной разгонки, а оставшаяся часть перевозбужденных молекул жидкой фазы будет накапливаться в жидкости, пока при некоторой температуре не наступит критический момент образования паровых пузырей. При некоторых условиях образование больших пузырей может привести к разрыву сплошной пленки на жгуты, струйки и даже на капли, а малые пузыри — к обычному вскипанию жидкости, даже фонтанированию капель за счет выталкивающего действия пара.

Таким образом, при обнаруженном в опытах втором режиме кипения каждый моль топлива последовательно проходит весь цикл фракционной разгонки в режиме кипения. Кроме того, при стационарном и установившемся втором режиме кипения существует одновременное выкипание всех фракций жидкости, характеризующееся высокой эффективностью тепло- и массообмена. Этот механизм присущ только тонким пленкам многокомпонентных жидкостей, движущихся в нарастающем температурном поле.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Meyerer J. S. Wandel in Verstellung von Ablauf der Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor. MTZ, 1966, 77.
2. Свиридов Ю. Б., Бердин В. А. // Тр. ЦНИТА.— 1968.— № 37.
3. Свиридов Ю. Б., Афросимова В. Н., Козельский Е. И. // Тр. ЦНИТА.— 1975.— № 63.
4. Свиридов Ю. Б., Скворцов В. А., Новиков Е. В. Двигателестроение, 1982, 1.
5. Свиридов Ю. Б. и др. Патенты по системе «ЦНИТА-С1»: 2093940В Великобритания, 2469572 Франция, 1132415 Канада, 156836 ГДР, 7908310-1 Швеция, 539554 Австралия, 229790 Польша, 222120 Чехословакия.
6. Свиридов Ю. Б., Бердин В. А. // Тр. ЦНИТА.— 1968.— № 37.
7. Свиридов Ю. Б., Скворцов В. А. // Тр. ЦНИТА.— 1978.— № 72.

Поступила в редакцию 21/V 1987