

В. Г. Александров

Основные вопросы развития быстроходных двигателей внутреннего сгорания

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
В11

В11 **В. Г. Александров**
Основные вопросы развития быстроходных двигателей внутреннего сгорания / В. Г. Александров – М.: Книга по Требованию, 2021. – 260 с.

ISBN 978-5-458-38238-0

Основные вопросы развития быстроходных двигателей внутреннего сгорания

ISBN 978-5-458-38238-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Характеристики, современное положение и будущие возможности применения нефтяных двигателей на самолетах. Г. Рикардо	105
Проблема пожарной безопасности	—
Вес	106
Проблема вырскивания	109
Направляемое вырскивание	110
Камера предварительного воспламенения (форкамера)	111
Способ кругового вихря	112
Современные пределы мощности быстроходных дизель-моторов. П. Швейтцер	117
Среднее эффективное давление	118
Число оборотов	119
Замедление воспламенения (скрытый период сгорания)	120
Заключение	121
Дизель-моторы для авиации. А. Вульсон	122
Сравнение бензинового мотора и дизеля	—
Быстроходные и тихоходные двигатели	123
Преимущества авиационного двигателя	128
Устранение пожарной опасности	129
Экономия в расходе топлива	—
Охлаждение и другие особенности дизеля	131
Отдача мощности	132
Работа мотора и радиопередача	133
Влияние на конструкцию самолета	—
Влияние зажигания от компрессии на безопасность	134
Сравнение надежности двигателей	—
Надежность деталей мотора	135
Выводы	136
Будущее звездообразных дизелей с воздушным охлаждением	—
Совместная работа нефтяного насоса и форсунки в бескомпрессорных дизелях. П. Лоранж	138
Характер протекания кривой давлений	142
Пригодность двухтактного процесса для быстроходных двигателей. Холм Отто	144
Четырехтактные моторы	149
Двухтактные моторы	154
Сравнение результатов расчета для процесса двух- и четырехтактных мо- торов	159
Заключение	162
О расчете кривошипного механизма авиационных двигателей. О. Штейген- бергер	163
Зависимость между индикаторной диаграммой, диаграммой крутящего момента двигателей внутреннего сгорания и крутильными колебаниями валов. Новый ме- тод гармонического анализа. А. Шредер	181
Силы инерции кривошипного механизма	183
Тангенциальные силы от действия газов	196
Аналитическое определение постоянных Фурье	204
Особые уравнения кривой тангенциального усилия от давления газа для многоцилиндровых двигателей	213
Влияние компрессоров и продувочных насосов	216
Заключение	217
Новые данные о вибрации коленчатого вала. А. Штиглиц	218
К расчету скользящих подшипников. Э. Вельнер	228
Влияния, учитываемые при расчете шеек	230
Графическое изображение размеров шейки	234
Границы допустимого давления P_v	236
Испытательные установки для исследования работы авиамоторов. В. Ясон	239
Влияние центробежного нагнетания на испарение топлива. С. Тейлор	249
Метод исследования	—
Аппаратура	250
Результаты	256
Вероятная точность измерений	258
Заключение	259

Конструкции головок цилиндра¹

Гарри Рикардо

Около десяти лет назад, в результате тщательной экспериментальной работы автор сконструировал и запатентовал головку цилиндра для моторов с боковым расположением клапанов, известную под названием «турбулентная головка», которая теперь широко применяется.

Главной целью этой головки является:

а) Создать добавочное завихрение в течение хода сжатия для того, чтобы:

- 1) увеличить скорость сгорания,
- 2) снять слой несгоревшего газа, прилипший к холодным поверхностям камеры сгорания,
- 3) уменьшить стремление к детонации поддержанием несгоревших газов в быстром движении, допуская таким образом возможность более легкого освобождения тепла сжатия проходящим фронтом пламени.

б) Уменьшить длину пути пламени от свечи до самой дальней точки камеры сгорания, что достигалось устройством небольшого зазора между днищем поршня и головкой цилиндра² (фиг. 1). Газ, заключенный между этими двумя поверхностями, настолько здесь охлаждался, что эта часть камеры сгорания становилась недействительной в отношении детонации.

в) Сделать путь пламени как можно короче расположением свечей в центре камеры,

г) Уменьшить до минимума отношение поверхности камеры сгорания к объему ее и следовательно потери тепла в процессе сгорания.

Таким способом была найдена возможность получить от мотора с боковым расположением клапанов мощность и экономичность настолько хорошими, какие ранее удавалось получить от моторов с подвесными клапанами (расположенными наверху) при равных размерах цилиндра (к тому же здесь добавлялись преимущества в виде уменьшения склонности к детонации и «чувствительности» к преждевременным вспышкам).

В течение последних лет автором и другими производились исследования влияния завихренности (турбуленции) на детонацию. Все эти вопросы были достаточно освещены и исследованы, в частности замечательна теория проф. Календера (Callendar) о явлении детонации.



Фиг. 1.

¹ Журнал «The Automobile Engineer», июль и август 1929.

² Так как в русском языке нет соответствующего термина для обозначения этого зазора (по-английски — clearance space), то в дальнейшем мы будем называть его «зазор в головке». Прим. перев.

Турбуленция (завихрение)

Процессы сгорания в цилиндре мотора в основном повидимому протекают в следующих направлениях. Отдельные, чрезвычайно высокой температуры искры проскакивают через электроды, оставляя позади себя тонкий шнур пламени. От этого тонкого шнура сгорание распространяется до оболочки смеси, мгновенно окружая ее со скоростью, которая зависит, во-первых, от температуры самого пламени и, во-вторых, от температуры и плотности окружающей среды. Таким образом имеется постепенное возрастание ядра пламени. Если содержимое цилиндра будет в покое, как при сгорании в бомбе, то процесс будет развиваться сравнительно медленно, но с возрастанием скорости, до тех пор пока пламя не распространится через всю массу горючего. Если в какой-либо период скорость распространения превзойдет предельное значение, зависящее от природы топлива и температуры еще не сгоревшей смеси, то установится детонационная волна.

Так как в цилиндре мотора смесь находится в состоянии быстрого завихрения, то распространение ядра пламени и весь процесс сгорания чрезвычайно будет ускоряться. Процесс сгорания можно рассматривать протекающим как бы в двух совершенно различных направлениях:

- 1) рост и самораспространение ядра пламени и
- 2) распределение этого пламени во все места камеры сгорания.

Первый есть химический процесс, зависящий от природы топлива, от температуры и давления и от того, что Тизард (Tizard) называет температурным коэффициентом топлива, т. е. отношением температуры пламени к скорости его распространения.

Второе состояние—чисто механическое и понятное.

Это конечно не означает, что оба эти состояния совершенно различные; до некоторой степени они влияют друг на друга, например более высокая температура пламени будет вызывать более быстрое распространение сгорания при данной скорости завихрения.

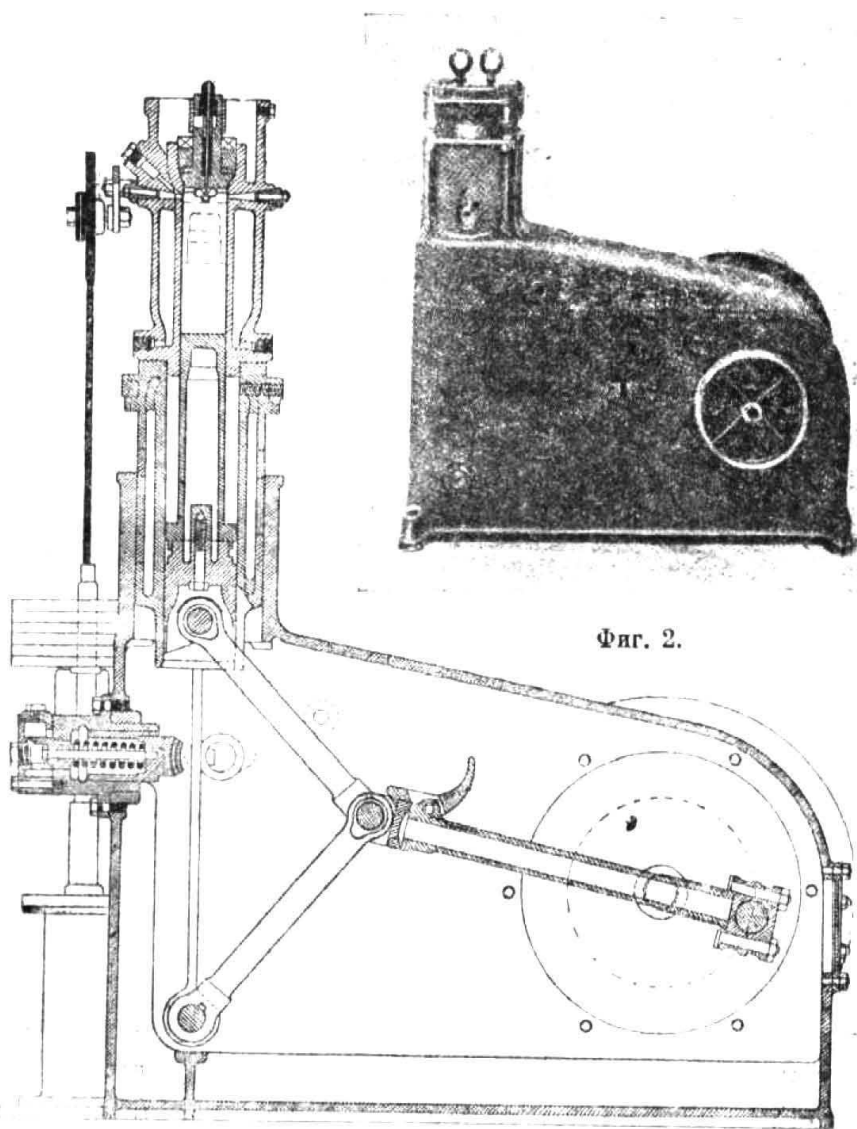
Детонация

Явление детонации было предметом обширного исследования многих ученых, но за исключением теории проф. Календера об образовании пероксидов немного имеется надежных теорий по этому вопросу. Собственно говоря, явление детонации должно составлять проблему для физиков и химиков. Инженеру же и конструктору явление детонации нужно знать лишь как фактор, определяющий выбор степени сжатия, предел отдачи мощности и к.п.д., которые он может получить от мотора. Надо полагать, и это кажется совершенно очевидным, что детонация появляется в самом конце пути пламени благодаря сжатию небольшой порции несгоревшего заряда подходящим пламенем.

Детонация зависит от следующих причин:

1. Скорости проходящего пламени, которая быстро увеличивается по мере удаления его от точки воспламенения, т. е. зависит от длины пути пламени.
2. Температуры поверхностей, окружающих оставшийся несгоревший заряд.
3. Степени завихрения; на первый взгляд кажется, что последнее

должно иметь малое влияние, поскольку завихрение, увеличивая скорость проходящего пламени, почти в равной степени увеличивает отдачу тепла несгоревшего заряда благодаря теплопроводности, лучеиспусканию и т. д. Однако опыт показывает, что завихрение, наоборот, сильно влияет на уменьшение детонации. Завихрение разрывает фронт пламени, перемешивает его с остаточным несгоревшим зарядом и уменьшает время потерь на лучеиспускание.



Фиг. 2.

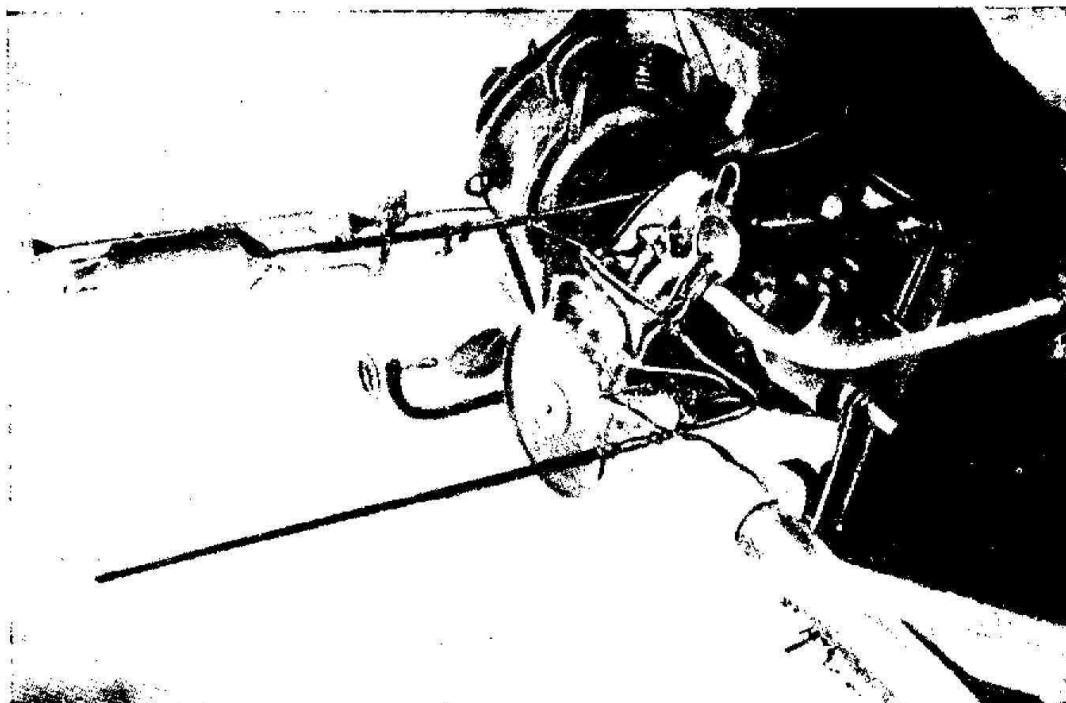
Фиг. 3.

4. Площади и температуры самой горячей части поверхности внутри камеры сгорания, например головки выхлопных клапанов, которые, будучи сильно нагретыми, вызывают местные воспламенения в течение ходов всасывания и сжатия, повышая температуру цикла.

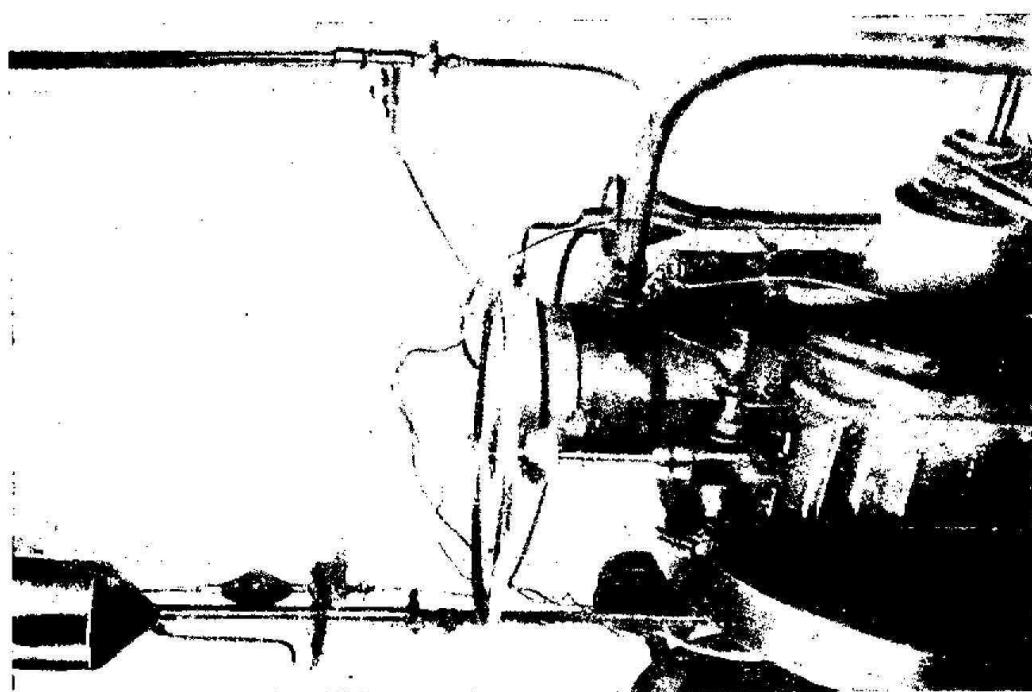
В течение последних нескольких лет автор со своими сотрудниками провел ряд испытаний в отношении влияния завихрения на детонацию. Для исследования была применена специально сконструированная аппаратура, именно:

1. Специальный (делающий только один ход сжатия) мотор, в ко-

тором поршень, быстро сделав один ход сжатия, останавливался и заливался в верхней мертвой точке. Заряд в камере сгорания мог быть подожжен или обычным способом—искрой, или посредством сжатия.



Фиг. 5.



Фиг. 4.

Внутри камеры сгорания был установлен маленький вентилятор для получения желаемой степени завихрения (фиг. 2 и 3).

2. Специальный исследовательский мотор (фиг. 4 и 5), снабженный очень чувствительными приборами для измерения давления во время сгорания при любом угле поворота кривошипа. В цилиндре мотора имел-

ся целый ряд кварцевых контрольных окон для наблюдения стробоскопом за быстротой распространения пламени от свечи до наиболее удаленной точки камеры сгорания. Этот мотор имел сменные головки. Более 60 различных форм головок были испытаны и исследованы в отношении отдачи мощности, к. п. д., скорости возрастания давления, скорости прохождения пламени и прочих факторов, при различном расположении свечей.

3. Мотор с переменной степенью сжатия, в котором производились различные комбинации расположения клапанов и свечей.

4. Золотниковый мотор, в котором завихрение контролировалось непосредственно и посредством направляющих флюгеров, установленных снаружи впускных отверстий, и прибора в виде анемометра, установленного внутри камеры сгорания.

5. Значительное количество исследовательских моторов, построенных первоначально для других исследований, но использованных впоследствии для вышеуказанных опытов.

Эти исследования отнимают много времени и чрезвычайно утомительны. Особое внимание должно быть обращено на то, чтобы все условия опыта были вполне одинаковы в отношении состава смеси, температуры воды, воздуха, масла и др. Кроме того для получения желаемых результатов экспериментальная аппаратура должна быть соответственно сконструирована.

Данные, извлеченные из этих экспериментов, подтверждают правильность сделанных автором выводов.

Недавно произведенные дополнительные опыты показывают:

1. Что скорость сгорания зависит от степени завихрения и может быть выражена скоростью возрастания давления за 1° поворота кривошипа. Для более точного определения скорости возрастания давления при сгорании был установлен электрический индикатор Фарнборо. Диаграммы были получены для углов поворота кривошипа около 75° в обе стороны от верхней мертвой точки. Типичная диаграмма, полученная таким образом, показана на фиг. 6.

2. Что до некоторой степени скорость сгорания зависит от степени сжатия. Наибольшей степени сжатия соответствует более быстрое сгорание и потому потребуется меньшее завихрение. Диаграмма фиг. 7 получена на моторе с переменной степенью сжатия—4,5 и 6—при одинаковой степени завихрения в каждом случае.

3. Что при данной степени сжатия наилучшая отдача мощности и к. п. д. (при полной нагрузке) получается тогда, когда скорость возрастания давления приблизительно равна $2,1 \text{ кг/см}^2$ на 1° поворота кривошипа. При малых нагрузках желательна несколько большая степень завихрения.

Фиг. 8 показывает наблюдаемое соотношение между мощностью и скоростью возрастания давления. Из фигуры видно, что в районе от $1,75$ до $2,65 \text{ кг/см}^2$ на 1° поворота кривошипа кривая ложится плавно. Ниже $1,75 \text{ кг/см}^2$ падение объясняется замедлением и неполным сгоранием, что в практике является весьма серьезным явлением, так как замедленное сгорание дает нагарообразование, делает мотор «чувствительным» к преждевременным вспышкам и дает выхлопы в карбюратор при обедненной смеси. Выше $2,65 \text{ кг/см}^2$ тепло теряется вследствие интенсивной теплоотдачи лучеиспусканием, что уменьшает выигрыш от

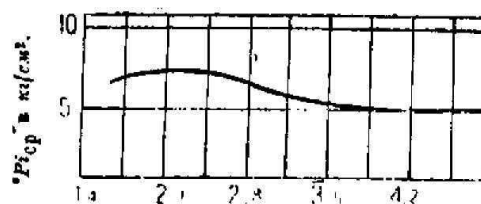
более быстрого сгорания. Кроме того при этих высоких скоростях возрастания давления коленчатый вал подвергается действию внезапных и резких усилий, вызывающих удары поршня, шум и жесткую работу мотора.

4. Что в так называемой «турбулентной» головке скорость завихрения определяется первоначальной скоростью смеси во впускных клапанах и диффузоре. Во время опытов каждый из упомянутых факторов изменялся и в отдельности оценивалось его значение.

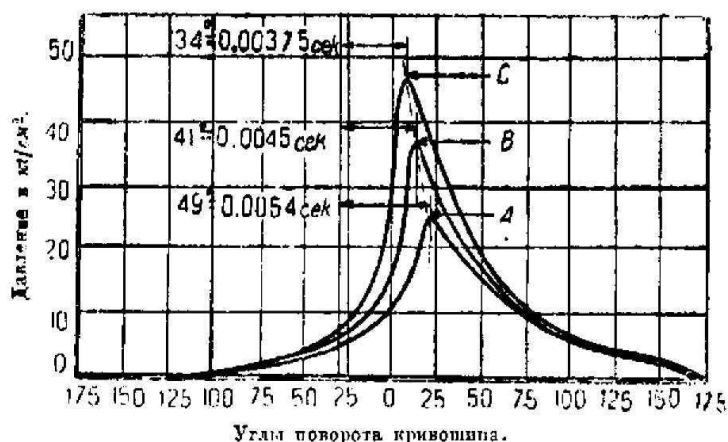


Фиг. 6. Максимальное давление — $32,7 \text{ кг/см}^2$; углы поворота кривошипа в градусах; скорость поднятия давления $2,42 \text{ кг/см}^2$ на 1° поворота кривошипа. Опережение зажигания $16,5^\circ$.

5. Что скорость смеси в выпускном клапане и в диффузоре влияли на степень завихрения почти одинаковым образом, хотя это нежелательно, так как неправильно усиливалось влияние одних факторов за счет дру-



Фиг. 8. Скорость возрастания давления в кг/см^2 на 1° поворота кривошипа.



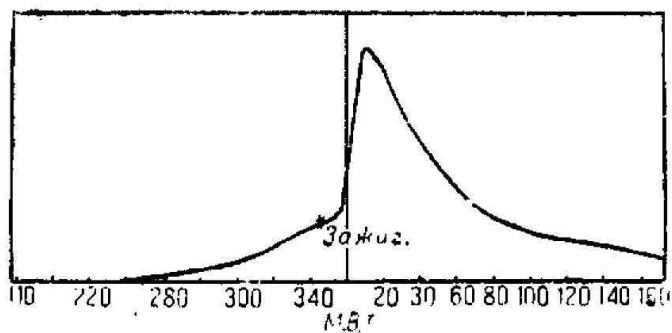
Фиг. 7. Углы поворота кривошипа в градусах.

А) $E = 4,0 : 1$, $P_{i,ср} = 8,4 \text{ кг/см}^2$; В) $E = 5,0 : 1$, $P_{i,ср} = 9,55 \text{ кг/см}^2$; С) $E = 6,0 : 1$, $P_{i,ср} = 10,9 \text{ кг/см}^2$.

гих. Имея в виду коэффициент наполнения, нет смысла устраивать очень маленький впускной клапан и большой диффузор, рассчитывая на увеличение завихрения от скорости; с другой стороны, не дает выигрыша и устройство очень большого впускного клапана, в предположении, что завихрение будет происходить благодаря малому диффузору. Ясно, что здесь требуется разумное сочетание обоих этих условий.

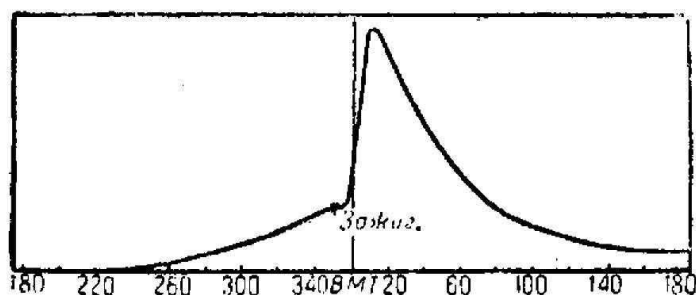
6. Что завихрение увеличивается пропорционально увеличению оборотов мотора, так что соотношение между скоростью возрастания давления и углом поворота кривошипа в основном останется постоянным

для всех оборотов мотора. Таким образом комбинацией размеров клапана и камеры сгорания мы сможем получить скорость возрастания давления до $2,1 \text{ кг/см}^2$ на 1° при полном дросселе и при любых нагрузках. Пример, иллюстрирующий это положение, приведен на диаграммах (фигуры 9, 10 и 11), снятых с автобусного мотора.



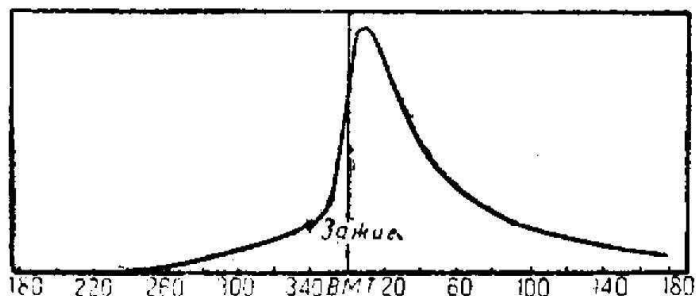
Градусы поворота кривошипа.

Фиг. 9.



Градусы поворота кривошипа.

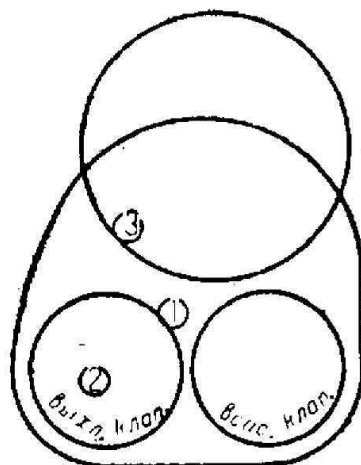
Фиг. 10.



Градусы поворота кривошипа.

Фиг. 11.

7. Что во всех случаях расположение свечи для более эффективной работы должно быть не в самом центре, но слегка отнесено по направлению к головке выпускного клапана, так как близлежащая зона наиболее горячая и путь пламени должен быть более коротким.



Фиг. 12. Расположение свечи в рикардовской турбулентной головке.

Результаты экспериментов, произведенных над «турбулентной» головкой в отношении влияния различного расположения свечей (фиг. 12) приведены в табл. 1 (см. табл. 1 на стр. 14).

Из таблицы видно, что положение свечи № 1 дает наилучшие результаты в смысле мощности к. п. д. и склонности к детонации.

Положение № 2—свеча расположена около выпускного клапана, в самой горячей части, стремление к детонации здесь было больше, чем в положении № 1. Причина этого явления лежит в большей длине пути пламени в положении № 2.

Таблица 1

Положение свечей	Работа при полном открытии дросселя, приведенная к $R = 5$		Опережение, зажигание в градусах	ПКСР на бензине № 1 (° Шелл (наивыгоднейшая допустимая степень сжатия))
	Средн. эффект, давления в $\text{кг}/\text{см}^2$	Расход в кг на 1 э. л. с. ч.		
1	8,35	0,250	17,6	5,87
2	7,35	0,260	19,8	5,65
3	7,76	0,260	23	5,3

8. Фиг. 13 показывает наблюдаемое соотношение между наивыгоднейшей допустимой степенью сжатия и «зазором в головке».

Наблюдения через кварцевые окна показывают, что в так называемой недействующей части камеры сгорания, т. е. в «зазоре» (clearance space), появляется детонация, когда этот зазор делается больше некоторого значения.

9. Что влияние завихрения на детонацию хотя и значительно, но не чрезмерное. В моторе трудно изменять степень завихрения без изменения других факторов, оказывающих влияние на детонацию.

В настоящих опытах сжатие изменялось в довольно широких пределах, пока скорость вентилятора и завихрения поддавалась контролю. Было установлено, что по мере увеличения оборотов вентилятора можно было постепенно увеличивать степень сжатия при тех же топливе, составе смеси и температуре.

Серия опытов на моторе (фиг. 3), в котором изменялась только площадь открытия дросселя, показала, что, как только эта площадь уменьшалась, завихрение и давление вследствие этого увеличивались.

В табл. 2 приведены результаты целой серии опытов над многочисленными головками, установленными на одном и том же цилиндре, но при разном положении дросселя.

Таблица 2

Степень турбулентности (выраженная в скорости возрастания давления в $\text{кг}/\text{см}^2$ на 1° поворота привода)	ПКСР (наивыгоднейшая допустимая степень сжатия) на бензине № Шелл
1,75	5,35
2,08	5,55
2,46	5,80
2,80	6,10
3,14	6,55
3,51	6,85
3,86	7,05
4,20	7,15

Таблица 3

Головка	Зазор между днищем поршня (clearance space) и головкой цилиндра «зазор в головке»	ПКСР на бензине № Шелл
A	0,56 мм	6,9
B	2,16 »	6,8
C	3,74 »	5,67
D	5,35 »	5,48
E	7,0 »	5,37

Вышеуказанные опыты строго сравнимы во всех отношениях. Из этой таблицы видно, что завихрение усиливалось, поскольку увеличива-