

УДК 541.1

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

О. К. Давтян

Способы диспергирования топлива и другие факторы, способствующие полному сгоранию в двигателях внутреннего сгорания (ДВС)

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Б. Налбандяном 12/XI 1980)

Согласно формуле (10) из (1) скорость цепных реакций, совершающихся в ДВС, при данной температуре и данных парциальных давлениях реагирующих компонентов можно увеличить только двумя путями: увеличивая скорость рождения свободных радикалов (w_k) и уменьшая скорость их гибели. Первый путь в конечном счете приводит к факельному методу зажигания топлива посредством специальных форкамер (2), а второй путь, как видно, сводится к сильному диспергированию топлива.

Метод диспергирования топлива с первого взгляда кажется тривиальным. Ведь хорошо известно, что вопрос о необходимости диспергирования топлива в ДВС возник с момента изобретения карбюратора, и вообще по существу с момента создания ДВС. Однако цель карбюрации топлива в основном заключается в его смешении с воздухом и частичном его испарении. В связи с этим возникла новая и весьма важная информация о том, что *капельки топлива являются центрами гибели свободных радикалов* и что их способность поглощать свободные радикалы пропорциональна квадрату их радиусов и величине их концентрации. Это значит, что при концентрациях капелек выше определенных пределов не только сильно уменьшится скорость цепных процессов, но и эти процессы могут полностью прекратиться.

В результате теоретических и экспериментальных исследований мы пришли к заключению, что существует несколько радикальных методов диспергирования топлива в ДВС, наиболее подходящим из которых оказался метод смешения газов и газо-диспергированных систем с парциальным расширением их компонентов. Далее, оказалось очень полезным использование водо-топливной смеси с предварительным получением водо-воздушного тумана.

Рассмотрим эти методы в отдельности.

1. Термодинамический принцип диспергирования жидкостей, в ча-

стности жидкого топлива, в ДВС методом смешения газов. В химической термодинамике известно, что при смешении двух (или больше) газов или одного газа с коллоидной системой (диспергированной жидкостью), при котором происходит парциальное расширение каждого из газов или коллоидной системы в другом газе без изменения общего объема и общего давления (последние условия не обязательны), совершается работа и, наоборот, при отделении этих газов друг от друга затрачивается работа, в чем и заключается энергетическая сущность разделения газов и газовых изотопов.

Если общая система объемом V состоит из двух газов, каждый из которых до смешения занимал объем V_1 и V_2 , причем $V_1 + V_2 = V$, то в результате их изотермического смешения, а следовательно, парциального их расширения от объемов V_1 и V_2 до объема V , совершается работа:

$$A = A_1 + A_2 = RT \left[\frac{G_1}{M_1} \ln \frac{V}{V_1} + \frac{G_2}{M_2} \ln \frac{V}{V_2} \right], \quad (1)$$

где G_1 и G_2 — количество газа в г; M_1 и M_2 — соответственно их молекулярный вес; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура. В том случае, когда один из компонентов массой G_2 и объемом V_2 представляет собой коллоидную систему (насыщенный пар), состоящую из смеси капелек жидкости и пара данного вещества, приведенная формула принимает такой вид:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = RT \left[\frac{G_1}{M_1} \ln \frac{V}{V_1} + L \frac{G_2}{M_2} \ln \frac{V}{V_2} + (1 - L) \frac{G_2}{M_3} \ln \frac{V}{V_2} \right]. \quad (2)$$

Здесь L — доля жидкой фазы и $1 - L$ — доля парообразной фазы. Если при таком изотермическом парциальном расширении полученная энергия не расходуется на механическую работу, то она может идти лишь на увеличение внутренней энергии системы. В частности, если в этой системе имеются коллоидные частицы, то указанная энергия может идти на увеличение поверхностной энергии системы, т. е. на увеличение степени дисперсности коллоидных частиц — капелек жидкости.

Таким образом, парциальное расширение одного газа или коллоидной системы в другом газе, например, эмульсии топлива в воздухе, при определенных условиях приводит к вторичному диспергированию, к увеличению ее дисперсности.

Именно это явление мы и использовали впервые для диспергирования топлива (и вообще жидкости) в ДВС.

Так как обычно исходный объем горючей смеси очень мал по сравнению с объемом воздуха, то в уравнении (2) первым членом можно пренебречь, и тогда

$$A = A_2 + A_3 = RT \left[L \frac{G_2}{M_2} \ln \frac{V}{V_2} + (1 - L) \frac{G_2}{M_3} \ln \frac{V}{V_2} \right]. \quad (3)$$

Здесь $M_2 \equiv \bar{M}_{\text{топ.л.}}$ — средний молекулярный вес топлива, который для бензина приблизительно равен $\bar{M}_{\text{бенз.}} = 120$ г; следовательно,

$$M_2 \equiv \bar{M}_{\text{кол.ч}} = \frac{4}{3} \pi r_0^3 \delta N_A = \frac{24}{3} \pi r_0^3 \delta \cdot 10^{23}$$

есть „средний молекулярный вес“ коллоидной частицы объемом

$$V_{\text{к.ч}} = \frac{4}{3} \pi r_0^3 \delta. \text{ В последнем выражении } \delta \text{ — плотность жидкости в}$$

г · см⁻³; N_A — число Авогадро. Работа (3) с определенным коэффициентом K , обусловленным термодинамической необратимостью процесса изотермического расширения и потерей энергии, будет затрачиваться на увеличение поверхностной энергии коллоидной системы:

$$KA = 4\pi\sigma(r^2n + r_0^2n_0), \quad (4)$$

где σ — поверхностное натяжение жидкого топлива в дин · см⁻¹; r и r_0 — радиусы капелек топлива; n_0 и n — число капелек до и после вторичного диспергирования.

Далее, если $G_2 \equiv G$ — масса топлива в г (она может представлять собой цикловое наполнение или другое количество), то объем жидкой фазы будет равен $L \frac{G}{\delta}$. Это значит, что

$$LG/\delta = \frac{4}{3} \pi r^3 n \equiv \frac{4}{3} \pi r_0^3 n_0,$$

откуда

$$r_0^3 n_0 = \frac{LG}{4/3 \cdot \pi \delta r_0}.$$

И тогда согласно (4)

$$KA + \frac{3L\sigma G}{\delta r_0} = 4\pi\sigma r^2 n. \quad (6)$$

Совместное решение первого из (5) и (6) дает

$$r = \frac{3L\sigma G}{KA\delta + 3LG/r_0}. \quad (8)$$

Дальше, подставляя значение A из уравнения (3) в (7), окончательно получим

$$r = 3\sigma L \left\{ K \left[\frac{1-L}{\bar{M}_{\text{топ.л.}}} + \frac{L}{\bar{M}_{\text{кол.ч}}} \right] \delta RT \ln \frac{V}{V_2} + \frac{3L\sigma}{r_0} \right\}^{-1}. \quad (8)$$

Итак, в камере диспергирования жидкостей (в частности жидкого топлива) после первичного диспергирования жидкости в системе диффузоров дальнейшее (вторичное) диспергирование происходит в пространстве (в объеме V) камеры благодаря смешению первично диспергированной жидкости с воздухом и ее парциальному расширению (3).

Согласно приведенной формуле (8) чем больше объем камеры, тем больше степень диспергирования. Температура камеры играет двойную роль. С одной стороны, она по формуле (8) увеличивает степень диспергирования, с другой стороны, уменьшает коэффициент наполнения двигателя и, следовательно, мощность двигателя.

Согласно данным расчета по формуле (8) степень диспергирования при определенных условиях увеличивается в 100—1000 раз (первоначальное значение $r = 10^{-3}$ см).

Уравнение (8) было получено при условиях, когда в процессе диспергирования доля жидкой фазы при постоянной температуре не изменялась. Однако на самом деле после диспергирования она должна меняться. Действительно, получение тумана с большой дисперсностью, в котором содержатся капельки размером 10^{-6} см и меньше, приводит к понижению упругости паров жидкости и, следовательно, к сильному испарению этих капелек. Согласно известному термодинамическому положению давление пара (упругость паров) капелек жидкости зависит от их радиуса по следующей формуле Кальвина:

$$\ln \frac{p_k}{p} = \frac{2\bar{M}\sigma}{\delta RT} \cdot \frac{1}{r}, \quad (9)$$

где p_k и p — давление пара капелек и недиспергированной жидкости соответственно; \bar{M} , σ и δ — соответственно средний молекулярный вес, поверхностное натяжение и плотность жидкости; R и T — газовая постоянная и абсолютная температура. Для бензина при $T = 353$ К

$$\lg \frac{p_k}{p} = \frac{0,434 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 30}{8,3 \cdot 10^7 \cdot 353} \cdot \frac{1}{r} = 0,9 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{r}$$

Согласно этим соотношениям при радиусе капелек $10^{-6} - 0,3 \cdot 10^{-6}$ см давление пара жидкости должно увеличиваться в 1,2—2,0 раза, т. е. капельки размерами 10^{-6} см и меньше немедленно должны испариться при $T = 353$ К (температура внутри карбюратора).

Итак, при парциальном расширении горючей смеси в воздухе наряду с диспергированием происходит испарение мелких капелек — уменьшение их концентрации.

Согласно же полученной нами формуле скорости цепной реакции в ДВС (1) при такой степени диспергирования топлива и его испарении скорость цепной реакции крекинга и окисления должна резко увеличиваться, и следовательно, должна увеличиваться экономичность двигателя и уменьшаться токсичность выхлопных газов.

2. Роль воды в процессе сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания. Вопрос об использовании воды в качестве присадки в топливо в ДВС имеет долгую историю; эта проблема обсуждалась и обсуждается во многих странах мира, и в том числе в нашей стране.

Согласно нашим исследованиям при использовании водо-топливной смеси особо важное значение имеет предварительное сильное диспергирование воды. Чтобы это стало понятным, попытаемся дать не-

которое объяснение роли воды в процессе диспергирования топлива, а также в образовании свободных радикалов—зарождении цепей крекинга и окислении углеводородов, приводящих к недотанационным процессам (неразветвленным цепным реакциям).

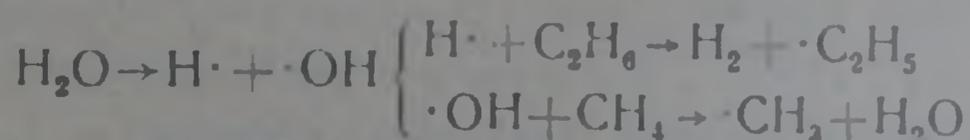
Как известно, вода и углеводороды (в том числе бензин, соляровое масло и т. д.) не смешиваются. Однако в диспергированном состоянии они взаимно адсорбируются. Это явление значительно усиливается при наличии незначительного количества *поверхностно-активных* веществ. И поскольку поверхностное натяжение воды почти в два с половиной раза больше такового для углеводородов, то взаимодействие этих не смешивающихся жидкостей в диспергированном состоянии сводится к тому, что ядра капелек двойной системы всегда образуются из воды. При наличии же достаточного количества водяных капелек топливо может равномерно тонким слоем распределяться на поверхности капелек воды. Чем сильнее предварительное диспергирование воды, а следовательно, чем больше абсолютная величина водяной поверхности, тем меньше толщина слоев углеводородов, покрывающих поверхность воды. Толщину этих слоев можно довести до нескольких молекулярных размеров. Увеличение абсолютной поверхности жидкого топлива ведет к сильному увеличению скорости его испарения, что очень важно при малом периоде времени испарения в процессе сгорания топлива в ДВС.

В водо-топливной смеси (как и во всяких плохо смешивающихся жидкостях) вблизи границ раздела фаз в какой-то степени происходит взаимное их растворение, что, как известно из теории растворов, довольно сильно снижает температуру кипения обеих фаз и, следовательно, повышает давление паров компонентов. А это вместе с фактором увеличения истинной поверхности топлива сильно увеличивает скорость испарения. Следует учесть, что в начале сгорания топлива в ДВС (в период задержки воспламенения) температура и давление в двигателях таковы, что водо-топливная смесь, и вообще топливо с высоким давлением пара, термодинамически не устойчива и должна испаряться. Единственным препятствием этому процессу является только кинетика испарения. За очень малый период времени задержки сгорания (15—30° угла поворота коленчатого вала) топливо обычно не успевает испариться полностью. Однако присадка воды в топливо в указанных условиях диспергирования способствует увеличению степени этого испарения.

Если водо-топливные капельки в период задержки воспламенения по каким-либо причинам не успевают испариться (и это, как отмечалось, вполне естественно, то они теперь уже не могут быть центрами гибели свободных радикалов. Это объясняется тем, что бомбардирующие поверхность капелек свободные радикалы при цепных реакциях не растворимы в капельках воды; при их столкновении с молекулами углеводородов, тонким слоем покрывающих поверхность водяных капелек, произойдет такая же химическая реакция, как при столкновении с молекулами топливного пара. Таким образом, водяные капельки, покрытые предельно тонким слоем углеводородов, должны быть подходя-

щими мишенями для активных бомбардировок свободными радикалами. В этом и заключается одно из преимуществ водо-топливной диспергированной системы.

Другое преимущество присадки воды в топливо состоит в том, что в период задержки сгорания топлива при появлении электрической искры или спонтанно возникающих и затухающих вспышек (для дизельных двигателей) благодаря наличию паров воды должно иметь место интенсивное образование свободных радикалов $\text{H}\cdot$ и $\cdot\text{OH}$, следовательно, зарождение цепной реакции крекинга и окисления, например:



Подобные процессы сильно эндотермичны. В результате этих реакций температура окружающей среды падает. Это способствует продолжению окислительной цепной реакции не по разветвленному механизму (с детонацией), а по неразветвленному (или по механизму вырожденных разветвленных цепей).

Благодаря указанным эндотермическим реакциям в период невидимого сгорания (в период задержки воспламенения) в какой-то степени увеличивается теплотворная способность топлива, что очевидно ведет к экономичности работы двигателя.

Существует мнение, что поскольку вода в ДВС будет занимать некоторый объем камеры сгорания, при этом будет уменьшаться количество поступающего в двигатель топлива и кроме того в процессе сгорания топлива некоторая часть теплоты пойдет на испарение этой воды. Считается также, что эти факторы будто бы могут привести к понижению мощности и экономичности двигателя. Однако необходимо учесть, что вообще диспергирование жидкости не означает увеличение ее объема. Это значит, что объем, занимаемый водой, в основном есть объем жидкой фазы воды. Для данного цикла этот объем ничтожно мал. К тому же расход топлива на испарение воды даром не теряется. В данном случае вода фактически представляет собой рабочую жидкость, как в паровой машине; при испарении она с остальным расширяющимся газом совершает работу. Что касается уменьшения поступающего в двигатель топлива за счет объема, занимаемого водой, то очевидно, что это вполне (и, по-видимому, слишком) компенсируется выигрышем энергии, полученной в результате отмеченных эффектов увеличения скорости сгорания топлива и некоторого увеличения теплотворной способности топлива. Эта точка зрения подтверждается нашими экспериментами.

Վառելանյութերի դիսպերգացման միջոցները եվ նրա լրիվ այրմանը նպաստող մյուս գործոնները ներքին այրման շարժիչներում (ՆԱՇ)

Ներքին այրման շարժիչում վառելանյութի դիսպերգացման համար մշակված է նոր մեթոդ, որի էությունը հետևյալն է. սկզբնական փոշիացած հեղուկը հատուկ կամերայում (դիսպերգացման կամերա) գազի հետ խառնվելու դեպքում կրկնակի դիսպերգացվում է (տեղի է ունենում նրա պարցիալ լայնացում):

Յուրաքանչյուր ներքին այրման շարժիչի համար վառելանյութի դիսպերգացման ավելի ունիվերսալ մեթոդ է հանդիսանում ջրի և վառելանյութի խառնուրդի օգտագործումը դիսպերգացման կամերայի միջոցով:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Օ. Կ. Давтян, ДАН АрмССР, т. 73, № 3 (1981). ² Л. А. Гусак, Вестник АН СССР, 8, 53 (1976). ³ Օ. Կ. Давтян, Я. А. Карапетян, М. А. Давтян, Авторское свидетельство № 2802151/25—0,6 (115170), 27 июля 1979 г.