

ГЛАВА II

ДЕТОНАЦИЯ И ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЕ

В этой книге не рассматривается детально чрезвычайно сложное явление детонации, так как оно включает в настоящее время слишком большой круг вопросов, а также вопрос о том, можно ли назвать «стук» в двигателе с воспламенением от искры детонацией в прямом смысле слова, так как это служит предметом спора между физиками и химиками.

Давно сложилось представление, что существует сфера действия детонации, и только детонации, которая в прошлом ограничивала мощность и к. п. д. двигателя с воспламенением от искры при работе на летучих нефтяных топливах.

Благодаря большим усовершенствованиям в производстве бензиновых топлив и, в меньшей степени, в результате использования присадок, например тетраэтилсвинца, детонация теперь является ограничивающим, но уже не решающим фактором, как это было двадцать или тридцать лет назад.

Сущность детонации заключается в образовании внутри цилиндра волны давления, распространяющейся с такой высокой скоростью, что при столкновении со стенками цилиндра она вызывает их вибрацию, которая влечет за собой появление звонкого звука высокой частоты.

В общих чертах, не рассматривая химической природы явления, сущность механизма детонации была без доказательства принята давно и может быть объяснена достаточно элементарно.

Когда смесь топлива и воздуха воспламеняется при проскакивании искры, образуется сначала медленно, а затем значительно быстрее, маленький очаг пламени; пламя распространяется от него с увеличивающейся скоростью, и, если смесь находится в покое, фронт пламени будет двигаться по камере сгорания, сохраняя гладкую поверхность. В действительности, конечно, поверхность пламени разрывается под действием турбулизации, что обеспечивает его более быстрое продвижение.

Когда фронт пламени продвигается, он сжимает оставшуюся перед ним несгоревшую смесь, температура которой повышается от сжатия и от радиации движущегося пламени до тех пор, пока оставшийся несгоревший заряд не достигнет состояния, когда он воспламенится самопроизвольно, образуя волну давления. Послед-

няя проходит по горячей смеси с чрезвычайно высокой скоростью, так что ее столкновение со стенками цилиндра вызывает звенящий стук, как будто по ним ударяют легким молоточком.

Ниже показано, что возникновение детонации, зависит:

- 1) от степени нагрева и сжатия, которую допускает смесь, сгорающая в последнюю очередь, т. е. от химического состава топлива (и от его температурного коэффициента);

- 2) от передачи теплоты от быстро продвигающегося фронта пламени к смеси, сгорающей в последнюю очередь;

- 3) от абсолютного расстояния, которое должно пройти пламя от точки воспламенения;

- 4) от фактора времени, так как развитие реакций в смеси, сгорающей в последующую очередь, занимает определенное время;

- 5) от степени турбулентности, которая сокращает оба процесса.

Турбулентность, с одной стороны, способствует отдаче теплоты от невоспламенившегося заряда и значительно ускоряет продвижение фронта пламени, а с другой стороны, она увеличивает поверхность излучения. Первый фактор преобладает, и увеличение турбулентности уменьшает склонность к детонации. Многое зависит также и от формы и конфигурации камеры сгорания. В экспериментах, проведенных автором, усиление турбулентности никогда не увеличивало склонности к детонации и в большинстве случаев значительно понижало ее.

Трудно установить, какая часть всего заряда детонирует. Стробоскопическое наблюдение камеры сгорания через кварцевые окна показывает, что детонация менее 5% всего заряда достаточна, чтобы вызвать очень сильный стук. Кроме шума, детонация опасна тем, что может привести к преждевременному воспламенению всего заряда. Продолжительная детонация вызовет также эрозию днища поршня, по характеру подобную эрозии лопастей винта морских судов при кавитации.

При работе двигателя на малых нагрузках (или при небольших размерах двигателей, как например, легких автомобильных), детонация не опасна, так как шум в двигателе при детонации является достаточным сигналом; в больших напряженных двигателях, особенно с высоким наддувом, как например, в авиационных, когда общий уровень шума уже достаточно высок, детонация может быть опасной и привести к аварии двигателя от преждевременного воспламенения, сопровождаемого разрушением поршня даже до того, как она будет обнаружена.

Детонация сопровождается значительным увеличением теплового потока в поршнях и в стенках цилиндра. Это происходит не благодаря увеличению общего количества выделяющейся теплоты, а скорее вследствие разрушения волнами давления защитного пограничного слоя более или менее неподвижного газа у стенок цилиндра. Увеличение передачи теплоты в стенки цилиндра увеличивает опасность появления преждевременных вспышек.

Детонация прежде всего и главным образом зависит от химического состава и молекулярной структуры топлива. Хотя научные

работники всего мира более пятидесяти лет стараются разгадать физические и химические изменения, которые обуславливают склонность топлива к детонации, проблема, по-видимому, все еще далека от разрешения.

На основании анализа проб газа и других наблюдений известно, что процесс сгорания включает в себя ряд чрезвычайно сложных химических реакций, и что в движущемся фронте пламени и непосредственно перед ним образуются все виды продуктов частичного окисления. Большинство из них являются только промежуточными продуктами, т. е., другими словами, они существуют и присутствуют только в определенных температурных интервалах, и наличие их чрезвычайно трудно установить. Вероятно, один или несколько из этих промежуточных продуктов может действовать как интенсификатор, вызывающий взрыв заряда, но никто еще не смог установить природу этих продуктов.

Известно, что некоторые добавки, например, этилнитрат, значительно увеличивают склонность к детонации и до определенной степени объяснимо, что их присутствие поднимает общий уровень температуры самовоспламенения. Известно также, что сернистый углерод при добавлении к бензину снижает склонность к детонации, несмотря на тот факт, что он имеет очень низкую температуру самовоспламенения, так что при его использовании в чистом виде двигатель не может работать без преждевременных вспышек даже при самых низких степенях сжатия; но в этом случае это исключение объясняется тем, что сернистый углерод имеет очень низкий температурный коэффициент. Гораздо труднее объяснить действие окиси азота, высокоэнтальпийского носителя кислорода, которая, по всем правилам, должна значительно усиливать склонность к детонации, но в действительности оказывает прямо противоположное влияние.

Еще не выдвинута вполне удовлетворительная теория для объяснения действия свинца и таллия; оба этих элемента, если их ввести или в мелко раздробленной форме вместе с воздухом, или в форме растворимых органических солей в бензине, эффективно подавляют детонацию, хотя при применении некоторых углеводородных топлив намного сильнее, чем других.

По-видимому, они препятствуют образованию некоторых продуктов частичного окисления или не дают им сразу вступать в реакции, которые в противном случае служили бы побудителями взрыва — вероятно, одного или нескольких неустойчивых пероксидов — но это еще не доказано.

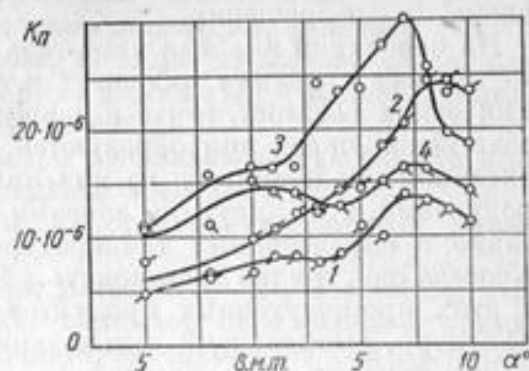
Из анализа газовых проб, взятых непосредственно перед фронтом пламени, в самом пламени и позади него, известно, что присутствие свинца приводит к снижению концентрации пероксидов и альдегидов. Графики на фиг. 14 являются типичным примером одного из многих сотен таких испытаний, выполненных в лаборатории на экспериментальном двигателе Е6 с переменной степенью сжатия. Условия испытаний приведены в табл. 3.

В этом случае пробы отбирались посредством газоотборочного клапана, который при числе оборотов вала двигателя, равном 1500

в минуту, открывался всего лишь на время, соответствующее 3° поворота кривошипа. Пробы отбирались в интервале 5° до в. м. т. —

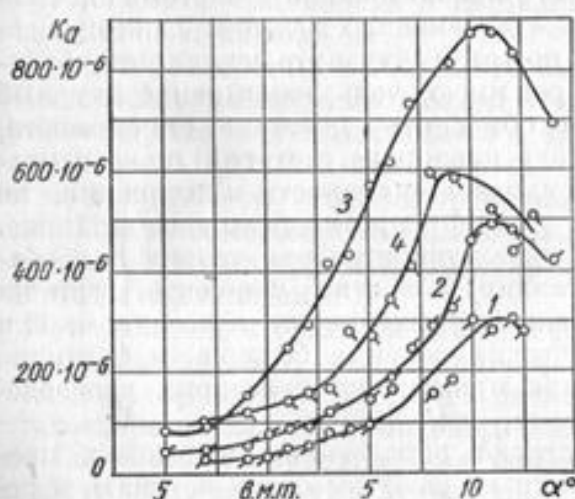
Таблица 3
Степень сжатия и топлива
для кривых на фиг. 14

№ кривой	Степень сжатия ϵ	Топливо
1	7	Октаны
2	8	»
3	9,9	Октаны (наличие детонации)
4	9,9	Октаны с добавкой $0,66 \text{ см}^3$ тетраэтилсвинца на 1 л топлива



Фиг. 14. Изменение предпламенной концентрации K_n пероксидов.

10° после в. м. т. В то же время перемещение фронта пламени записывалось ионизационным устройством. Было установлено,



Фиг. 15. Изменение предпламенной концентрации K_a альдегидов: обозначения те же, что и на фиг. 14.

что фронт пламени достигает газоотборочного клапана примерно при 10° после в. м. т. В качестве топлива применялся высокооктановый бензин, который детонировал при $\epsilon \approx 9,5$. Была взята также серия проб газа при степенях сжатия 7,0 и 8,0 без детонации, а также при $\epsilon \approx 9,9$, когда детонация была очень интенсивной, и когда детонация была полностью ликвидирована добавкой в топливо тетраэтилсвинца.

По результатам испытаний можно отметить, что концентрация перо-

ксидов в пробах смеси, сгорающей в последнюю очередь, достигает максимума во всех случаях приблизительно при 7° после в. м. т., т. е. очень незадолго до прохождения фронта пламени. Концентрация увеличивается, когда степень сжатия повышается от 7 до 8 и еще больше при степени сжатия 9,9, когда наблюдается сильная детонация. Добавка свинца при степени сжатия 9,9 при отсутствии детонации понижает концентрацию от максимальной (30 миллионных долей) приблизительно до 17 миллионных долей.

На фиг. 15 показано изменение концентрации альдегидов (главным образом формальдегида), определенной во время только что описанных испытаний (обозначения диаграмм те же, что и на фиг. 14). Необходимо отметить, что концентрация альдегидов достигает своего максимума несколько позднее по ходу цикла и после прохода фронта пламени. Добавление свинца имеет то же самое влияние на концентрацию альдегидов, что и пероксидов.

Если собрать перекиси и формальдегид и вводить их в цилиндр вместе с воздухом и с бензином, то оказывается, что более устойчивые пероксиды, которые только и можно сохранить, являются усилителями детонации, а формальдегиды — антидетонаторами. Это обстоятельство определенно подтверждает теорию, что свинец является антидетонатором благодаря его способности подавлять образование пероксидов, но такое простое объяснение не является достаточным.

Проблема еще более усложняется тем фактом, что имеют место, по-видимому, два варианта механизма химических превращений, которые вызывают стук. В одном варианте превращений, который наблюдается при использовании большинства топлив высокопарафинистого, нафтенowego и олефинового рядов, стук является следствием двухстадийного «низкотемпературного» окисления, при котором сначала образуется холодное пламя, а потом за ним следует нормальное «горячее» пламя воспламенения. При определенных топливах, как, например, метан и бензин, которые не имеют «низкотемпературных» реакций, стук является следствием окисления, которое не включает в себя образование холодного пламени.

Было установлено, что формальдегид (фиг. 16), который является окислителем «высокотемпературной» области, способствует детонации при наличии метана и бензола в двигателе. Наоборот, в «низкотемпературной» области он имеет антидетонационный эффект и является антидетонатором в двигателе при наличии топлив высокопарафинистого ряда.

Еще более удивительным является действие *n*-метиланилина, добавленного к стандартному бензину и бензолу (фиг. 17).

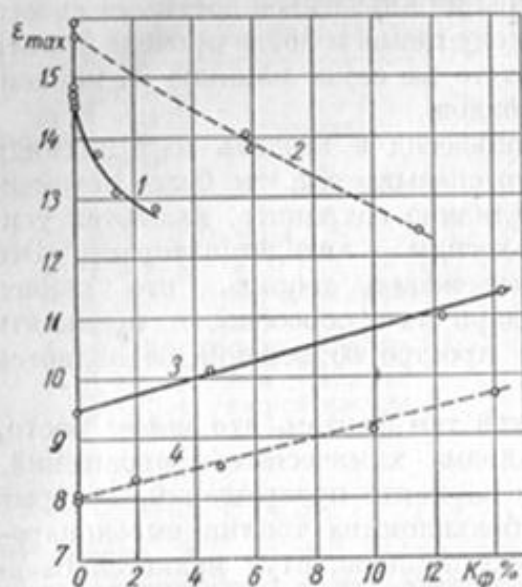
Испытания проводились на двигателе с карбюратором Солекс при следующих условиях:

число оборотов в мин.	1500
температура воздуха на впуске в град.	120
температура охлаждения в град.	90

В результате испытаний установлено, что *n*-метиланилин оказывается антидетонатором в обычном бензине, состоящем в основном из парафинов, и чрезвычайно сильным усилителем детонации в топливе ароматического ряда (бензол); однако объяснение этого явления может заключаться просто в тепловом эффекте.

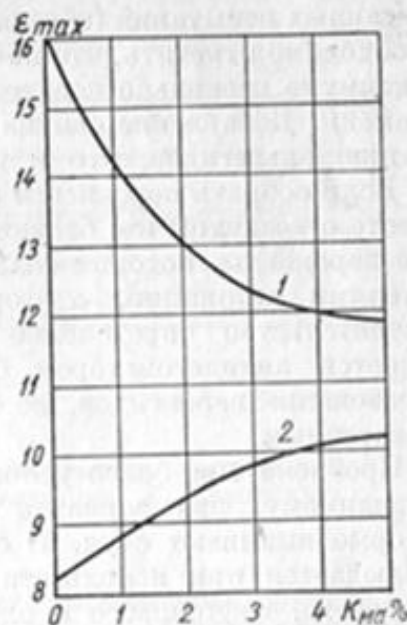
На фиг. 18 показано влияние добавления тетраэтилсвинца в количестве до 4,4 см³/л к ряду топлив, а именно к циклогексану (типичный нафтеновый компонент бензина), к изоктану (чисто парафиновый компонент) и четырем ароматическим топливам от бензола

до «бензольных остатков» (главным образом кселен) при работе двигателя с $n = 1500$ об/мин и температурой воздуха на впуске 120° .



Фиг. 16. Влияние добавки формальдегида (K_ϕ %) на наивысшие допустимые степени сжатия $\epsilon_{\max}$ для различных топлив:

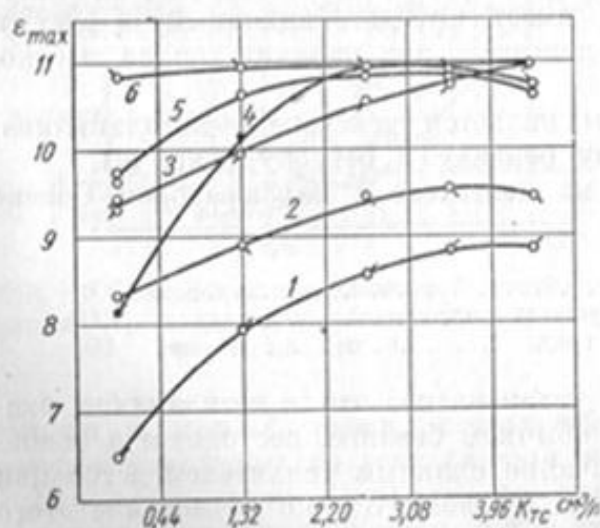
1 — метан; 2 — бензол; 3 — октан; 4 — стандартное топливо № 1 ($K_\phi = \frac{\text{мол}}{\text{мол}} \cdot 100\%$).



Фиг. 17. Влияние добавки *n*-метилалнилина K_{ma} % в топливо на наивысшую допустимую степень сжатия $\epsilon_{\max}$:

1 — бензол; 2 — стандартное № 4.

Можно отметить, что свинец наиболее эффективен при добавлении



Фиг. 18. Влияние добавки тетраэтилсвинца $K_{тс}$ в $\text{см}^3/\text{л}$ на наивысшие допустимые степени сжатия при различных топливах:

1 — циклогексан; 2 — бензольные остатки; 3 — н-гептан; 4 — изоктан; 5 — толуол; 6 — бензол.

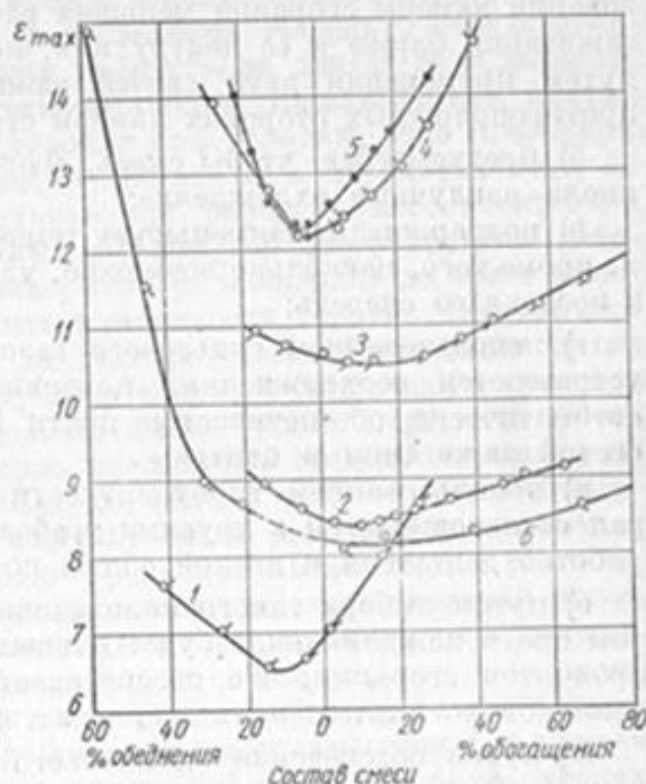
к топливам парафинового ряда (изоктан), немного менее — при добавлении к топливам нафтового ряда (циклогексан), тогда как его влияние при добавлении к четырем ароматическим топливам изменяется почти от нуля на бензоле до «очень заметного» на остальных трех.

Изложенное выше представляет собой несколько примеров, выбранных из многих сотен подобных испытаний, выполненных в лаборатории, и включено в эту главу для того чтобы показать, насколько сложные проб-

лемы стоят перед технологией химического и нефтяного производства.

Из опытов известно, что из нефтяных фракций прямой гонки фракции ароматического ряда намного меньше склонны к детонации, чем парафинового, а нафтовый ряд занимает приблизительно промежуточное место между ними. Определение склонности топлива к детонации производится при испытании двигателей с переменной степенью сжатия, путем отыскания наивысшей степени сжатия, при которой двигатель может работать без детонации; стойкость топлива против детонации оценивается тогда величиной октанового числа, численно равной доли изооктана в смеси с *n*-гептаном, которая детонирует при той же самой степени сжатия, что и образец топлива при испытании; но простые испытания топлива на двигателе не вполне удовлетворительны, так как, хотя большинство топлив будет детонировать на бедной смеси, а не на обогащенной, их отношение к составу смеси при детонации значительно меняется и некоторые топлива снова детонируют, когда смесь чрезмерно обогащена; другие топлива резко чувствительны к температуре и т. д. В результате, для того чтобы оценить образец топлива, требуется испытание двигателя при широком диапазоне изменений условий, что превращает октановое число в сомнительную величину. Особенно это относится к синтетическим бензинам с высокими антидетонационными свойствами.

На фиг. 19 показано влияние состава смеси на наивысшую допустимую степень сжатия при работе двигателя с $n = 1500$ об/мин и температурой воздуха на впуске 120° для нескольких типичных, если не показательных, образцов топлива. Из рассмотрения графиков можно сделать вывод, что склонность к детонации максимальна как для метана (парафины), так и для бензола (ароматик) при стехиометрическом составе смеси; для обоих этих топлив максимум определяется очень четко. При работе на циклогексане (нафтен) детонация максимальна при составе смеси, обедненной прибли-



Фиг. 19. Влияние состава смеси на наивысшие допустимые степени сжатия при различных топливах:

1 — циклогексан; 2 — изооктан; 3 — изооктан с добавкой тетроэтилсвинца $0,88 \text{ см}^3/\text{л}$ топлива; 4 — бензол; 5 — метан; 6 — водород.

тельно на 12%, а на изооктане, со свинцом или без него, при составе смеси, обогащенной в пределах от 10 до 20%, но эти максимумы выражены не особенно резко.

О механизме детонации за многие годы его изучения получено уже достаточно сведений, чтобы иметь возможность уменьшить ее применением соответствующих конструктивных мероприятий, например:

а) уменьшением до минимума длины пути пламени путем использования камеры сгорания меньших размеров и расположения свечи зажигания ближе к ее центру или, когда это невозможно сделать, путем применения двух свечей зажигания, устанавливаемых на противоположных сторонах камеры сгорания;

б) предусмотрев, чтобы смесь, сгорающая в последнюю очередь, имела наилучшее охлаждение;

в) поддерживая наименьшую температуру выпускного клапана и, кроме того, насколько возможно, удаляя его от смеси, сгорающей в последнюю очередь;

г) использованием гильзового газораспределения, при котором устраняются неохлажденные поверхности в головке цилиндра и автоматически обеспечивается почти идеальная форма камеры со свечой зажигания в центре;

д) использованием турбулентности такой интенсивности, которая согласовывается с другими требованиями, например, с мягкой работой двигателя и низкой общей потерей тепла;

е) путем выбора такого положения свечи зажигания, при котором она в каждом цикле будет очищаться от инертных остаточных продуктов сгорания, что обеспечивает, насколько это возможно, одинаковую длительность периода задержки воспламенения;

ж) путем обеспечения одинакового угла опережения зажигания в каждом цикле.

Все эти факторы были полностью изучены более 30 лет назад, и, вероятно, уже достигнут предел уменьшения детонации с помощью изменений конструкции.

Поскольку детонация начинается только в смеси, сгорающей в последнюю очередь, одним из очевидных методов снижения ее является обеспечение того, чтобы этот заряд состоял или из одного воздуха или из топливовоздушной смеси, слишком бедной, чтобы детонировать. Это возможно при значительной степени неравномерности смеси, которая достигается путем впрыска топлива непосредственно в цилиндр. Наиболее известным и наиболее удачным примером этого метода является двигатель типа Гессельман. В этом двигателе, как и в двигателе с воспламенением от сжатия, в цилиндр поступает только воздух и завихривается с помощью специальной ширмы на впускном клапане, или просто направлением во впускном патрубке. Во вращающуюся массу воздуха в конце хода сжатия впрыскивается мелкораспыленное топливо и поджигается от свечи зажигания, расположенной ниже форсунки. Опережение зажигания подбирается такое, чтобы проскакивание искры совпадало с момен-

том встречи ее с первой порцией впрыснутого топлива. Поэтому ниже свечи зажигания находится чистый воздух, тогда как выше ее образуется смесь, когда тонко распыленное жидкое топливо подается в проходящий поток воздуха. В любой данный момент во время сгорания единственно невоспламенившейся и негоревшей смесью является смесь, заключенная в объеме, находящемся между топливной форсункой и свечей зажигания. Ниже этой зоны продукты сгорания отталкивают воздух к периферии камеры сгорания, тогда как выше нее свежий воздух входит в зону полного сгорания; при этом объем смеси, сгорающей в последнюю очередь¹, отсутствует. По способу Гессельмана удалось работать на двигателе с высокой степенью сжатия на очень низкооктановых топливах, как например, керосине и даже легком газойле при условии, если последний был достаточно летучим. Подобно двигателю с воспламенением от сжатия двигатель типа Гессельман мог работать на относительно тяжелом топливе. Хотя таким образом можно устранить детонацию или по крайней мере задержать ее появление до более высоких степеней сжатия и получить возможность хорошо использовать низкооктановые топлива, все же этот результат достигается путем усложнения конструкции и чувствительности двигателя к регулированию. Такой двигатель должен иметь топливоподающий насос и форсунку плюс электрическое зажигание, средство автоматического регулирования подачи воздуха, потому что, в отличие от двигателя с воспламенением от сжатия, он не может регулироваться на всем диапазоне нагрузок одним регулированием подачи топлива, так как существует предел диапазона состава смеси, которая может воспламениться свечей зажигания даже при неравномерном заряде. Поэтому в двигателе объединяется вся сложность как двигателей с воспламенением от сжатия, так и двигателей с искровым воспламенением, но по сравнению с двигателем с воспламенением от сжатия он имеет то преимущество, что может работать при более низких давлениях цикла.

В отношении чувствительности работа двигателя типа Гессельман зависит от момента впрыска топлива и проскакивания искры и от промежутка между началом впрыска и проскакиванием искры. При любом постоянном числе оборотов вала или нагрузке как моменты опережения впрыска и зажигания, так и промежуток между ними можно определить и зафиксировать, однако при изменении нагрузки и чисел оборотов вала они могут изменяться и не всегда в одинаковом отношении один к другому. Если двигатель используется только при постоянном числе оборотов вала, как например, в стационарном исполнении, или при постоянном отношении между крутящим моментом и числом оборотов вала, например, в судовом, то можно построить механизм регулирования, который обеспечил бы хорошее соотношение топлива и воздуха; однако, в применении,

¹ В том понятии, как это имеет место при карбюраторном смесеобразовании. (Прим. ред.).

скажем, к автомобильному двигателю, проблема становится сложной. В практике этот тип двигателя применяется главным образом в судовом и стационарном исполнении¹.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ДЕТОНАЦИЮ

Помимо использования присадок к топливу, как например, тетраэтилсвинца или таллиевой соли олеиновой кислоты и т. д., детонация может быть до некоторой степени предотвращена добавлением охлаждаемых продуктов сгорания или воды.

Действие охлаждаемых и вновь введенных в цилиндр продуктов сгорания состоит в том, что они уменьшают концентрацию кислорода в воздухе и таким образом понижают температуру пламени, но это, конечно, сужает также пределы горючести смеси, особенно в области бедных смесей, в результате выигрыш в к. п. д. при использовании более высокой степени сжатия теряется из-за необходимости использования обогащенной смеси. Тем не менее, если добавляются охлажденные продукты сгорания, и смесь обогащается только при полной или почти полной нагрузке, то получается значительная выгода от более высокой степени сжатия при пониженных нагрузках. Если вместо добавления охлажденных продуктов сгорания просто оставить в камере сжатия часть горячих продуктов сгорания, то тогда влияние добавочного тепла, которое вносится с ними, перекроет и больше чем перекроет их разбавляющий эффект; температура сгорания будет более высокой и склонность к детонации увеличится, а склонность к преждевременному воспламенению увеличится намного больше.

В 1900-х гг. был принят метод впрыска воды в испаритель керосиновых двигателей. Образованный при этом пар служил в качестве эффективного разбавителя, который предотвращал детонацию или, как тогда считали, преждевременную вспышку. Впрыск воды обеспечивался ручным регулированием; в результате чего при малых нагрузках количество впрыскиваемой воды становилось чрезмерным и приводило к неисправностям из-за коррозии.

В 1914—1918 гг. бензин в Великобритании имел октановое число от 45 до 50, и двигатели имели значительную склонность к детонации. Большинство автомобилей снабжалось двигателями с боковыми клапанами и плоской камерой сгорания, перекрывающей весь цилиндр и клапаны. Комбинация очень низкооктанового топлива с формой камеры сгорания, чрезвычайно склонной к детонации, приводила к тому, что такие двигатели работали со степенью сжатия несколько меньшей 4 и, вследствие этого, имели высокий расход топлива.

Испытания, проведенные на двигателе с переменной степенью сжатия конструкции автора, показали в то время ценность добавле-

¹ В настоящее время разработка вопросов регулирования двигателей с непосредственным впрыском значительно продвинулась вперед и эти двигатели начинают шире применяться в автомобилестроении. (Прим. ред.).

ния в качестве антидетонаторов как одной воды, так и смеси воды с метиловым или этиловым спиртами.

Эти испытания позволили сделать следующие выводы.

1) Сухой пар, сам по себе, являлся эффективным антидетонатором, но, как и в случае добавления охлажденных отработавших газов, максимальная мощность при любой данной степени сжатия и пределы горючести смеси уменьшались из-за вытеснения кислорода и разбавления смеси;

2) Вода действовала более эффективно, чем пар, потому, что ее скрытая теплота способствовала уменьшению температуры в конце сжатия и увеличению коэффициента наполнения до величины, которая более чем компенсировала влияние вытеснения кислорода паром; но действие воды сильно зависело от того, когда, где и до какой степени она испарялась. Если полное испарение происходило во впускном патрубке или в цилиндре до закрытия впускного клапана, тогда полная величина ее скрытой теплоты могла быть реализована как в отношении увеличения коэффициента наполнения и, следовательно, эффективной мощности, так и в отношении подавления детонации. Если же испарение происходило во время хода сжатия, то пар еще служил как эффективный антидетонатор, но уже не как фактор увеличения мощности, так как любая жидкость, остающаяся в цилиндре после воспламенения, поглощает тепло, выделяющееся при сгорании и, таким образом, снижает эффективную мощность и к. п. д. без какого-либо компенсирующего преимущества. Обычно некоторое испарение происходит на всех этих стадиях, и задача состоит в том, чтобы закончить испарение как можно раньше с помощью распыливания в комбинации, если необходимо, с некоторым добавочным предварительным подогревом от местного источника тепла во впускном патрубке, на который впрыскивалась водяная струя.

3) Добавление этилового или метилового спирта (метанола) оказалось эффективным потому что:

- а) снижает точку кипения и гарантирует более раннее испарение;
- б) автоматически дает такое увеличение среднего обогащения состава смеси, которое необходимо как для ускорения сгорания, так и для компенсации сужения диапазона горючести смеси в связи с разбавлением ее паром;
- в) метиловый и этиловый спирты предохраняют топливо от замерзания.

Метаноловый пар имеет высокую максимально допустимую степень сжатия и поэтому сам является антидетонатором, но в то же время он склонен к преждевременной вспышке при слишком высокой концентрации.

Этиловый спирт предпочтительнее метилового спирта, так как он менее склонен к преждевременной вспышке, но по причине своей более высокой точки кипения дает меньший выигрыш в увеличении мощности.

В результате этих наблюдений был сконструирован карбюратор с двумя поплавковыми камерами, одна камера для бензина, другая

для одной воды, или для смеси воды с этиловым или метиловым спиртом. Бензиновая часть карбюратора была обычной, а водяная часть имела один распылитель, подающий воду в диффузор; подача воды регулировалась диафрагмой, которая подвергалась воздействию давления во впускном патрубке. Если давление во впускном патрубке было ниже определенного предела, то водяная форсунка оставалась закрытой и двигатель работал на одном бензине; при полном открытии дроссельной заслонки, или когда разрежение на всасывании падало ниже некоторого предопределенного минимума, водяная форсунка открывалась движением диафрагмы. Поэтому регулирование подачи воды было полностью автоматизировано и начинало действовать только при большой перегрузке двигателя.

После предварительных дорожных испытаний, проведенных в 1920—1921 гг., в результате которых было найдено, что степень сжатия может быть увеличена приблизительно на единицу, т. е. с 4 до 5, большое количество автобусов, курсировавших в Центральной и Южной Англии, было оборудовано такими двойными карбюраторами и находилось в эксплуатации. При использовании одной лишь воды по сравнению с обычной эксплуатацией была получена экономия топлива 10%. При использовании спиртовой смеси экономия бензина увеличилась до 15%, т. е. больше той, которая необходима для возмещения стоимости спирта. Поэтому коммерческое преимущество применения спиртовой смеси перед использованием одной воды свелось к незначительному увеличению максимальной мощности и к предохранению от замерзания. После эксплуатации большого количества автобусов в течение 18 месяцев использование двойных карбюраторов было прекращено потому, что введение так называемой турбулентной головки для двигателей с боковыми клапанами совместно с небольшим увеличением октанового числа топлива дало возможность работать со степенью сжатия 5,0 без добавления воды; а небольшой выигрыш, ожидаемый от использования воды при более высоких степенях сжатия, не мог бы компенсировать неудобства, вызываемые использованием двух видов топлива, даже в хорошо организованном автобусном парке.

Кроме того, во время работы возникало большое число затруднений, главными из которых были:

а) количество воды или смеси вода—спирт, используемой в течение любого данного рейса широко изменялось. Хотя регулирование было целиком автоматическое, все же многое зависело от способа управления и было установлено, что один водитель использует антидетонационной добавки вдвое больше другого на той же самой дороге; отсюда емкость бензинового бака должна была быть достаточной для того, чтобы обеспечить бесперебойную работу автобуса при наихудших условиях;

б) были обнаружены значительные неисправности от коррозии особенно, когда добавлялся спирт.

Заклучение, которое вытекает из этого эксперимента, проведенного в широких масштабах и растянувшегося на несколько месяцев, состоит в том, что использование воды или второго топлива

в качестве средства подавления детонации в двигателе без наддува было невыгодным, если только октановое число имевшегося бензина не было намного ниже 50, так как общая экономия топлива была недостаточна, чтобы компенсировать добавочные эксплуатационные неудобства и неудобства от необходимости снабжения и перевозки двух видов топлива.

В двигателе с наддувом положение совершенно меняется, и использование воды или водо-метаноловых смесей становится общепринятым в практике авиационных двигателей и двигателей для гоночных автомобилей; но в последнем случае, где ни стоимость топлива, ни вес его не принимаются в расчет, могут получиться даже лучшие результаты при применении топлива, в котором вода может находиться в растворе, т. е. при применении спиртового топлива, или при использовании обоюдного растворителя, как например, ацетона. Если вода находится в растворе в топливе, то ее скрытая теплота парообразования может быть намного лучше использована для предотвращения детонации.

ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЕ

На раннем этапе развития бензиновых двигателей явление, называемое в настоящее время детонацией, относилось к преждевременному воспламенению, т. е. к воспламенению от некоторого участка горячей поверхности, происходящему раньше, чем воспламенение от искры; это мнение, несмотря на все увеличивающееся число доказательств обратного, господствовало почти до первой мировой войны. Насколько автор помнит, профессор Бертрам Гопкинсон первым в 1906 г. отметил, что эти два явления не только совершенно различны, но и не имеют прямого отношения друг к другу, однако его мнение в течение нескольких лет оставалось без внимания. Преждевременное воспламенение, как отмечал Гопкинсон, само по себе не сопровождается стуками высокого тона, а, если что-нибудь и слышно вообще, так это глухой стук. Так как преждевременное воспламенение часто является результатом действия устойчивой детонации, звонкий стук высокого тона от детонации совершенно ошибочно относился к преждевременному воспламенению.

Процесс сгорания, поскольку это касается второй фазы, по-видимому, является одинаковым как в случае, когда он вызван горячим участком или поверхностью, так и в случае, когда он вызван искрой высокого напряжения. Если процесс сгорания в обоих случаях происходит в цикле в одно время, то совершенно невозможно отличить причину воспламенения ни по индикаторной диаграмме, ни при помощи ионизационных индикаторов, то есть для любой данной степени турбулентности скорость повышения давления и движения фронта пламени, по-видимому, являются совершенно одинаковыми. Ответ на вопрос, является ли время, необходимое для образования первоначального очага пламени, также одинаковым, оказывается, конечно неопределенным, так как при отсутствии искры нет ника-