

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ЗАЖИГАНИЯ

А. Ф. КАЛГАНОВ, Е. Н. НЕВСТРУЕВ, В. П. ЩЕРБИНИН

Введение

Со времени появления двигателей внутреннего сгорания в качестве источника воспламенения рабочей смеси используется электрическая искра. Из многих способов получения и подачи искры в цилиндры в настоящее время получили наибольшее распространение две системы зажигания: батарейная и от магнето высокого напряжения. Обе системы являются электромеханическими системами и различаются только способами питания первичным током низкого напряжения. Это различие проявляется в характеристиках систем зажигания, выражающих зависимость высокого напряжения на выходе системы от числа оборотов двигателя (рис. 1).

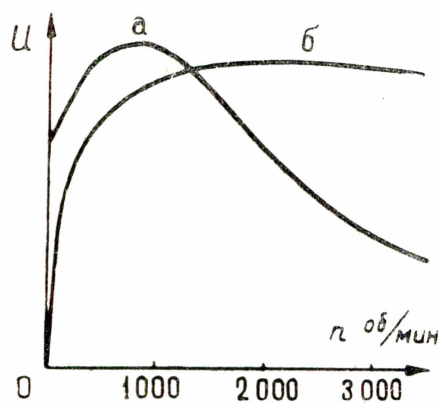


Рис. 1. Рабочие характеристики современных систем зажигания: а) батарейной, б) магнетной.

Как показывают характеристики, высокое напряжение не остается постоянным с изменением числа оборотов двигателя. В случае батарейного зажигания с увеличением оборотов двигателя высокое напряжение уменьшается (кривая а), что является серьезным препятствием применению батарейного зажигания на многоцилиндровых и высокооборотных двигателях внутреннего сгорания. При работе с магнето высокое напряжение резко снижается при малых оборотах (кривая б), и это сильно ухудшает пусковые возможности двигателя. Так как диапазон скоростей лежит в пределах от пусковых до 9—11 тысяч оборотов в мин. [1], то оказывается, что ни одна из этих систем не является вполне удовлетворительной для такого диапазона.

Существующим системам зажигания свойственен также другой особо важный недостаток. Время фронта импульса высокого напряжения, получаемого с помощью катушки зажигания, относительно велико, составляет $10^{-5} \div 10^{-4}$ сек. В этих условиях и при наличии большой шунтирующей проводимости свечи, образующейся в результате нагара и других аналогичных причин, возникает большой ток утечки. Часть энергии импульса, во время его нарастания, рассеивается в шунтирующую

щем сопротивлении. При некотором значении сопротивления расход энергии настолько велик, что пробивное напряжение не достигается. Происходит пропуск искр или даже полное их прекращение [1, 9].

Отложение нагара на свечах неизбежно. Это может происходить по причине временного снижения температуры изоляторов, чему в значительной мере способствует характер протекания сгорания на некоторых режимах работы двигателя. При повышении температуры изолятора нагар, как правило, исчезает и сопротивление восстанавливается. Но для этого необходимо, чтобы при временном падении сопротивления изоляции искрообразование не прекращалось.

У систем зажигания с индукционной катушкой при сопротивлении изоляции ниже 200.000 ом пробой искрового промежутка свечи прекращается, сгорания в цилиндре нет и на остывающей свече отложение нагара растет. В этих условиях «самоочищения» свечи не наступает. В цилиндре с такой свечей сгорания нет, что ведет к значительному перерасходу топлива и может повлиять на работу свечей других цилиндров [9]. Имеются сообщения, что более 50% выхода из строя свечей происходит по причине появления отложений и нагара [9, 10].

Считают, что при работе катушки зажигания на воспламенение рабочей смеси идет ничтожная доля всей потенциальной энергии, запасенной полем катушки [1, 3]. Эта часть энергии, так называемая «емкостная», определяется величиной распределенной емкости вторичной цепи катушки. Емкостная искра обладает малой энергией, но большой мгновенной мощностью, достаточной для поджигания. Остальная часть потенциальной энергии, которую принято называть «индукционной частью» разряда, выделяется в последующее время в виде дуги. Дуга, обладая большой энергией, способствует сильному разогреванию электродов свечи, что, наряду с другими факторами, может вызывать преждевременное воспламенение смеси (калильное зажигание). Это явление ограничивает возможность повышения степени сжатия, а следовательно, и возможность повышения экономичности двигателя.

Отмеченные выше и ряд других недостатков делают существующие системы зажигания недостаточно надежными. Это заставляет искать новые, более надежные способы зажигания. В основном усилия исследователей направлены на повышение эффективности существующих систем. Сюда относятся, например, разработка системы зажигания на полупроводниках, создание новых свечей зажигания и т. д. [11, 12, 13]. Зачастую некоторые улучшения приводят к еще большему усложнению и повышению стоимости электрооборудования двигателя и не устраняют принципиальных недостатков существующих систем зажигания.

В последние годы появились сообщения о применении электростатических генераторов в качестве источников высокого напряжения для воспламенения смеси в цилиндрах ДВС. Как следует из немногих сообщений [4, 5, 6, 8], система электростатического зажигания оказалась весьма эффективной. Поскольку подробные сообщения об этом, в частности, в отечественной литературе, отсутствуют, нами разработана конструкция электростатического генератора зажигания (ЭСГЗ) с транспортерами-проводниками.

Схема работы генератора

Схема действия электростатического генератора зажигания состоит в следующем [7]. Внутри объема, образованного четырьмя металлическими индукторами, имеющими форму сегментов пустотелого цилиндра, вращаются две металлических пластины ротора, электрически соединенные между собой и расположенные диаметрально противоположно на изолированном теле ротора (рис. 2). Каждая пара диаметрально распо-

ложенных индукторов присоединена к соответствующему полюсу источника возбуждения Γ . Вместе с пластинами ротора вращается соединенный с ними металлический палец 5, который в течение одного оборота, каждый раз в момент наибольшей емкости между одной из пар индукторов и роторными пластинами, проходит в непосредственной близости от одного из электродов 1—4, соединенных со свечами зажигания 1'—4'. В этот момент проскакивает электрическая искра к электроду и соответствующей свече зажигания.

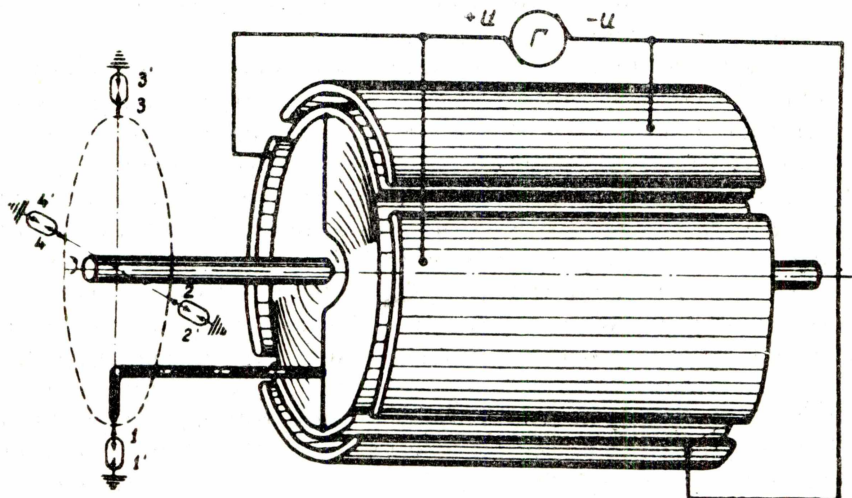


Рис. 2. Принципиальная схема устройства генератора ЭСГЗ.

Процесс возникновения искры иллюстрируется рис. 3, на котором представлена линейная развертка процесса в двух позициях зажигания и одной промежуточной позиции [8].

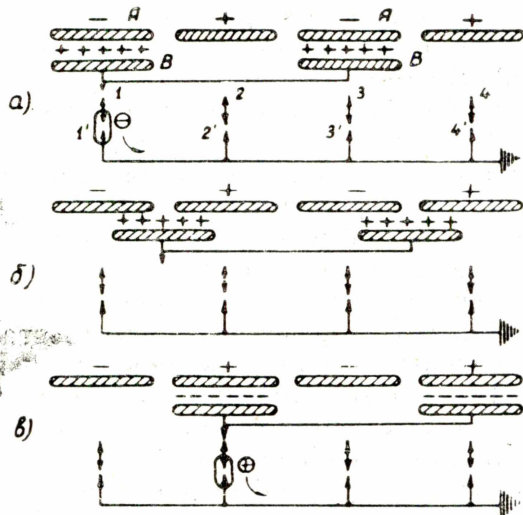


Рис. 3. Линейная развертка процесса работы генератора.

На рис. 3, а соединенные между собой роторные пластины B расположены под отрицательными индукторами A , а палец 5 находится против электрода 1. В этот момент возбужденный индукторами на пластинах ротора отрицательный заряд отводится через искровые промежутки 1—1'. Затем роторные пластины, на которых остался положительный заряд, продвигаются дальше, причем потенциал их возрастает (рис. 3, б). В момент, показанный на рис. 3, в) роторные пластины имеют наименьшую емкость относительно отрицательных индукторов и, следовательно, максимальный

потенциал; одновременно палец 5 проходит мимо следующей системы искровых промежутков 2—2'. Положительно заряженные пластины ротора разряжаются и становятся уже отрицательными, поскольку в этот момент они находятся под положительными индукторами. В дальнейшем процесс повторяется.

Индукторы поддерживаются под соответствующими потенциалами с помощью вспомогательного генератора возбуждения, составляющего

одно целое с генератором зажигания. При этом индукторы образуют статорную систему генератора возбуждения. Возбуждение осуществляется с помощью четырех дополнительных пластин ротора, соединенных попарно и расположенных в промежутках между основными (рабочими) пластинами ротора. Длина всех пластин ротора одинакова, тогда как ширина дополнительных пластин составляет менее половины ширины основных пластин ротора.

Полная схема конструкции и электрических соединений генератора зажигания представлена на рис. 4, а. Как видно, дополнительные пла-

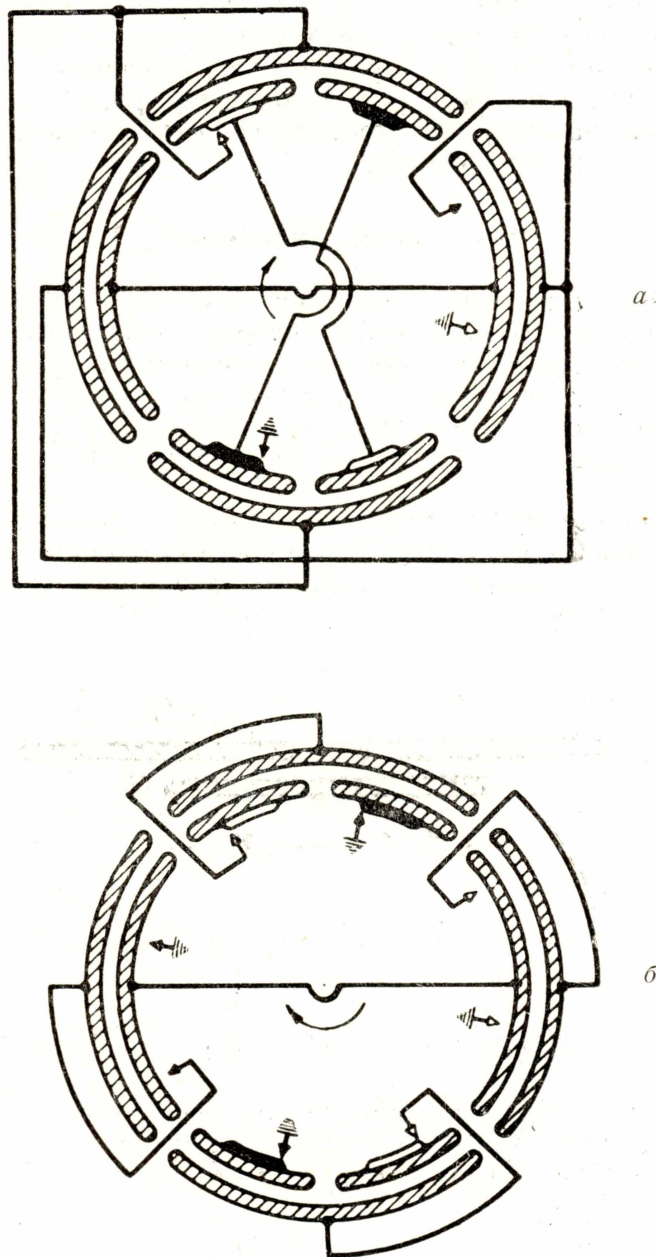


Рис. 4. Схема коммутации и электрических соединений пластин генератора.

стины ротора и индукторы образуют обычный электростатический генератор с транспортерами-проводниками цилиндрического типа, работаю-

ший с самовозбуждением. Расположение щеток и коллекторных пластин выбирается так, что одна пара дополнительных пластин ротора обеспечивает зарядку одной пары индукторов электричеством одного знака, а другая пара дополнительных пластин — вторую пару индукторов зарядами противоположного знака. Компактное расположение роторных пластин, значительно сокращающее габаритные размеры генератора в целом, обусловлено тем, что дополнительные пластины ротора должны переносить лишь минимальные заряды, обеспечивающие восполнение утечек тока с индукторов по изоляции.

В выполненной нами модели схема генератора несколько изменена. Многочисленные параллельные соединения, находящиеся под различными потенциалами и перекрещивающиеся друг с другом, устранены (рис. 4, б). В этом случае генератор имеет удвоенное число щеток, причем 4 из них расположены с одного торца ротора, а 4 других — с другого. На рисунке различное положение щеток и коллекторных пластин отмечено разным их начертанием.

Расчет генератора

Как и всякий электростатический генератор, генератор зажигания предназначен для работы в среде сжатого газа. Этим обеспечивается необходимая энергия в искре при малых габаритах генератора.

Основная задача расчета — определение размеров генератора для обеспечения соответствующих потенциалов и емкостей.

Исходные данные: напряжение разряда $U_2 = 30$ кВ и энергия искры $W = 0,015$ Дж.

Обозначая потенциал индукторов через U , максимальную емкость рабочей пластины ротора через C и принимая ширину пластины ротора равной 1 (рис. 5), можно составить уравнение переходного процесса, связанного с повышением потенциала пластины ротора:

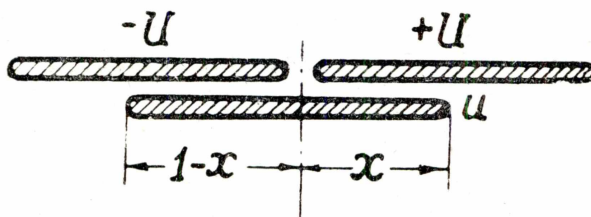


Рис. 5. Расчетная схема транспортер-индуктор.

$$C(1-x)(U_2 + U) + Cx(U_2 - U) + \alpha CU_2 = CU, \quad (1)$$

здесь x — пройденное пластиной ротора расстояние; α — коэффициент паразитной емкости пластины ротора на землю; $CU = q$ — максимальный заряд системы. Из (1) находим:

$$U_2 = \frac{2}{1+\alpha} Ux.$$

Максимальная величина U_2 достигается при $x = 1$. Отсюда

$$U_2 = \frac{2}{1+\alpha} U, \text{ или } U = \frac{1+\alpha}{2} U_2.$$

Разность напряжения в промежутке между ротором и статором не должна превышать величины

$$U_0 = U_2 + U. \quad (3)$$

Подставляя выражение U через U_2 из (2) в (3), имеем:

$$U_0 = \frac{3 + \alpha}{2} U_2.$$

Тогда зазор между ротором и статором определится, как

$$d_1 = \frac{U_0}{E} = \frac{3 + \alpha}{2} \cdot \frac{U_2}{E}, \quad (4)$$

где E — рабочая напряженность электрического поля в зазорах.

Не предпринимая заранее выбор рабочего газа, принимаем величину рабочей напряженности электрического поля равной 250 кВ/см . Полагая далее $\alpha = 0,4$ (экспериментальное значение коэффициента паразитной емкости в генераторах такого типа [2]), из (4) имеем:

$$d_1 = \frac{3 + 0,4}{2} \cdot \frac{30 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^3} \approx 0,2 \text{ см.}$$

Толщина пластин генератора d_2 не должна быть меньше величины зазора. Принимаем $d_2 = 3 \text{ мм}$. Использование пластин с меньшей толщиной затруднило бы их обработку для получения требуемого профиля лобовых частей.

Выполненный генератор заключен в стальной цилиндрический кожух с внутренним диаметром $D = 82 \text{ мм}$. Промежуток между кожухом и статором составляет 3 мм . Тогда внешний диаметр ротора $D_p = 66 \text{ мм}$.

Энергия, переносимая транспортером,

$$W = qU_2 = CUU_2 = C \frac{1 + \alpha}{2} U_2^2 = 0,7 CU_2^2,$$

откуда емкость, приходящаяся на обе рабочие пластины ротора, должна быть равна

$$C = \frac{W}{0,7U_2^2} = \frac{0,015}{0,7(30)^2 \cdot 10^6} = 23,8 \cdot 10^{-12} \text{ ф} = 23,8 \text{ пф.}$$

При этих условиях ($D_p = 66 \text{ мм}$, $d_1 = 2 \text{ мм}$, $C = 23,8 \text{ пф}$) длина пластин ротора составляет 60 мм .

Рассмотрим теперь работу генератора возбуждения. Соединение дополнительных пластин с высоковольтными щетками должно происходить в момент, когда потенциал пластин становится равным потенциалу индукторов, имеющих равные, но противоположные по знаку величины:

$$U = \frac{1 + \alpha}{2} U_2 = \frac{1,4}{2} \cdot 30 = 21 \text{ кВ.}$$

Обращаясь вновь к рис. 5 и составляя уравнение переходного процесса для данного случая аналогично уравнению (1), находим величину смещения x , при котором все потенциалы уравниваются:

$$x = \frac{1 + \alpha}{2}.$$

Полагая, как и ранее, $\alpha = 0,4$, имеем: $x = 0,7$, в соответствии с чем определяется расположение высоковольтных щеток с учетом расположения коллекторных пластин, угловой размер которых составляет примерно половину углового размера дополнительных пластин ротора. Заземленные щетки располагаются так, что дополнительные пластины „отрываются“ от них в момент максимальной емкости их с индукторами.

Для поддержания заданных значений потенциалов индукторов от них надо отводить ток, значение которого определяется по формуле [2]:

$$I = 2n(1 - \alpha) C_1 U.$$

Принимая скорость вращения $n = 2100$ об/мин = 35 об/сек ротора, имеем

$$I = 2 \cdot 35(1 - 0,4) \cdot 4 \cdot 10^{-12} \cdot 21 \cdot 10^3 = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ а} = 3,6 \text{ мка}.$$

Здесь $C_1 = 4 \cdot 10^{-12} \text{ ф}$ — максимальная емкость дополнительной пластины ротора относительно индуктора. В этом случае средняя мощность генератора возбуждения определится как

$$P_g = 4 UI = 4 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} = 0,3 \text{ вт}.$$

Как видно, в случае электростатического генератора зажигания мощность источника возбуждения ничтожна.

Мощность собственно генератора зажигания составляет

$$P_2 = 4Wn = 4 \cdot 0,015 \cdot 35 = 2,1 \text{ вт}.$$

В целом генератор должен развивать полезную мощность

$$P = P_g + P_2 = 0,3 + 2,1 = 2,4 \text{ вт}.$$

Существенной проблемой является отвод зарядов с индукторов. Если предусмотреть наличие соответствующей омической проводимости, то это приведет к увеличению времени начального возбуждения генератора, что в данном случае нерационально. Для отвода зарядов нами использовано явление коронного разряда, для чего через стенку кожуха напротив индукторов проведены коронирующие острия, положение которых по отношению к индукторам может быть отрегулировано без нарушения герметичности системы.

Конструктивное оформление генератора

Внешний вид генератора без кожуха приведен на рис. 6. Все пластины генератора выполнены из дюралюминия. Индукторы, превосходящие по длине пластины ротора, крепятся на двух фланцах из изолирующего материала. Вал ротора, закрепленный на подшипниках, установленных во фланцах, изолирован от земли. Он соединен с рабочими пластинами ротора и несет на себе контактный палец распределителя. Кожух генератора имеет две съемные крышки. Через одну из них, выполненную из изолирующего материала, проходят 4 электрода-выступа, соединяемые снаружи проводом «магнето» со свечами. Через другую крышку проходит приводной вал, соединяющийся с валом ротора через крестовидную муфту из диэлектрика, рассчитанную на полную изоляцию выходного напряжения, снимаемого с вала ротора через контактный палец.

Внутренняя полость генератора заполнена газом под давлением 20 кг/см². В нашей модели в качестве газа-диэлектрика использован

воздух. В нижней крышке имеется специальное уплотнение приводного вала ротора, предохраняющее вытекание газа из корпуса.

Вышеописанный генератор изготовлен для работы с четырехцилиндровым двигателем. Нижняя крышка корпуса и приводной вал ротора выполнены из расчета установки его на место колонки прерывателя-распределителя Р-23 двигателя М-21 «Волга».

При установке генератора ЭСГЗ на двигатель отпадает надобность во всех приборах, присущих батарейной системе зажигания.

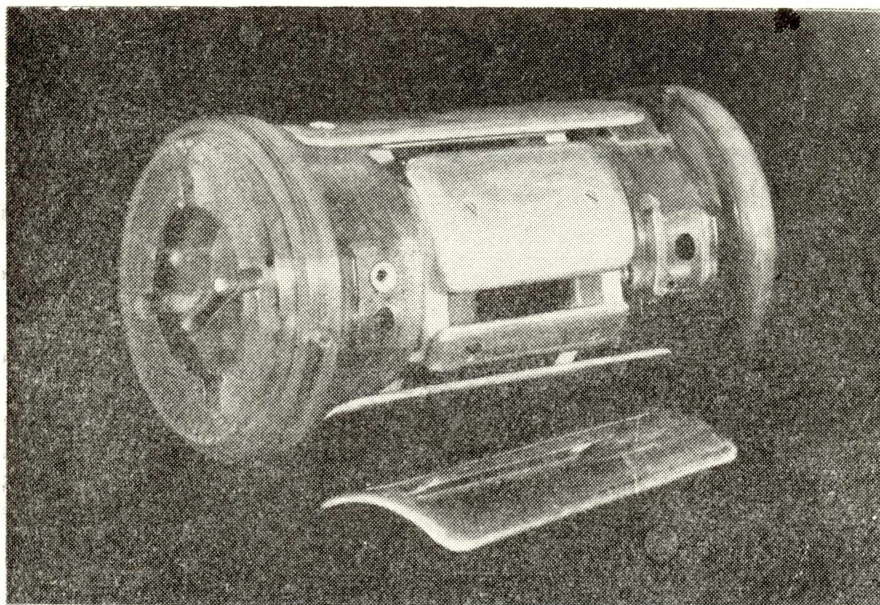


Рис. 6. Внешний вид генератора (без кожуха).

Испытание генератора

Испытание проводилось на испытательном стенде, который позволял плавно изменять обороты вала генератора в диапазоне 50—3000 об/мин.

Первые испытания были проведены с целью выяснения времени возбуждения генератора. Здесь под временем возбуждения понимается время, прошедшее с начала вращения ротора до момента получения на разряднике пробивного напряжения, равного 20 кВ.

Запись, проведенная при помощи шлейфового осциллографа, показала, что время возбуждения генератора определяется некоторым количеством оборотов (пусковые обороты), находящимся в зависимости от скорости вращения ротора в этот период. Низкие скорости вращения (до 20 об/мин) создавались прокручиванием вала от руки. При этом пробой искрового промежутка разрядника происходил через 5 оборотов ротора. В связи с тем, что вращение вала было медленным, это количество оборотов легко можно было посчитать. На более высоких скоростях вращения генератор развивал максимальное напряжение уже после второго оборота. Это говорит о том, что «пусковое» количество оборотов генератора в наиболее худших условиях его работы (запуск двигателя), не отразится на работе последнего, так как от начала его прокрутки до поступления в цилиндры рабочей смеси двигатель делает гораздо больше оборотов, нежели это необходимо для возбуждения генератора.

Диаграмма, характеризующая установленную в результате стендовых испытаний зависимость напряжения, развиваемого генератором,

от скорости вращения ротора (рис. 7), была построена по данным, полученным при работе генератора на стандартный трехэлектродный разрядник.

В отличие от характеристик батарейного и магнетного зажигания (рис. 1) напряжение, развиваемое генератором ЭСГЗ, практически остается постоянным в широком диапазоне чисел оборотов. Это качество генератора вытекает из принципа его работы. И действительно, напряжение генератора определяется, как это было показано ранее, емкостью между индукторами и транспортерами и напряженностью поля между

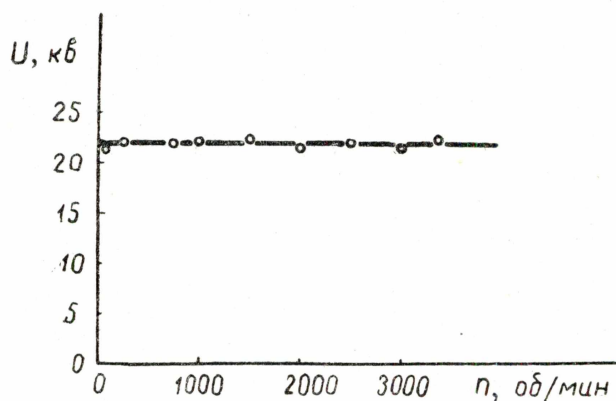


Рис. 7. Рабочая характеристика генератора.

ними. Для определенного газообразного диэлектрика обе эти величины являются постоянными. Поэтому при достаточно высоком качестве изоляции и постоянстве зарядов на индукторах максимальное значение напряжения импульса не должно зависеть от скорости вращения ротора.

Возвращаясь к рабочей характеристике генератора, отмечаем, что снижение напряжения становится заметным при 10—15 об/мин, т. е. это снижение наступает при оборотах более низких, чем минимальные пусковые обороты бензиновых двигателей, определяемые карбюрацией, и для большинства составляют 40—50 об/мин [1]. Поэтому снижение напряжения генератора при весьма малых оборотах на пусковых свойствах двигателя не отразится.

На повышенных оборотах относительная утечка зарядов с индукторов уменьшается, и количество зарядов на индукторах быстро растет. Повышающаяся от этого напряженность поля индукторов приводит к пробоям внутри генератора. После пробоя потенциал разряженного индуктора уменьшается настолько, что искрение на соответствующих разрядниках может прекратиться на некоторое время, необходимое для повторного возбуждения индуктора.

Для устранения такого явления, при помощи предусмотренной коронирующей системы, была произведена соответствующая регулировка. При работе генератора на максимальных оборотах изменялось расстояние между индуктором и острием иглы. Расстояние считалось оптимальным при прекращении пробоев внутри генератора, что контролировалось через прозрачную верхнюю крышку. После такой регулировки излишек зарядов с индукторов стекал по коронирующим остриям на массу и потенциал их выше определенной величины не возрастал. Подтверждением этому является горизонтальное протекание рабочей характеристики генератора.

Установка вышеописанного регулируемого стабилизирующего устройства потребовалась лишь как временная мера, необходимая для установления оптимальных размеров пластин возбуждения, поскольку

в расчете генератора, предназначенного для работы в широком интервале чисел оборотов, трудно было учесть влияние паразитных емкостей и утечек зарядов по изоляции. Его не следует считать необходимой принадлежностью генератора, так как в промышленном образце регулировка не потребуется, и нужную утечку можно создать без труда внутри генератора.

Наиболее важной, на наш взгляд, особенностью электростатического генератора зажигания является его способность бесперебойной работы со свечами, имеющими очень большую утечку тока по изоляции. Свечи, вышедшие из строя из-за появления на изоляторе проводящего слоя нагара, влаги или отложений солей свинца, оказываются работоспособными с ЭСГЗ.

Современные системы зажигания обеспечивают бесперебойную работу свечи при падении сопротивления ее изоляции не ниже 200 000 ом, в то время как генератор ЭСГЗ устойчиво дает искру при шунтирующем сопротивлении в тысячу раз меньше.

На рис. 8 приведены рабочие характеристики батарейного зажигания с катушкой Б-15 и электростатического генератора для трех значений шунтирующего сопротивления.

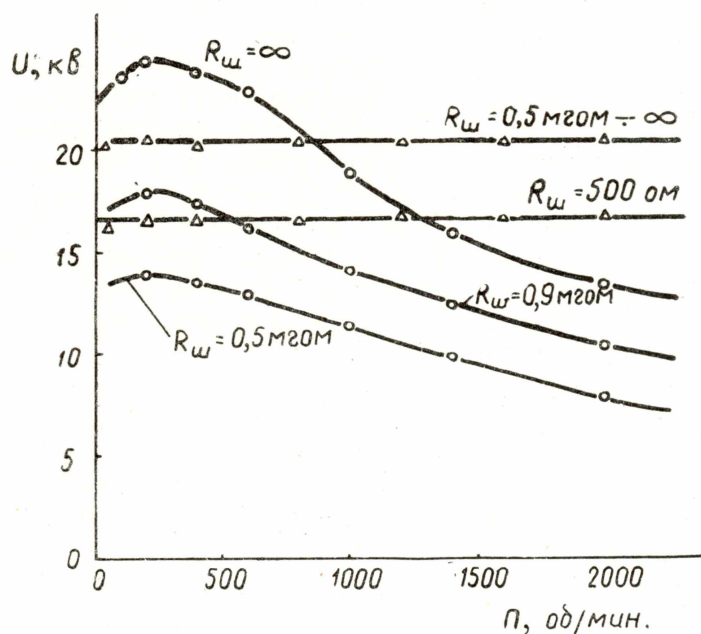


Рис. 8. Рабочие характеристики батарейного и электростатического зажигания при работе на различные $R_{ш}$.

Из графиков видно, что при наличии шунтирующего сопротивления даже в 500 ом система зажигания с ЭСГЗ будет работать надежно.

Это явление объясняется формой и длительностью электрического импульса, вырабатываемого генератором.

В отличие от импульса катушки зажигания импульс напряжения генератора ЭСГЗ имеет весьма малую длительность с очень крутым фронтом¹⁾.

В результате к искровому промежутку почти мгновенно прикладывается максимальное напряжение, создаваемое генератором, что и обес-

¹⁾ Длительность импульса напряжения ЭСГЗ измерена при помощи осциллографа ОК-19М и оказалась равной $2,5 \cdot 10^{-9}$ сек.

печивает нормальную работу свечи даже при наличии большой проводимости по изоляции.

В этом заключается огромное преимущество ЭСГЗ перед всеми системами зажигания, содержащими индуктивность. Это преимущество может оказаться очень важным при решении, например, проблемы запальной свечи, которая с каждым годом, в связи с форсировкой двигателей, становится все более актуальной.

В работе двигателей внутреннего сгорания очень важным является точность подачи искры в цилиндры. Это определяет равномерность работы всех цилиндров и детонационные явления в двигателе.

Для выяснения величины рассеяния искр по углу вращения ротора был применен вращающийся разрядник, который позволял во время работы генератора замечать по градусной шкале моменты проскакивания искр.

Угловая раздача искр по цилиндрам определялась главным образом точностью расположения электродов в крышке генератора и происходила через 90° поворота вала ротора. Картина синхронности каждой из искр была несколько хуже. Поле разброса было у каждой из четырех искр различным. У одной искры оно укладывалось в 1° , у второй искры дрейф превышал 4° , а две другие имели промежуточное значение. При осмотре неподвижных электродов верхней крышки и вращающегося электрода (разносчика) причина этого стала очевидна. Оказалось, что при изготовлении поверхности электродов были допущены отклонения от формы сферы. Эти отклонения создавали сильные искажения электрического поля между ними, которые приводили к запаздыванию либо к раннему пробою искрового промежутка. Исправлением формы концов электродов удалось уменьшить поле разброса всех искр до 1° . Более тщательное изготовление электродов, между которыми должна проскакивать искра (внутри генератора), и разнесение их на возможно больший диаметр позволит поле разброса искр получить значительно меньше, чем у современных систем зажигания.

Следует считать некоторым недостатком наличие в корпусе ЭСГЗ воздуха под давлением, поскольку это требует надежного уплотнения приводного валика ротора. Однако уже впервые примененное уплотнение, состоящее из резиновых самоуплотняющихся колец, позволило поддерживать постоянным давление в корпусе генератора в течение нескольких недель его работы.

По имеющимся данным уплотнения в подобных генераторах работают вполне эффективно в течение длительного времени [6]. Поэтому наличие газа под давлением не делает эксплуатацию ЭСГЗ сколько-нибудь затруднительной и не вносит в его работу элемента ненадежности.

Заключение

Создание и исследование опытного образца электростатического генератора зажигания позволяет сделать некоторые выводы. Ниже приводятся только основные выводы, принципиально отличающие электростатическое зажигание от существующих систем.

1. Генератор создает искру чисто емкостного происхождения, большой мгновенной мощности, способную воспламенить бензовоздушную смесь. Кратковременность проскакивания искры исключает нагревание электродов свечи, тем самым не способствует их эрозии и уменьшает возможность калильного зажигания.

2. Полная автономность генератора делает его независимым от неисправности других агрегатов системы электрооборудования, таких как

аккумуляторная батарея, генератор, прерыватель и др. Это, в свою очередь, повышает надежность работы двигателя в целом.

3. Горизонтальное протекание рабочей характеристики генератора делает электростатическую систему зажигания универсальной. Эта универсальность имеет очень широкие пределы, так как высокое напряжение остается стабильным при любых числах оборотов, а также не зависит от того, в какой среде находится генератор.

4. Электростатическая система зажигания устойчиво работает при значительных утечках тока из-за нарушения изоляции свечи. Это позволит повысить надежность высокофорсированных двигателей и снизить неполадки в работе обычных двигателей, связанные с временным нарушением изоляции свечей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Галкин. Электрооборудование автомобилей и тракторов. Машгиз, М., 1960.
2. А. Ф. Калганов. Малогабаритный самовозбуждающийся роторный ЭСГ, Известия вузов «Электромеханика», № 4, 1960.
3. Д. Морган. Принципы зажигания. Машгиз, 1960.
4. Motorlastwagen. № 3, 1953.
5. N. Felici, M. Point. Journal de la Societe des Ingenieurs de L'Automobile. Okt., 1950.
6. N. Felici. Electrostatistische Hochspannungs Generatoren. G. Braun, Karlsruhe, 1957.
7. U. Neubert. ETZ—B, № 6, 199, 1954.
8. U. Neubert. Electrostatic in der Technik, München, 1954.
9. Julien H. P., Neblett R. F. Spark—plug misfiring—mechanism studies. SAE Annual Meeting, Preprints, s. a., № 1231.
10. Lenz L. R., Nostrant R. F., Graver R. T. Some problems of spark plug operation in two—cycle engines. SAE Annual Meeting, Preprints, s. a., № 123v.
11. Spaulding G. E. Transistor switched ignition systems. SAE Annual Meeting, Preprints, s. a., № 132A.
12. Was sind Mehrstoff—Electroden? Kraftfahrzeug—Kurier, № 1, 1960.
13. Gouler G. A. Improvements in and relating to multy—cylinder engine ignition systems. Patent № 798455.