

Р 210
321

В. П. КАРПОВ

ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЙ ПРОЦЕСС

И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

К БЕНЗИНОВЫМ ДВИГАТЕЛЯМ И УСТАНОВКАМ ПОЛЕВОГО ТИПА

ИЗДАНИЕ
Военно-Технической Академии РККА имени тов. Дзержинского
ЛЕНИНГРАД
1928

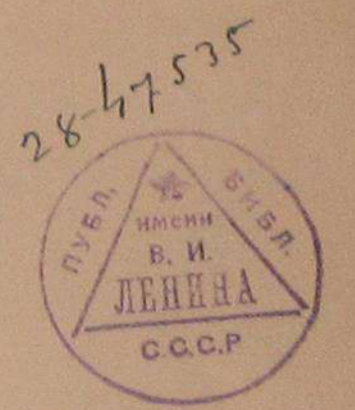
Р 210
321

В. П. КАРПОВ

ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЙ ПРОЦЕСС

И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

К БЕНЗИНОВЫМ ДВИГАТЕЛЯМ И УСТАНОВКАМ ПОЛЕВОГО ТИПА



ИЗДАНИЕ
Военно-Технической Академии РККА имени тов. Дзержинского
ЛЕНИНГРАД
1928

О Г Л А В Л Е Н И Е.

	стр.
1. От автора.....	1
2. Предисловие.....	3
3. Научная постановка в целом и теоретическое исследование газогенераторного процесса.....	8
4. Теоретическое исследование работы двигателя спроектированного на бензине на генераторном газе различного состава.....	37
5. Расчет и конструкция опытного газогенератора с переменной зоной забора газа и с поддувкой отработанных продуктов горения двигателя.....	58
6. Опытное исследование работы на генераторном газе бензино-керосиновых агрегатов.....	74

Типо-Литография „Коллектив Печатник“, Нижегородская, 1.

Предлагаемый читателю труд в своем последующем изложении далеко не исчерпывает поставленного в заголовке вопроса, особенно в отношении приложений в практической части, которая, в сущности говоря, представляет собою лишь предварительную подготовку, или вернее - общую наметку, для последующего более строго-научнопоставленного исследования со всей ему подобающей полнотой и строгостью технических измерений и наблюдений. Но нужно полагать, что это обстоятельство несколько не идет в разрез с обычными методами работы в области лабораторных исследований, ибо предварительные соображения, ориентировка и подготовка сплошь и рядом, занимают значительно больше времени, нежели постановка самого опыта, в условиях, когда все лишнее, затемняющее-суть явления, будет отброшено и останется лишь абстрактный объект, хотя и связанный побочными обстоятельствами со всей совокупностью окружающей обстановки, по уже нитями подлежащими контролю и наблюдению.

В силу серьезности и обширности поставленных задач, как то: создание газогенератора собственной конструкции, вдувание отработанных продуктов горения двигателя, при ведении газогенераторного процесса без пара, в целях повышения его экономичности, изучение явлений катализа при взаимодействии углекислоты и водорода, в присутствии железа, пришлось заключить первую работу в рамки настоящего труда.

Кроме того, назревшая необходимость представления имеющегося материала, а также и то обстоятельство, что двигатель, предназначенный для более детальных испытаний, находится еще в периоде подготовки, а необходимая аппаратура отсутствует, послужило второй причиной, побудившей к опубликованию имеющихся данных, тем более, что критическое отношение к ним читателя может быть внесет некоторые коррективы в дальнейшую работу.

Во всяком случае, нужно думать, что теоретические предпосылки достаточно освещены и этими предварительными исследованиями, ибо бензино-керосиновый агрегат „Penta“ в 4-5 HP, фигурирующий, как первый объект исследования, несмотря на значительный износ частей и несовершенства конструкции (автоматические клапана, примитивная смазка), все же оправдал теоретические ожидания, хотя может быть и не в полной мере, как хотелось.

Прожекторный агрегат „Briton“ номинальной мощностью 8 HP был пущен в ход лишь в виде иллюстрации для получения соотношений его работы на бензине и генераторном газе без каких-бы то ни было изменений в отношении степени сжатия.

В дальнейшем исследование направлено по тщательному изучению работы на газе судового двигателя „Sarin Pálvi“ номинальной мощностью в 24 HP от того же газогенератора. Эта работа уже не может попасть в настоящий труд, в силу высказанных соображений, и составит совершенно самостоятельное, по возможности, подробное исследование, как газогенератора, так и двигателя, и будет иметь целью не только дальнейшее повышение экономичности установки, но и выяснение средств в отношении приближения эффективной мощности двигателя, работающего на газе, к мощности его на бензине. И только после этого предположено приступить к исследованию двигателя автомобильного типа, поставив главной задачей вопросы удовлетворения специфическим требованиям, предъявляемым к подобной установке в отношении развития больших вращающих моментов при малом числе оборотов, быстроты разгона и проч.

Таким образом, сама сущность вопроса требует деления его минимум'а на три части, а потому и предлагаемый труд нужно понимать, как первое звено в цепи последующих исследований.

Надеюсь, что широкий круг лиц, интересующихся в настоящее время излагаемыми вопросами, не откажет указать на возможные со стороны автора упущения или неясности.

В. Карпов.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

В 90-х годах прошлого столетия исключительный гений инженера Р. Дизеля создал двигатель по своим термическим качествам далеко оставивший позади все, что имело человечество в области двигателей внутреннего сгорания. Использование тяжелых сортов горючего и в частности сырой нефти, наряду с высоким экономическим коэффициентом полезного действия, а также большая компактность, обеспечили ему широкое распространение.

В настоящее время дизеля и полудизеля огромных мощностей до 3000 HP, а может быть уже и более, несмотря на высокий коэфф. полезного действия уничтожают большое количество сырой нефти, которая сама по себе является высокоценным даром природы, ибо ее легкие погоны служат топливом для авиации и автомобилизма.

Хотя в природе еще достаточно запасов нефти и человечество конкретно не ощущает ее убыли, но все-же расходовать ее нужно с большим хозяйственным расчетом, так как нефть пока считается топливом не возобновимым, ибо пополнение ее в сокровищницах недр природы еще не выяснено.

Франция, в виду отсутствия в стране своих нефтяных источников, и может быть отчасти в силу высказанных соображений, первая пошла по пути экономии бензина, а следовательно и нефти, снабдив свой военный и санитарный автотранспорт газогенераторами. Но, думается, что этого еще недостаточно для разрешения вопроса в более широком масштабе, т.е. нельзя остановиться лишь на снабжении автотранспорта газогенераторами и считать вопрос экономии бензина разрешенным. Конечно, это большой шаг вперед, но ведь имеется масса мелких стационарных и полустационарных установок (кустарная промышленность, мелкие суда электроосве-

тительные агрегаты и т.п.), которые истребляют нефть или бензин, имея мощные запасы непрерывно восстанавливаемого топлива в силу естественного органического роста.

Человечество должно шире смотреть на вопрос расходования запасов недр природы, доведя использование их до максимальной возможной рационализации и, экономя бензин сжиганием углей, довести и самый газогенераторный процесс до пределов совершенства.

Исключительное положение Франции, большой автотранспорт, огромный воздушный флот, при отсутствии своей нефти, сделали ее пионером в разрешении выше поставленной задачи.

Наша страна со своими богатейшими нефтяными ресурсами не так скоро почувствует необходимость в подобных же исканиях. С другой стороны нужно безусловно принять, что нас ничто не обязывает держаться шаблона, следуя за Францией и лишать свой сравнительно небольшой автотранспорт сейчас же такого топлива, как бензин.

Особые требования предъявляемые к автомобильному двигателю, даже Францию, с ее прекрасными путями сообщения, удержали от полного отказа от бензина, так как все, главным образом, грузовые и полугрузовые машины приспособлены так, что могут работать на бензине, смеси бензина с газом и на газе. Такая постановка вопроса обеспечивает всегда полную готовность к действию для двигателя, спроектированного на бензин, и удовлетворительную работу при малом числе оборотов с большим вращающим моментом; кроме того, обеспечивает разгон и большую способность к перегрузке, - обстоятельство являющееся до сего времени большим недостатком газового двигателя вообще, а в условиях применения к автомобилю - в особенности.

В наших дорожных условиях и, главным образом, в обстановке войны, газогенераторы установленные на автомобилях будут работать при современном положении дела лишь по французской системе и то на транзитных тыловых путях.

Казалось-бы, наилучшим решением сейчас для нас, в смысле экономии нефти, а также и обогащения опытом в отношении

эксплуатации легких двигателей на генераторном газе, было бы снабжение газогенераторами автомобильного типа, мелких подвижных и полуподвижных - судовых, электроосветительных и силовых установок нашего крестьянского хозяйства и кустарной промышленности, особенно в северных областях страны и в Сибири. Конечно, все это не мешает вести исследования и в области автотранспортной, но нужно всегда иметь в виду, что здесь к трудностям в установках стационарного типа и всех перечисленных только что категорий прибавятся неизмеримо большие трудности, вызываемые особыми требованиями автомобильного двигателя, при полном отказе от пользования бензином.

Установки стационарного и полустационарного типа могут иметь лишь ординарное снабжение (местное топливо), и работая с равномерной нагрузкой дадут наилучший коэффициент полезного действия.

В силу этих соображений, а также в отношении планомерности исследования вопроса в целом, нужно считать более целесообразным только что указанный путь.

О современном состоянии легких газогенераторных установок, и то автомобильного типа, можно лишь судить по статьям, публикуемым в иностранной периодической литературе X).

Подобные статьи могут лишь познакомить с общей картиной существующих весьма разнообразных типов и не всегда с достаточно точным цифровым материалом.

Не входя в подробности изложения имеющих за границей данных, каковые всегда могут быть почерпнуты из указанных в выноске источников, необходимо все-же отметить, что все газогенераторы делятся на две категории:

1. Газогенераторы на дровах и
2. на древесном угле, карбовите, антраците, коксе и даже торфе.

X) *Auto-Technik* den 15 Mai 1927.
Le Genie Civil T X C N 1.

Труды Теплотехнич. С'езда от А. Крживицкого. 1927.

Оценивая каждую из этих категорий в отношении удобств эксплуатации в боевой обстановке, приходится отказаться совершенно от газогенераторов на дровах, ибо дрова все же нужно готовить определенной влажности 15-18% в кубиках размером 4-5 см³, что не всегда позволит обстановка. Кроме того, сложность очистки газа (смолоотделители) и постоянные опасения (при отказе по тем или иным причинам смолоотделителя), заноса смолы в двигатель и фактические заносы, породят длительные остановки и создадут массу хлопот.

Рациональное использование древесины может быть поставлено в тыловых районах, при содействии специалистов, на надлежащую высоту при сухой перегонке дерева, и тогда древесный уголь явится отбросом производства независимо от газогенераторной установки.

На участках близких к фронтовой полосе выжигание древесного угля в кучах несравненно проще, независимее от времени года и климатических условий, нежели заготовка дров указанного формата и влажности.

Поэтому нужно считать, что с военной точки зрения лучшими являются газогенераторы на древесном угле. Оценивая и этот тип газогенераторов все-же необходимо отметить, что все встречаемые конструкции, как самих газогенераторов с очистительными устройствами, так и охлаждения газа являются довольно сложными и, пожалуй, излишними, оказывающими большое сопротивление для присоса и утяжеляющими общую компоновку подвижной установки х).

Итак, учитывая все предварительные соображения, намечается такая постановка задачи: согласовав вопрос работы бензиновых двигателей на газе с возможно тщательным теоретическим исследованием, создать легкий газогенератор, работающий на древесном угле без впуска пара (без испарителя), без сложной очистки газа и охлаждения его и, кроме того, такой, чтобы он, без сложных переустройств, мог

х) От 250 до 400 кг.

удовлетворить возможно широкий диапазон мощностей, работая экономично от 4 HP до 20 HP и даже выше.

Кроме того, осуществляя пуск непосредственно на газе, для мелких стационарных агрегатов - отказаться от двойного питания (бензин или керосин и уголь).

Насколько в предлагаемом труде, как в теоретической так и практической его части, удалось удовлетворить поставленной задаче - предоставляется суду читателя, но необходимо лишь оговорить одно, что разрешение ее, особенно для малых мощностей, потребовало не мало труда и времени, так как двигатели малой мощности наиболее трудно поддаются регулировке и выполняются зачастую с мало совершенными органами распределения, примитивной смазкой и т.п.

Таким образом вся работа подразделилась на следующие части:

1. Научная постановка вопроса в целом, и теоретическое исследование газогенераторного процесса.
2. Теоретическое исследование работы двигателя, спроектированного на бензине на генераторном газе различного состава.
3. Расчет и конструкция газогенератора.
4. Опытное исследование и общий вывод.

Дабы не загромождать цифровой материал излишними малоценными чертежами, в тексте приводится ряд фотографий, характеризующих общую обстановку работы и аппаратуру, коей приходилось пользоваться.

Считаю своим приятным долгом выразить глубокую признательность за весьма ценные советы и указания профессору А.А.Саткевичу, пр. Ф.Л.Хлыстову и Ю.А.Степанову в весьма тяжелой организационной обстановке содействовавшим в постановке испытаний предоставлением двигателей и аппаратуры, и сотрудникам лаборатории, проявившим широкий интерес к делу.

" 15" мая 1928 г.

Гор. Ленинград.

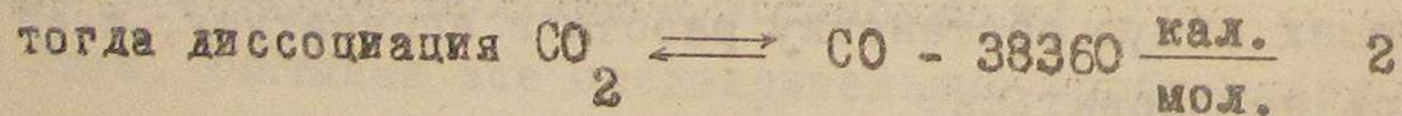
НАУЧНАЯ ПОСТАНОВКА ВОПРОСА В ЦЕЛОМ И
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ПРОЦЕССА.

Научная постановка вопроса получения генераторного газа достаточно известна, чтоб о ней стоило много говорить, да и обычных для этого исследований собственно не производилось. Необходимо лишь указать, что последние изыскания Haber'a, Hahn'a и Boudanard'a подвели достаточный научный базис под обычный газогенераторный процесс x).

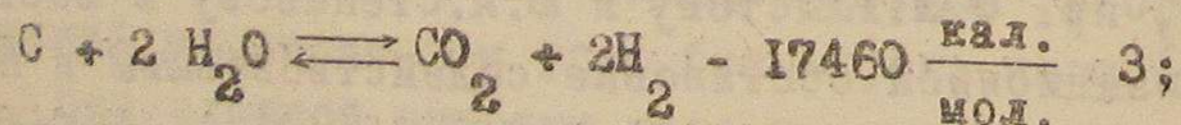
В целях полноты изложения все-же необходимо рассмотреть этот основной процесс, и, сопоставив его с предлагаемым вывести соответствующее заключение.

По данным манских названных исследователей процесс диссоциации углекислоты в присутствии углерода протекает наиболее полно при T_{абс.} около 1300 - 1400°.

Основная реакция горения углерода в кислороде идет с выделением тепла, согласно реакции:



и примерно при этих же температурных условиях диссоциация водяного пара идет по уравнению:



при этом теоретически принимается, что никаких иных вторичных реакций не происходит, а углеводороды жирного и

x) W. Schüle. Technische Thermodynamik.

этиленного ряда отсутствуют.

Таким образом, обе последних реакции происходят с затратой тепла, протекая за счет выделившегося тепла при основной реакции горения.

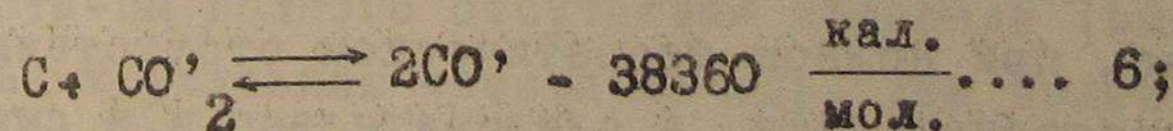
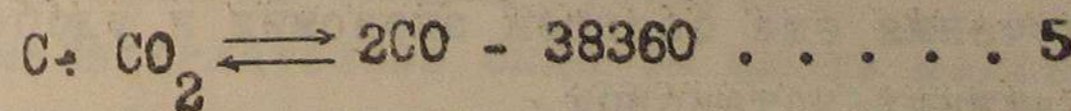
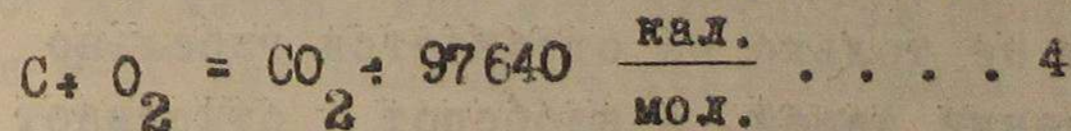
Из сопоставления 1, 2 и 3 уравнений ясно, что паробразование за счет избытка теплоты основной реакции и введение в процесс пара всегда теоретически да и практически выгодно.

При чисто воздушном процессе, протекающем лишь по уравнениям 1 и 2 избыток теплоты не будет полностью использован, и практически поглотится в скруббере охлаждающей водою.

Итак, выпуск пара a priori удешевляет процесс и, кроме того, как будет видно из последующего, даст больший выход газа на каждый килограмм затраченного углерода.

Отрешимся теперь на время от реально существующего процесса и взглянем с наиболее выгодной, может быть, и не совсем осуществимой стороны на процесс.

Допустим, что мы получили возможность без затраты с нашей стороны энергии, а следовательно и углерода произвести выпуск в процесс некоторого количества углекислоты CO₂, вместо пара, тогда основные уравнения процесса примут вид -



таким образом и в этом случае останется некоторый избыток теплоты на подогрев углекислоты CO₂ до температуры диссоциации.

Опять-таки a priori можно сказать, что этот процесс будет экономичнее не только чисто воздушного, но и паровоздушного, ибо он приобрел без затраты тепла частицу угле-

рода, принесенную с углекислотой CO_2 .

Приблизим теперь предварительные теоретические рассуждения к реальной действительности, ибо в существующей обстановке мы не имеем чистой углекислоты, а только лишь отработанные продукты горения газового двигателя, допустим работающего на газе почти с полным отсутствием водорода, в которых объемное содержание углекислоты составляет 17-18 %.

Несмотря на такое разжижение азотом углекислоты произведенные в дальнейшем теоретические подсчеты указывают на полную возможность подобного процесса и на возможное удешевление стоимости единицы теплоты в генераторном газе, хотя правда эта экономия не велика и составляет лишь около 4 %, по сравнению с паровоздушным газом.

Но невольно встает сейчас же вопрос, что выпуск огромного в объемном процентном содержании количества азота слишком обедняет газ, что теоретически не выгодно для двигателя.

Конечно, это обстоятельство имеет место и газ, по сравнению с богатым водородным генераторным газом, окажется теоретически беднее, но он не будет беднее чисто воздушного газа, ибо азота ни откуда не прибавилось.

Действительность же, как видно из последующего показывает, что поддувка не только не отражается губительно на существующем положении вещей, а наоборот - открывает нам новые пути для получения еще большей экономии и удобства в эксплуатации подвижных установок.

Действительно, при полном теоретическом отсутствии водорода в генераторном газе, а следовательно и в смеси его с воздухом, для осуществления работы в цилиндре двигателя температурный предел существования входящих в эту смесь компонентов, в присутствии кислорода, будет выше нежели в случае газа, богатого водородом. Эти температуры по данным проф. Синеуцкого составят для водорода 585°C и для окиси углерода 650°C .

Вот это-то обстоятельство и дает нам право утверждать, что теоретически, а также и практически газовая смесь с полным или почти полным отсутствием водорода может быть сжата до больших пределов, нежели богатая водородом.

И тогда, работая на более дешевом газе с повышенными степенями сжатия по сравнению с обычно принятыми для газовых двигателей, мы имеем все основания для получения еще большей экономии.

Окончательные возможности в этом отношении может установить с одной стороны близкий к действительности подсчет и с другой стороны - опыт, что и является одной из задач данного труда.

Кроме высказанных главнейших предпосылок чисто теоретического характера существенно необходимо еще отметить весьма важное обстоятельство, имеющее место в газогенераторном процессе.

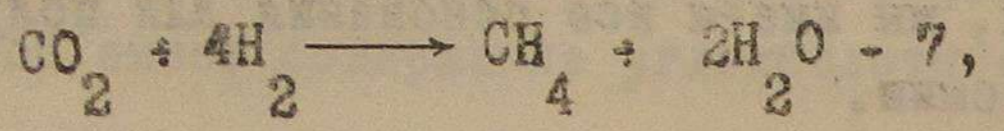
До сего времени как-то мало уделялось места вопросу исследования условий образования метана в газогенераторном процессе. То или иное его содержание в газе фиксировалось опытами и формально устанавливалась его процентная норма для различных сортов топлива.

Во всех последующих изысканиях нас, помимо углекислоты и окиси углерода при работе без пара, существенно интересовал метан, ибо его плотность по сравнению с водородом в 9-10 раз больше, а теплотворная способность в 3,2 раза выше на каждый куб. метр.

В идеале желательно было-бы иметь максимум метана за счет хотя-бы полного отсутствия водорода (вместо 5-6% в реальных условиях свести до 2%), тем более, что температурный предел его существования тот-же, что и для окиси углерода.

При допуске в процесс излишка свободной углекислоты путем поддувки отработанного газа-двигателя вместо пара, могут идти реакции и второго порядка кроме основных, в чем убеждает опыт.

В качестве теоретической предпосылки к этому вопросу можно привести весьма ценные данные труда приват-доцента Киевского Политехнического Института И.А.Трефилева "Опыт тепловых подсчетов пирогенетических реакций", где им дается таблица Ferster'a и там же вполне определенные указания на полную возможность реакции:



в присутствии катализаторов - железа, никеля и других - в пределах температур 300 - 400°C и при отсутствии их при иных температурных условиях и ином выходе продукта.

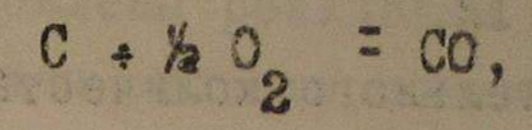
В силу особой конструкции опытного газогенератора, а также потому, что при работе, хотя и без пара, вследствие влажности угля (от 4 до 10%) присутствие водорода всегда имеет место, наличие реакции, согласно уравнению 7, при поддувке нужно полагать будет более обеспеченным, нежели при газе богатом водородом (от 12 до 20%). С другой стороны - водород, участвуя в больших количествах в генераторном процессе, разжижает метан, что верно не только для генераторного газа, но и для водяного при температурах около 500°C.

Таким образом все изложенные предпосылки дают полное основание приступить к теоретическому исследованию вопроса, а не поддающиеся подсчету отдельные его элементы осветить опытным путем; для чего приведем сначала математическую формулировку обычного газогенераторного процесса, придерживаясь хотя-бы обозначений, принятых в труде - W. Schüle - "Technische Thermodynamik", а затем, приведя в общих выражениях предлагаемый способ получения генераторного газа, поясним в последующем цифровым материалом.

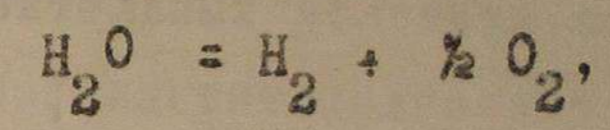
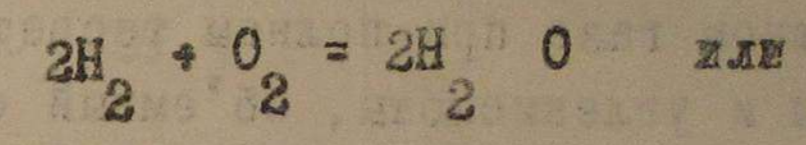
Таким образом, принимая во внимание основные уравнения процесса 1, 2 и 3, и обозначая объемные соотношения частей входящих в состав генераторного газа через v , можно общее выражение для количества воздуха, потребного для получения этого газа представить в таком виде:

$$\frac{100}{21} \left| \frac{1}{2} v(CO) + v(CO_2) - \frac{1}{2} v(H_2) \right| \text{ куб.мт.} \dots \dots \dots 8,$$

ибо для образования каждого куб. метра окиси углерода необходимо затратить $\frac{1}{2}$ куб.мт. кислорода, согласно реакции:



а для образования каждого куб. метра углекислоты необходимо затратить 1 куб.мт.кислорода $C + O_2 = CO_2$, но так как пары воды на каждый куб. мт. водорода приносят $\frac{1}{2}$ куб. мт.кислорода, согласно реакции -



то $\frac{1}{2} v(H_2)$ в выражении 8 входит со знаком минус.

Количество азота в воздухе, пошедшее на образование газа определится, согласно выражения:

$$v(N_2) = \frac{79}{21} \left| \frac{1}{2} v(CO) + v(CO_2) - \frac{1}{2} v(H_2) \right| \dots \dots \dots 9$$

Каждый куб. мт. генераторного газа по своему об'емному составу может быть представлен в самом общем виде следующим образом:

$$v(CO) + v(H_2) + v(CO_2) + v(N_2) = 1 \dots \dots \dots 10$$

и тогда, принимая во внимание условие 9, получим:

$$v(CO) + v(H_2) + v(CO_2) + \frac{79}{21} \left| \frac{1}{2} v(CO) + v(CO_2) - \frac{1}{2} v(H_2) \right| = 1 \dots \dots \dots .11$$

или

$$v(CO) - 0,306 v(H_2) + 1,653 v(CO_2) = 0,347 \dots \dots \dots .12$$

Уравнение 12 показывает, что при любом об'емном соотношении частей CO, H₂ и CO₂ левая часть равна const, т.е. при увеличении выхода водорода и соответственном увеличении углекислоты количество CO растет или уменьшается так, что всегда существует условие 12.

Присутствие довольно значительного количества углекислоты в газе еще не означает плохой работы газогенератора в известных пределах при большом содержании водорода.

$$\text{При } \nu(\text{H}_2) = 0 \text{ и } \nu(\text{CO}_2) = 0,$$

т.е. при чисто воздушном газе при полном теоретическом отсутствии паров воды и углекислоты, об'емный состав -

$$\nu(\text{CO}) = 0,347;$$

Теплотворная способность газа может быть представлена в виде суммы теплотворных способностей, входящих в него компонентов.

$$H_{\text{газ}} = \frac{1}{22,4} | 68000 \nu(\text{CO}) + 68200 \nu(\text{H}_2) | \text{ кал. на м}^3 \dots 13.$$

Количество углерода пошедшее на образование газа указанной теплотворной способности определится из тех соображений, что 1 моль CO или CO₂ содержит 12 кг. углерода, тогда -

$$\text{на образование CO затрачено } \frac{12}{22,4} \nu(\text{CO}) \text{ кг. углерода.}$$

$$\text{" " " " CO}_2 \text{ " " } \frac{12}{22,4} \nu(\text{CO}) \text{ кг. углерода,}$$

$$\text{а всего } \frac{12}{22,4} | \nu(\text{CO}) + \nu(\text{CO}_2) | \text{ кг. на куб. мт. газа.}$$

Этот углерод, сгорая по основной реакции уравнения 1 развивает тепла -

$$H_{\text{угл.}} = \frac{12}{22,4} | \nu(\text{CO}) + \nu(\text{CO}_2) | \frac{97640}{12} \text{ кал. на производство 1 куб. мт. газа.}$$

Отношение $\frac{H_{\text{газ}}}{H_{\text{угл.}}}$ может быть названо термо-химическим коэффициентом полезного действия газогенератора, так как уравнения 12 и 13 не учитывают никаких иных потерь (лучеиспускание, провалы через решетку и т. п.), кроме тех, которые обусловлены реакциями превращения 2 и 3.

Обозначая это отношение через η_x получим:

$$\eta_x = \frac{H_{\text{газ}}}{H_{\text{угл.}}} = \frac{68000 \nu(\text{CO}) + 68000 \nu(\text{H}_2)}{97640 | \nu(\text{CO}) + \nu(\text{CO}_2) |} \dots 14$$

$$\eta_x = 0,697 \frac{\nu(\text{CO}) + 1,003 \nu(\text{H}_2)}{\nu(\text{CO}) + \nu(\text{CO}_2)} < 1 \dots 15$$

В действительных условиях работы газогенератора экономический коэффициент полезного действия его определится по расходу топлива на производство газа данной теплотворной способности -

$$\eta_e = \frac{H_{\text{газ}} \nu_{\text{газ}}}{H_{\text{угл.}} Q}, \text{ где } \nu_{\text{газ}} \text{ - об'ем газа, полученный}$$

с Q кг. угля.

При $\nu(\text{H}_2) = 0$ и $\nu(\text{CO}_2) = 0$ условие 15 принимает вид

$\eta_x = \approx 0,70$, т.е. химический^{x)} коэф. пол. действия чисто воздушного процесса стремится к 0,70.

Кроме указанных двух главнейших соотношений, выраженных в условиях 12 и 15 необходимо ввести еще один критерий, характеризующий работу газогенератора при испарении им воды за счет избытка тепла процесса.

Действительно, так как $\eta_x < 1$, то избытком теплоты пользуются для обращения воды в пар при температуре 100°С.

Так как реакция



x) - также назван термохимический.

уже учитывает тепло, пошедшее на диссоциацию и нагрев паров, от 0°C до температуры диссоциации, то на получение из воды, взятой при 20° пара, расход тепла на каждый кг. воды можно принять равным 620 кал.

Общее количество тепла, развиваемое при сгорании углерода до CO и CO₂ составит $\frac{97640}{22,4} | \nu(CO) + \nu(CO_2) |$ кал. на куб. мт.

Избыток этого тепла, могущий пойти на указанную операцию с водой может быть выражен через η_x , а именно:

$$(1 - \eta_x) \frac{97640}{22,4} | \nu(CO) + \nu(CO_2) | \text{ кал. на куб. мт. } \dots 16.$$

Но не весь этот избыток может пойти на испарение и подогрев воды при наличии ранее указанных потерь.

Если на каждый куб. мт. генераторного газа подано в процесс $\frac{18}{22,4} \nu(H_2)$ кг. воды, то количество тепла, пошедшее на ее подогрев и испарение, может быть выражено в виде такого уравнения -

$$\eta' (1 - \eta_x) \frac{97640}{22,4} | \nu(CO) + \nu(CO_2) | = 620 \frac{18}{22,4} \nu(H_2) \dots 17$$

где η' некоторый коэффициент, характеризующий работу испарителя и может быть назван коэффициентом испарительной способности процесса.

Из 17 ур-я получим:

$$\nu(CO) + \nu(CO_2) = 0,114 \frac{\nu(H_2)}{\eta' (1 - \eta_x)} \dots 18$$

или

$$q = \frac{\frac{18}{22,4} \nu(H_2)}{\frac{12}{22,4} | \nu(CO) + \nu(CO_2) |} = 1,5 \frac{\nu(H_2)}{\nu(CO) + \nu(CO_2)} = \frac{\text{вода кг.}}{\text{угл. кг.}} \dots 19,$$

где q показывает отношение расхода воды на каждый кг. сожженного углерода.

Сопоставляя 18 и 19, получим $\eta' (1 - \eta_x) = \frac{0,114}{1,5}$

$$\eta' = 0,076 \frac{q}{1 - \eta_x} \dots 20,$$

т.е. полный тепло-термохимический коэффициент полезного действия газогенератора составит:

$$\eta_{mx} = \eta_x + (1 - \eta_x) \eta' \dots 21.$$

Подводя итог всем изложенным рассуждениям, можно отметить четыре основных условия, которым подчиняется газогенераторный паровоздушный процесс, а именно:

$$\nu(CO) - 0,306 \nu(H_2) + 1,653 \nu(CO_2) = 0,347 \dots I$$

$$\eta_x = 0,697 \frac{\nu(CO) + \nu(H_2)}{\nu(CO) + \nu(CO_2)} \dots II$$

$$q = 1,5 \frac{\nu(H_2)}{\nu(CO) + \nu(CO_2)} \frac{\text{кг.}}{\text{кг.}} \dots III$$

$$\eta' = 0,076 \frac{q}{1 - \eta_x} \dots IV$$

и как вывод из этих условий -

$$\eta_{mx} = \eta_x + (1 - \eta_x) \eta' \dots V.$$

Как можно усмотреть из сказанного по вопросу паровоздушного процесса, здесь не предложено ничего нового по сравнению с обычным его толкованием в труде W. Schüle, лишь вместо трех условий введено четыре для возможности сделать вывод в виде пятого условия для определения η_{mx} .

Применим теперь подобные же рассуждения к чисто теоретическому процессу, когда вместо пара производится выпуск углекислоты при температуре диссоциации.

Обозначим объемное содержание поступающей углекислоты через $v(\text{CO}_2)$, а получающиеся при диссоциации две частицы $v'(\text{CO})$, а другую - углерод, принесенный в процесс с углекислотой $v''(\text{CO})$.

Тогда состав полученного при этой операции газа выразится обычным условием:

$$v(\text{CO}) + v'(\text{CO}) + v''(\text{CO}) + v(\text{N}_2) = 1 \dots \dots \dots 22,$$

при теоретическом отсутствии углекислоты и метана.

Полное количество воздуха, пошедшее на образование газа, составит:

$$\frac{100}{21} \left| \frac{1}{2} v(\text{CO}) \right| \text{ куб. мт.} \dots \dots \dots 23,$$

а объемное количество азота -

$$v(\text{N}_2) = \frac{79}{21} \left| \frac{1}{2} v(\text{CO}) \right| \dots \dots \dots 24,$$

из сопоставления 22 и 24 имеем:

$$v(\text{CO}) + v'(\text{CO}) + v''(\text{CO}) + \frac{79}{21} \left| \frac{1}{2} v(\text{CO}) \right| = 1, \text{ откуда -}$$

$$v(\text{CO}) + 0,347 \left| v'(\text{CO}) + v''(\text{CO}) \right| = 0,347 \dots \dots \dots 25,$$

или приравнявая $v'(\text{CO}) = v''(\text{CO}) = v_1(\text{CO})$

$$v(\text{CO}) + 0,694 v_1(\text{CO}) = 0,347 \dots \dots \dots 26.$$

Теплотворная способность такого газа составит:

$$H_{\text{г.}} = \frac{68000}{22,4} \left| v(\text{CO}) + 2 v_1(\text{CO}) \right| \text{ кал. на куб. мт.}$$

$$H_{\text{углер.}} = \frac{12}{22,4} \left| v(\text{CO}) + v_1(\text{CO}) \right| \frac{97640}{12} \text{ кал. на куб. мт. газа}$$

$$\eta_x = \frac{H_{\text{г.}}}{H_{\text{угл.}}} = \frac{68000 v(\text{CO}) + 2 v_1(\text{CO})}{97640 v(\text{CO}) + v_1(\text{CO})}$$

$$\eta_x = 0,697 \frac{v(\text{CO}) + 2 v_1(\text{CO})}{v(\text{CO}) + v_1(\text{CO})} \dots \dots \dots 27,$$

т.е. выпуск углекислоты повышает η_x процесса, сравнительная же его экономичность может быть показана лишь в дальнейшем на конкретных примерах, ибо такого идеального процесса пока ожидать трудно.

Количество тепла, затраченное на процесс, выразится в общем виде таким образом:

$$\frac{97640}{22,4} \left| v(\text{CO}) + v_1(\text{CO}) \right| \text{ кал. на куб. мт.}$$

Избыток тепла частично пойдет на подогрев углекислоты до температуры диссоциации и тогда, если при общем избытке тепла -

$$(1 - \eta_x) \frac{97640}{22,4} \left| v(\text{CO}) + v_1(\text{CO}) \right| \text{ кал. на куб. мт.}$$

подано q кг. углекислоты, то обозначая $C_{\text{рм}}$ - среднюю теплоемкость ее при $p = \text{const}$ между температурой впуска T_1 и температурой диссоциации T_2 получим общее количество тепла, пошедшее на нагревание углекислоты -

$$q C_{\text{рм}} (T_2 - T_1) \text{ или}$$

$$\eta' (1 - \eta_x) \frac{97640}{22,4} \left| v(\text{CO}) + v_1(\text{CO}) \right| = q C_{\text{рм}} |T_2 - T_1| \dots 28,$$

где η' может быть назван коэффициентом регенерации, так как характеризует собой возможный предел подобной операции при минимуме прочих потерь и идеальном случае, т.е. при полном отсутствии азота в поддувке.

Из условия 28 имеем:

$$v(\text{CO}) + v_1(\text{CO}) = 0,00023 \frac{q C_{\text{рм}} (T_2 - T_1)}{\eta' (1 - \eta_x)}$$

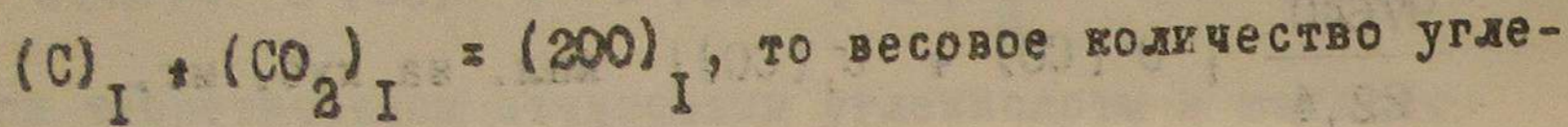
$$q = 1,87 \frac{q}{v(\text{CO}) + v_1(\text{CO})} \frac{\eta' (1 - \eta_x)}{\text{кг. углекислоты} / \text{кг. углерода}}$$

$$\eta' (1 - \eta_x) = 0,00023 \frac{q C_{\text{рм}} (T_2 - T_1)}{v(\text{CO}) + v_1(\text{CO})} \text{ или}$$

$$\eta'(1 - \eta_x) = \frac{0,00023}{1,87} q_{C_{p m}} (T_2 - T_1)$$

$$\eta' = 0,00023 \frac{q_{C_{p m}} (T_2 - T_1)}{1 - \eta_x} \dots \dots \dots 29$$

Но так как диссоциация идет по уравнению



то весовое количество углекислоты в идеальном случае может быть представлено также исходя из объемного содержания $v_1(CO)$

$$q = \frac{44}{22,4} v_1(CO) \text{ кг. и тогда выражения 28 и 29 примут вид -}$$

$$\eta'(1 - \eta_x) \frac{97640}{22,4} | v(CO) + v_1(CO) | = 170 \frac{44}{22,4} v_1(CO) \dots 28^I$$

где 170 кал. есть количество тепла, потребное для нагревания 1 кг. углекислоты от температуры поддувки + 400°C до температуры диссоциации + 1000°C.

$$q = 3,68 \cdot \frac{v_1(CO)}{v(CO) + v_1(CO)} \text{ кг.}$$

$$\eta'(1 - \eta_x) = \frac{0,0765}{3,68} q; \eta' = 0,0208 \frac{q}{1 - \eta_x} \dots \dots \dots 29^I$$

$$\text{и } \eta_{mx} = \eta_x + (1 - \eta_x) \eta' \dots \dots \dots 30.$$

Таким образом, в этом идеальном случае при полном отсутствии углекислоты в газе, для генераторного процесса получаются условия, подобные предыдущим:

$$v(CO) + 0,694 v_1(CO) = 0,347 \dots \dots \dots I^I$$

$$\eta_x = 0,697 \frac{v(CO) + 2 v_1(CO)}{v(CO) + v_1(CO)} \dots \dots \dots II^I$$

$$q = 3,68 \frac{v_1(CO)}{v(CO) + v_1(CO)} \dots \dots \dots III^I$$

$$\eta' = 0,0208 \frac{q}{1 - \eta_x} \dots \dots \dots I^I$$

$$\eta_{mx} = \eta_x + (1 - \eta_x) \eta' \dots \dots \dots II^I$$

Подходя теперь ближе к реальной действительности, выведем условия существования процесса подобного только что разобранному, но принимая в первом приближении присутствие вместе с углекислотой азота, а затем появление некоторого количества водорода и углекислоты, вследствие естественной влажности топлива и воздуха.

Если обозначить количество вносимой в процесс углекислоты через $(CO_2)_2 < (CO_2)_1$, то в присутствии азота общее выражение для объемных соотношений составных частей газа примет следующий вид:

$$v(CO) + v'(CO)_2 + v''(CO)_2 + v(N_2) = 1 \dots \dots \dots 31,$$

где $v'(CO)_2 < v'(CO)_I$ и

$$v''(CO)_2 < v''(CO)_I.$$

Полное количество воздуха, пошедшее на образование газа, составит:

$$\frac{100}{21} | \frac{1}{2} v(CO) | \text{ куб. мт.,}$$

а азота будут больше, нежели в предыдущем случае

$$v(N_2) = \frac{79}{21} | \frac{1}{2} v(CO) + \frac{1}{2} v'(CO)_2 + \frac{1}{2} v''(CO)_2 | \dots 32.$$

Сопоставляя 31 и 32, получим:

$$v(CO) + v'(CO)_2 + v''(CO)_2 + \frac{79}{21} | \frac{1}{2} v(CO) + \frac{1}{2} v'(CO)_2 + \frac{1}{2} v''(CO)_2 | = 1$$

$$\text{или } \frac{1}{2} v''(CO)_2 | = 1$$

$$v(CO) + v'(CO)_2 + v''(CO)_2 = 0,347 \dots \dots \dots 33.$$

Приравнявая $v'(CO)_2 = v''(CO)_2 = v_2(CO)$

$v(CO) + 2v_2(CO) = 0,347 \dots \dots \dots 33^I,$

так как в данном случае

$v_2(CO) < v_1(CO)$, то при правой части, сохраняющей по-

стоянное значение, этот процесс менее выгоден, нежели предыдущий, ибо он идет больше за счет топлива при образовании большого количества $v(CO)$ в силу сохранения условия 33^I .

Термохимический коэффициент полезного действия получает тот же вид, но будет также меньше по своему абсолютному значению по только что высказанным причинам.

$\eta_x = 0,697 \frac{v(CO) + 2 v_2(CO)}{v(CO) + v_2(CO)} \dots \dots \dots 34$

Количество смеси (CO_2 и N_2), поданное в процесс может быть исчислено теми же путями, как и в предыдущем случае.

Для общности выводов примем второй из приведенных способов:

$q = \frac{44}{22,4} v_2(CO) + \frac{28}{22,4} v_2(N_2)$

$\eta'(1 - \eta_x) \frac{97640}{22,4} |v(CO) + v_2(CO)| =$
 $= 170 \frac{44}{22,4} v_2(CO) - 157 \frac{28}{22,4} v_2(N_2),$

где 170 и 157 есть количество теплоты, необходимые для нагревания 1 кг. углекислоты и азота с темпер. поддувки $400^\circ C$ до температуры диссоциации.

При этих условиях, обозначая через $q_1 = \frac{\text{кг. углекисл.}}{\text{кг. углер.}}$, а

через $q_2 = \frac{\text{кг. азота}}{\text{кг. углер.}}$ получим:

$q_1 = 3,68 \frac{v_2(CO)}{v(CO) + v_2(CO)} \text{ кг.}$

$q_2 = 2,34 \frac{v_2(N_2)}{v(CO) + v_2(CO)} \text{ кг.}$

$\eta'(1 - \eta_x) = \frac{0,0765}{3,68} q_1 + \frac{0,045}{2,34} q_2$

$\eta' = \frac{0,0208 q_1 + 0,0193 q_2}{1 - \eta_x} \dots \dots \dots 35$

или приблизительно:

$\eta' \approx \frac{0,02 (q_1 + q_2)}{1 - \eta_x} \dots \dots \dots 35^I$

где η' имеет то же значение, но в присутствии азота.

Итак, условия для генераторного процесса в этом случае примут такую формулировку:

$v(CO) + 2 v_2(CO) = 0,347 \dots \dots \dots I''$

$\eta_x = 0,697 \frac{v(CO) + 2 v_2(CO)}{v(CO) + v_2(CO)} \dots \dots \dots II''$

$q_1 = 3,68 \frac{v_2(CO)}{v(CO) + v_2(CO)} \dots \dots \dots III''_a$

$q_2 = 2,34 \frac{v_2(N_2)}{v(CO) + v_2(CO)} \dots \dots \dots III''_b$

$\eta' = \frac{0,0208 q_1 + 0,193 q_2}{1 - \eta_x} \approx \frac{0,02 (q_1 + q_2)}{1 - \eta_x} \dots \dots \dots IV''$

$\eta_m = \eta_x + (1 - \eta_x) \eta' \dots \dots \dots V''$

Приближаясь еще более к реальной действительности, необходимо допустить присутствие в генераторном газе угле-

кислоты и водорода.

Тогда в этом наиболее общем случае основные условия ведения генераторного процесса с поддувкой отработанных продуктов горения двигателя при наличии влажности в топливе получают следующий вид:

$$v(\text{CO}) + 2 v_2(\text{CO}) - 0,306 v(\text{H}_2) + 1,653 v(\text{CO}) - 0,347 \dots \dots \text{I}'''$$

$$\eta_x = 0,697 \frac{v(\text{CO}) + 2 v_2(\text{CO}) + v(\text{H}_2)}{v(\text{CO}) - v_2(\text{CO}) - v(\text{CO}_2)} \quad \text{I} \dots \text{II}'''$$

$$q = 1,5 \frac{v(\text{H}_2)}{v(\text{CO}) - v_2(\text{CO}) - v(\text{CO}_2)} \quad \text{кг.} \dots \dots \text{III}'''\text{а}$$

$$q_1 = 3,68 \frac{v_2(\text{CO})}{v(\text{CO}) + v_2(\text{CO}) + v(\text{CO}_2)} \quad \text{кг.} \dots \dots \text{III}'''\text{в}$$

$$q_2 = 2,34 \frac{v_2(\text{N}_2)}{v(\text{CO}) + v_2(\text{CO}) + v(\text{CO}_2)} \quad \text{кг.} \dots \dots \text{III}'''\text{с}$$

$$\eta' = \frac{0,076 q + 0,0208 q_1 + 0,0193 q_2}{1 - \eta_x} \dots \dots \text{IV}'''$$

$$\eta_{\text{max}} = \eta_x + (1 - \eta_x) \eta' \dots \dots \text{V}'''$$

Чтобы подойти еще ближе к действительному процессу необходимо было бы, как указывалось ранее, учесть образование метана. В виду еще не полной теоретической ясности получения его в обычных условиях, при осложнении явления в целом поддувкой, можно лишь напомнить о том, что отмечено ранее в основных предпосылках.

Обычно о количестве метана, могущего образоваться из данного сорта топлива, судят по его химическому составу, присутствие связанного водорода, конечно, характеризует до некоторой степени его количество, выделяющееся в процессе, но это не совсем так.

Образование метана в присутствии свободного водорода, выделившегося при диссоциации паров воды, вследствие влаж-

ности топлива, всегда будет иметь место в присутствии свободной углекислоты, появившейся в процессе с одной стороны - вследствие поддувки и с другой стороны - вследствие образования водорода из влаги топлива, а не только вследствие указанного наличия связанного водорода. Особенно в присутствии катализаторов углекислота уже при температурах 300-400° С является окислителем и взаимодействует с водородом по реакции $\text{C}_2 \pm 2\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, поэтому то присутствие катализатора в газогенераторном процессе весьма желательно.

Таким образом, при поддувке, кроме реакции $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$, нужно *a priori* положить, что имеет место и предыдущая реакция, и какая из них преобладает без опытного освещения говорить трудно.

Относя изучение этого вопроса в главу исследований, где будут даны в этом отношении некоторые заключения и методы, которыми по всем данным возможно получить больший выход метана из древесного угля, не применяя сложных приемов, остановим свое внимание на цифровом материале, поясняющем все изложенные в основных чертах выводы.

Итак, рассмотрим четыре основных случая:

1. Чисто воздушный процесс без впуска пара при полном отсутствии влажности углерода.
2. Паровоздушный процесс.
3. Чисто воздушный процесс с впуском отработанного газа при условии полного сгорания в цилиндрах двигателя.
4. Процесс подобный третьему, но при условии некоторой влажности топлива.

При производстве подсчетов будем пользоваться округленными цифровыми данными, употребляемыми в технической практике.

1. ВОЗДУШНЫЙ ПРОЦЕСС.

Для полного сгорания 1 кг. углерода на решетке топливника газогенератора необходимо подать 11,61 кг. воздуха, причем при сгорании выделится на каждую кг/моль:

97000 калорий: $C + O_2 = CO_2 + 97000 \text{ к|м.}$, а на 1 кг.

углерода $\frac{97000}{12} \approx 8100 \text{ кал.}$

Для нагревания воздуха, поступающего в процесс при $t = 20^\circ C$ до температуры диссоциации $\approx 1000^\circ C$.

Необходимо затратить около 2930 калорий, а именно:

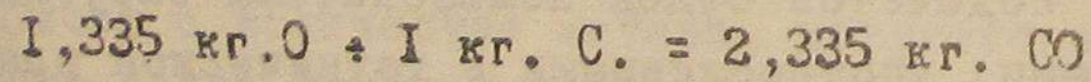
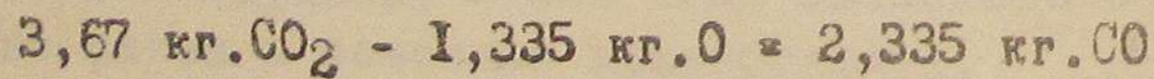
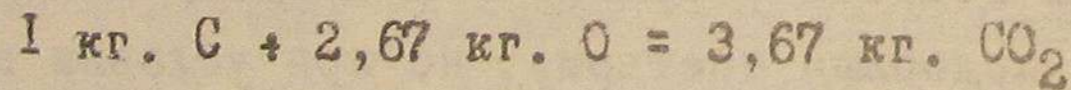
$$Q_{C_{pm}}(t_2 - t_1) = 11,61 \cdot 0,258 |1000 - 20| - 11,61 \cdot 0,258 \cdot 980 = 2930 \text{ кал.}$$

Так как диссоциация углекислоты идет согласно реакции:

$CO_2 + C = 2C - 38360 \text{ к|м}$, то на каждый килограмм углерода, сгоревшего на решетке топливника необходимо еще затратить $\frac{38360}{12} = 3200 \text{ калорий}$.

Таким образом полный расход тепла на процесс выразится суммой указанных расходов: $2930 + 3200 = 6130 \text{ кал.}$ на кг. углерода. Избыток теплоты $8100 - 6130 = 1970 \text{ калорий}$ в данном случае составляет чистую потерю.

Выход газа для воздушного процесса на 1 кг. углерода сожженного на решетке топливника газогенератора 1 кг. пошедшего на диссоциацию образовавшейся углекислоты от сжжения первого, может быть получен, согласно следующих реакций:



Всего окиси углерода 4,67 кг.

Расход углерода - 2 кг.

Принимая состав воздуха по весу - $O - 23\% N = 77\%$ определим выход газа и его теплотворную способность при $15^\circ C$ и 1 атм.

Количество азота в газе $11,61 - 2,67 = 8,94 \text{ кг.}$ | $2,67 \text{ кг.}$ расход кислорода|.

Выход газа $8,94 \text{ кг. } N_2 + 4,67 \text{ кг. } CO = 13,61 \text{ кг.}$, а по объему:

$$V_r = |8,94 + 4,67| \cdot 0,87 = 7,78 + 4,06 = 11,84 \text{ м}^3$$

$$H_r = 4,06 \cdot 2800 = 11400 \text{ кал.}$$

$$\text{на } 1 \text{ м}^3 \frac{11400}{11,84} = 960 \text{ кал.}$$

Термохимический коэффициент полезного действия $\eta_x = 0,697 \frac{V(CO)}{V(CO)} = \approx 0,7$.

Теплотермохимический коэффициент полезного действия:

$$\eta_{mx} = \eta_x + (1 - \eta_x) \eta' = \eta_x = \approx 0,7$$

Расход углерода на каждые

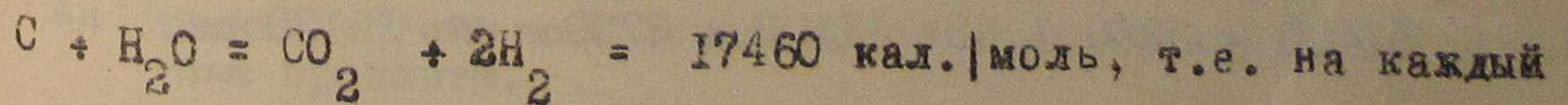
$$1000 \text{ калорий} \frac{2000}{11400} 1000 = 175,5 \text{ гр.}$$

$$\text{Экономический к. п. д. } \eta_o = \frac{H_r V_r}{Q_{H_{вр}}} = \frac{11400}{2 \cdot 8100} = 0,70$$

3. ПАРОВОЗДУШНЫЙ ПРОЦЕСС.

Практически только часть избытка теплоты воздушного процесса идет на испарение воды в газогенераторе. Для теоретического сравнительного подсчета допустим, что потери на лучеиспускание, провалы и т.п. отсутствуют, и что весь избыток тепла может быть использован на испарение воды и диссоциацию пара.

Диссоциация паров воды в присутствии углерода идет, согласно следующей реакции:



килограмм пара необходимо затратить около 970 калорий при его диссоциации, а именно: $\frac{17460}{18} = \infty 970$ кал. на 1 кг.

Полагая, что вода подается при $t = 20^{\circ}\text{C}$, нужно считать, что каждый кг. воды при 1 атм. для обращения его в пар при темп. = 100°C потребует $80 + 639,4 = 719,4$ калорий.

Если через X обозначить то количество тепла, которое может быть использовано из избытка теплоты процесса на испарение воды, обозначая тепло, необходимое для диссоциации образовавшегося пара, через 1970 - X найдем:

$$\frac{970}{719,4} = \frac{1970 - X}{X}, \text{ откуда } X = \frac{719,4 \cdot 1970}{1789,4} = 833 \text{ кал., т.е.}$$

можно испарить и разложить $\frac{833}{719,4} = 1,16$ кг. воды. При

этом выход водорода и дополнительный расход углерода найдутся из следующих реакций: известно что 1 кг. H + 8кг. O = 9 кг. H₂O, тогда

$$1,16 \text{ кг. H}_2\text{O} = 1,03 \text{ кг. O} + 0,13 \text{ кг. H}_2$$

$$1,03 \text{ кг. O} + 0,40 \text{ кг. C} = 1,43 \text{ кг. CO}_2$$

Всего водорода 0,13 кг.

Дополнительный расход углерода 0,40 кг.

Выход газа по весу:

$$4,67 \text{ кг. CO} + 8,94 \text{ кг. N}_2 + 0,13 \text{ кг. H}_2 +$$

$$+ 1,43 \text{ кг. CO}_2 = 15,07 \text{ кг.}$$

$$v_p = 4,06 + 7,78 + 1,58 + 0,79 = 11,84 + 2,37 = 14,21 \text{ м}^3$$

$$H_p = 11400 + 2360 \cdot 1,58 = 11400 + 3729 = \infty 15130 \text{ кал. на}$$

$$1 \text{ куб. мт. } \frac{15130}{14,21} = \infty 1065 \text{ кал.}$$

Состав газа в об'емных процентах :

$$\text{H}_2 - 11,1\% \text{ CO} - 28,6\%; \text{CO}_2 - 5,57\%$$

N₂ - 54,73%. Расход углерода на 1000 кал. в газе:

$$\frac{2400 \cdot 1000}{15130} = \infty 158,8 \text{ гр.}$$

$$\eta_x = 0,697 \frac{4,06 + 1,58}{4,06 + 0,79} = 0,81.$$

$$q = 1,5 \frac{1,58}{4,85} = \infty 0,49.$$

$$\eta' = 0,076 \frac{0,49}{0,19} = \infty 0,196$$

$$\eta_{\text{тх}} = 0,81 + 0,19 \cdot 0,196 = \infty 0,85$$

$$\eta_{\text{э}} = \frac{15130}{2,40 \cdot 8100} = \infty 0,77 - 0,775$$

3. ВОЗДУШНЫЙ ПРОЦЕСС С ВПУСКОМ ВМЕСТО ПАРА ОТРАБОТАННОГО ГАЗА ПРИ УСЛОВИИ ПОЛНОГО СГОРАНИЯ В ЦИЛИНДРАХ ДВИГАТЕЛЯ.-

При полном сгорании в цилиндрах двигателя окись углерода, сгорая до CO₂, уменьшает свой об'ем в два раза, составляя от смеси ее с азотом 17,35%, а по весу -

$$17,35 \cdot 1,977 = 34,3\%; \text{ тогда на азот остается}$$

$$100 - 34,3 = 65,7\%.$$

X) Взять об'емы как исчисленные более точно, чем об'емные проценты.

Определим их весовые соотношения при $T = 400^{\circ}\text{C}$ и 1 атм.

$$p v_{\text{CO}_2} = gRT; \quad v_{\text{CO}_2} = \frac{gRT}{p}$$

$$v_{\text{CO}_2} = \frac{34,3 \cdot 19,27 \cdot 670}{10.000} = 44,3 \text{ м}^3$$

$$v_{\text{N}_2} = \frac{65,7 \cdot 30,26 \cdot 670}{10000} = 133,3 \text{ м}^3$$

Удельные объемы $\gamma_{\text{CO}_2} = \frac{34,3}{44,3} = 0,775$.

$\gamma_{\text{N}_2} = \frac{65,7}{133,3} = 0,493$; таким образом при $t = 400^{\circ}\text{C}$ и 1 ат.

Состав углекислоты по весу выразится в 29,5 %, а азота 70,5 %.

Определим теперь количество тепла, потребное на нагревание 1 кг. газа указанного состава от T_1 абс. - 670° до температуры диссоциации 1400° абс. = T_2

$$q_{\text{CO}_2} C_{pm} |T_2 - T_1| = 0,295 \cdot 0,282 |1400 - 670| = \approx 61 \text{ кал.}$$

$$q_{\text{N}_2} C_{pm} |T_2 - T_1| = 0,705 \cdot 0,257 |1400 - 670| = 132 \text{ кал.}$$

Всего на 1 кг. газа - 193 кал.

Кроме того, на диссоциацию внесенной углекислоты -

$$0,295 \frac{38360}{44} = 257 \text{ кал.}, \text{ таким образом необходимо за-}$$

тратить на каждый кг. газа для его подогрева и диссоциации $193 + 257 = 450$ калорий.

При этих условиях получим количество газа, которое можно без ущерба делу допустить в процесс, а именно:

$$\frac{1970}{450} = 4,378 \text{ кг.}; \text{ из этого количества придется на азот } \approx 3,08 \text{ кг. и углекислоту } \approx 1,30 \text{ кг.}$$

Диссоциация углекислоты произойдет согласно следующих реакций:

$$1,30 \text{ кг CO}_2 - 0,472 \text{ кг. O} = 0,828 \text{ кг. CO}$$

$$0,356 \text{ кг. C} + 0,472 \text{ кг O} = 0,828 \text{ кг. CO}$$

Всего окиси углерода - 1,656 кг.

Дополнительный расход углерода - 0,356 кг.

$$6,33 \text{ кг. CO} + 12,02 \text{ кг. N}_2 = 18,35 \text{ кг. газа}$$

$$v_r = 6,33 \cdot 0,87 + 12,02 \cdot 0,87 = 5,51 + 10,46 = 15,97 \text{ м}^3$$

$$H_{\text{газ}} = 5,51 \cdot 2800 = 15400 \text{ кал.}$$

$$\text{на 1 куб. мт. } \frac{15400}{13,97} = 960 \text{ кал.}$$

Объемный состав газа $\text{CO} - 34\%$ $\text{N}_2 - 66\%$

$$\text{Расход углерода на 1000 калорий в газе } \frac{2356}{15400} \cdot 1000 = 152,5 \text{ гр.}$$

$$\eta_x = 0,697 \frac{4,06 + 1,45}{4,06 + 0,725} = 0,804 \approx 0,8$$

$$q_1 = 3,88 \frac{0,725}{4,785} = 0,56 \frac{\text{кг.}}{\text{кг.}}$$

$$q_2 = 2,34 \frac{2,68}{4,785} = 0,56 \frac{\text{кг.}}{\text{кг.}}$$

$$\eta' \approx \frac{0,02 |q_1 + q_2|}{1 - \eta_x} = \frac{0,02 \cdot 1,12}{0,196} = 0,228.$$

$$\eta_{\text{max}} = \eta_x + (1 - \eta_x) \eta' = 0,804 + 0,196 \cdot 0,228 = 0,85$$

$$\eta_3 = \frac{15400}{2,356 \cdot 8100} \approx 0,81,$$

таким образом надо считать, что 2 и 3 процессы по своим теплотермохимическим качествам равноценны: первый имеет

$\eta_{тх} - 85 \%$, второй $\eta_{тх} - 85 \%$; в отношении же экономичности третий случай имеет тенденцию к повышению, это повышение в лучшем случае доходит до 3,5 - 4 %, как и указывалось ранее.

4. ПРОЦЕСС В ВПУСКЕ ОТРАБОТАННЫХ ПРОДУКТОВ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НАЛИЧИИ ВЛАГИ В ТОПЛИВЕ.

Допустим мы имеем углерод с влажностью 12%, это равносильно тому, что на каждый килограмм углерода, сожженного на решетке топливника и 1 кг. углерода, пошедшего на диссоциацию образовавшейся углекислоты необходимо испарить 0,24 кг. воды.

При этих условиях выход водорода, как видно из предыдущих подсчетов, составит 0,0259 кг. или по объему - 0,0259 · 12,13 = 0,314 м³.

Пользуясь приведенным цифровым материалом во 2-м и 3-м случаях из сопоставления их можно получить с достаточной точностью состав газа, если известно количество водорода, а именно: вследствие того, что при увеличении в газе объемного количества водорода идет уменьшение CO и N₂ и увеличение CO₂ - следуя линейным законам, можно вычислить процентное изменение каждой из этих величин, при изменении количества водорода на 1%^x.)

Итак, получим:

$$\text{Для CO} \dots \frac{34 - 28,6}{11,10} \approx 0,5 \%$$

$$\frac{66 - 54,73}{11,10} \approx 1,00\%$$

$$\text{CO}_2 \dots \frac{5,57}{11,10} \approx 0,50 \%$$

x) Брошюра Мазинга (Инж.Мех.) Schüle Technische Thermodynamik - графики.

Исходя из этих соображений, можно с достаточной точностью предусмотреть состав получающегося газа. В данном случае получаются следующие объемные соотношения, выраженные в процентах.

$$\text{H}_2 - 2,15\% \quad \text{CO} - 32,92\% \quad \text{CO}_2 - 1,12\% \quad \text{N}_2 - 63,81\%$$

Отсюда ясно, что всякий процесс близкий к реальному при впуске отработанного газа стремится занять среднее положение по своей экономичности между паровоздушным процессом и чисто-воздушным с впуском отработанных продуктов горения, т.е. η_o такого процесса лежит в пределах от 77 до 81 %. Чем суше топливо, тем η_o больше приближается к 81 %, но тем меньше водорода в газе. Количество водорода, достаточное для получения хорошего зажигания в цилиндрах двигателя, а также и степень сжатия, не дающую при этой норме самовоспламенения может лишь установить практика.

В своих дальнейших теоретических суждениях мы можем лишь базироваться на крайних случаях. Поэтому нет никакой теоретической надобности заниматься детальными подсчетами для приведенного сейчас газа, тем более, что явление само по себе до крайности усложняется при поддувке. Поэтому приведем, как последнюю характеристику, указывающую на правильность наших умозаключений, теплотворную способность данного газа при

$$t = 15^\circ\text{C} \text{ и } 1 \text{ ат.}$$

$$H = 0,33 \cdot 2800 + 0,021 \cdot 2360 = \infty 924 + 50 = \infty 974 \text{ кал.};$$

таким образом его теплотворная способность также лежит между теплотворной способностью сухого газа с поддувкой и паровоздушного: 960 < 974 < 1065.

Просматривая все выводы предыдущих рассуждений в отношении теплотворных способностей газов на куб. мт., нельзя не обратить внимание на то, что нами получены цифры преуменьшенные по сравнению с данными практики. Объясняется это отсутствием в приведенных расчетах метана. Для

возможности применения этих выводов в дальнейших, хотя и теоретических рассуждениях, нельзя пройти мимо этого весьма важного обстоятельства, особенно при сравнении работы бензинового двигателя при переходе его на генераторный газ.

В таблице I-й приводятся четыре состава газа - для антрацита, кокса, бурого угля и торфа.

Наиболее подходящими в отношении теплотворной способности к углероду является антрацит. В этой же таблице приводятся исчисленные надбавки, обусловленные присутствием 2 % метана для газа из антрацита и кокса в размере 157 калорий на куб. мт. Поэтому учтем для наших чисто теоретических газов присутствие подобной же надбавки при практическом приложении. Это обстоятельство несколько не изменит ни предыдущих рассуждений ни правильности выводов, а только приблизит нас к конкретной действительности. Нужно кроме того оговориться, что в реальных условиях работы на древесном угле надбавка 2% CH_4 мала, но зато теоретическое CO больше; во всяком случае предоставляя решать этот вопрос практической части настоящего труда; укажем еще на одно обстоятельство.-

Надбавка 157 кал. относится ко всем теоретическим газам, кроме воздушного [табл. 2] потому, что хотя практически наличие метана и в этом случае имеет место, но не вполне, ибо предполагается, что вследствие высоких температур идет его частичное разложение. Опять таки, обращаясь к данным практики можно указать, что это не всегда имеет место и очевидно во многом зависит от силы дутья и состава топлива. Для дальнейших рассуждений последнее обстоятельство не играет никакой роли, так как чисто воздушный процесс, как весьма не экономичный не применяется.

Итак, примем теплотворные способности I куб. мт. газов при $t = 15^{\circ}C$ и I ат. за окончательные и на них будем строить все последующие рассуждения.

ПРИМЕЧАНИЕ. Коэффициенты - 84% и 87,7% исчислены, исходя из повышения теплотворной способности

Т а б л и ц а I.

Наименование топлива.	H_4	H_2	CO	CH_4	CO_2	N_2	Низшая теплотворная способность НГ кал/м. ³	Приходит-ся калорий на CH_4 .	ПРИМЕЧАНИЕ.
Антрацит	8000	24,20	16,60	2	11,2	45,90	1095-1300	157	
Кокс	7000	7,00	27,6	2	4,8	38,6	1190-1300	157	
Брикеты бурого угля	5000	26,70	15,20	2,40	11,90	43,8	1300	188	
Торф	2400	10,7	15,23	4-2	14-8	57-61	1200-1300	314 - 157.	

Т а б л и ц а 2.

Наименование газов.	Соотношение газов в об. % при t=15°C и 735,5р.с.				Принятая теплотворная способность H _г кал./м. ³	Расчетн. состав газов при t=15°C и 735,5р.с.	Теоретич. состав газов при t=15°C и 735,5р.с.						
	H ₂	CO	N ₂	CO ₂			Надбавка на СН ₄	теп-лотворная способность H _г кал./м. ³	H ₂	CO	CH ₄	N ₂	CO ₂
Чисто воздушный	-	34	66	-	157 калории	111	28,6	2	52,73	-	1222	84%	
Паро-воздушн. с воздушным с поддувкой отработан. газа.	111	28,6	54,73	557	157 калории	111	28,6	2	52,73	-	1222	84%	
Воздушн. с поддувк. отработ. газа при 12% влажности углерода.	215	28,6	66	1,07	157 калории	111	28,6	2	52,73	-	1222	84%	

ПРИМЕЧАНИЕ: а) определено исходя из 2,9% содержания в топливе связанного водорода по весу и является при этих условиях теоретической величиной предполагаемой состав топлива: C-97,10% H₂ - 2,90%, причём весь водород переходит в газ - в СН₄.

оти газа, вошедшие образования метана с учетом дополнительного расхода углерода на это образование /см. примечание к табл. 2/.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ, СПРОЕКТИРОВАННОГО НА БЕНЗИН НА ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА.

Прежде чем перейти к рассмотрению предлагаемого вопроса не бесполезно, для полноты картины, ознакомиться с теоретическими и возможными практическими составами смесей бензина и газов второго и третьего из разобранных вариантов, отбрасывая чистовоздушный газ, как не экономичный, и четвертый вариант с влажностью топлива 12%, как теоретически мало характерный, занимающий среднее положение между вторым и третьим.

Не учитывая пока что примешивания остаточных газов в цилиндрах двигателя примем, что влияние их будет для всех случаев будет равноценно в смысле понижения теплотворной способности смесей.

Рассмотрим бензиновые смеси.

Допустим, что в нашем распоряжении имеется бензин теплотворной способностью [нижней] H_н' = 10400 кал. и состава C - 86% H₂ - 14% по весу; теоретическое количество воздуха на 1 кг. для сгорания определится, согласно возражения:

$$L_{min} = \frac{24,4}{12,0,21} |C + 3H| \frac{м^3 \text{ возд.}}{1 \text{ кг. топ.}} \dots \dots \dots I$$

$$L_{min} = \frac{24,4}{12,0,21} |0,86 + 3 \cdot 0,14| = \infty 12,4 \text{ м}^3$$

В этом случае нижняя теоретическая теплотворная способность смеси, не принимая в расчет объема топлива составит:

$$\frac{10400}{12,4} = 840 \text{ кал. / м}^3$$

При коэффициенте избытка воздуха:

$$\alpha = 0,8 - \frac{10400}{12,4 \cdot 0,8} = 1050 \text{ кал. при}$$

$$\alpha = 1,1 \dots \dots \infty 760 \text{ кал.}$$

$$\alpha = 1,3 \dots \dots \infty 645 \text{ кал.}$$
$$\alpha = 1,48 \dots \dots \infty 570 \text{ кал.}$$

} Для бедных смесей.

Для определения теплотворной способности смесей газов воспользуемся формулой:

$$S_{\min} = \left\{ \frac{CO}{2} + \frac{H_2}{2} + \sum \left[\left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n \right] O_2 \right\} \frac{m^3 O_2}{m^3 \Gamma} \dots 2$$

Для паровоздушного газа состава:

$$H_2 - 11,10\% \quad CO - 28,6\%; \quad CH_4 - 2\%$$

$$N_2 - 52,73\% \quad CO_2 - 5,57\%; \quad \text{об'ем потребного кислорода получим по формуле 2.}$$

$$S_{\min} = \frac{0,286}{2} + \frac{0,1115}{2} + \left| 1 + \frac{4}{4} \right| 0,02 \frac{m^3 O_2}{m^3 \text{ газ.}}$$

$$S_{\min} = 0,143 + 0,05555 + 0,04 = 0,23850 \text{ м}^3$$

$$L_{\min} = \frac{0,23850}{0,21} = 1,136 \text{ м}^3, \text{ тогда низшая теоретическая}$$

теплотворная способность смеси при 15°C и 1 ат. составит:

$$\frac{1222}{1 + 1,136} \approx 570 \text{ кал.}$$

$$\text{при } \alpha - - - 1,25 - - 505 \text{ кал.}$$

$$\text{" } \alpha - - - 1,50 - - 454 \text{ кал.}$$

Для воздушного газа с поддувкой отработанных продуктов горения двигателя:

$$S_{\min} = \left| \frac{0,34}{2} + 0,04 \right| \frac{m^3 O_2}{m^3 \text{ газ}}$$

$$S_{\min} = 0,17 + 0,04 = 0,21 \frac{m^3 O_2}{m^3 \text{ газ.}}$$

$$L_{\min} = \frac{0,21}{0,21} = 1 \frac{m^3 \text{ возд.}}{m^3 \text{ газ.}}$$

$$\text{Теплотворная способность подобной смеси } \frac{1117}{2} = 558 \text{ кал.}$$

$$\text{при } \alpha = 1,25 \dots \dots 496 \text{ кал. при}$$

$$\alpha = 1,00 \dots \dots 447 \text{ кал.}$$

Из сопоставления полученных результатов видно, что разница в теплотворной способности смесей бензиновых и газовых весьма велика и только наиболее бедная бензиновая смесь приближается к теоретической смеси паровоздушного газа. Более интересно сопоставить газовые смеси; из сравнения видно, что разница в теплотворной способности смесей паровоздушного газа и воздушного с поддувкой отработанных продуктов горения теоретически составляет около 12 калорий, а практически при богатых смесях 9 кал. и при бедных всего лишь 7 калорий, иначе говоря, разница эта сглаживается все более и более по мере обеднения смеси.

Последнее обстоятельство лишний раз укрепляет и подтверждает в небезполезности проводимой идеи работы двигателя на бедном водородном газе с поддувкой отработанных продуктов горения в топливник газогенератора, при применении возможно бедных смесей при повышенных степенях сжатия.

Теоретические пределы повышения степени и сжатия повышаются в дальнейшем тепловыми поверочными подсчетами по методу, предложенному проф. Гриневецким.

Фактические же степени сжатия, кои получатся, будут зависеть от условий опыта, и, как будет видно из дальнейшего, для нас не играют никакой роли точные абсолютные их

величины, а лишь соотношения между ними, конечно, в известных практических пределах (не менее 3,5-4 и не более 9-10).

Поэтому, не вдаваясь в дальнейшее обсуждение возможных значений величин степеней сжатия, перейдем к тепловым поверочным расчетам, приняв для бензинового двигателя, как максимум в обычных условиях $\epsilon = 5,35$, для газового $\epsilon = 7$ и для газового с поддувкой $\epsilon = 9$, и покажем, что эти степени сжатия действительно являются наибольшими и обусловлены температурными пределами существования данных смесей.

ПРИМЕЧАНИЕ. В отношении допускаемых степеней сжатия для бензиновых двигателей пришлось отойти с некоторой неопределенностью, ибо *Guldner* дает для них $\epsilon \approx 35$, а проф. Синеуцкий для двигателей с чугунным поршнем от 4,8 до 5,8 в нормальных условиях. Поэтому путем пересчета было определено $\epsilon = 5,35$, как величина степени сжатия, при коей T_c не выходит из нормы максимума для бензина 500°abs .

I. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ.

Степень сжатия $\epsilon = 5,35$; температура в конце всасывания $T_a = 330^\circ$. Давление в конце всасывания $p_a = 0,8$ ат.

Давление выхлопа - $p_z = 1,05$ ат.

Температура выхлопа - $T_z = 900^\circ$

К-т наполнения - $\eta_e = 0,80$

К-т остаточных газов при этих условиях:

$$\gamma = \frac{1}{0,80 | 5,35-1 |} \frac{1,05 \cdot 330}{0,8 \cdot 900} = \frac{346,5}{2505} = 0,138$$

Определим суммарную теплоемкость газов после сгорания бензина состава $C = 86\%$; $H = 14\%$ при $v = const$.

Для двухатомных газов средние молекулярные теплоемкости выражаются следующими формулами:

$$\text{Для } H_2, N_2, O_2 \text{ и } CO - C'_{mv} = 4,625 + 0,00053 T$$

$$\text{Для } CO_2 - - - C''_{mv} = 6,774 + 0,00189 T$$

$$\text{для паров } H_2O - C'''_{mv} = 4,72 + 0,00214 T$$

Количество воздуха, потребное для сгорания 1 кг. бензина при $\alpha = 1$ получается согласно общей формулы для данного химического его состава:

$$L' = \left| \frac{C}{12} + \frac{H}{4} \right| \frac{\alpha}{0,21}$$

$$L' = \frac{0,0717 + 0,035}{0,21} = 0,5081 \text{ кг/моль воздуха.}$$

Количество образовавшихся кг.молекул углекислоты и паров воды $M'' = \frac{C}{12} = \frac{0,86}{12} = 0,0717$ кг.мол.

$$M''' = \frac{H}{2} = \frac{0,14}{2} = 0,07 \text{ кг.мол.}$$

Так как водород заключается в жидком топливе, то происходит увеличение объема или увеличение числа газовых молекул, а именно:

$$\Delta M = + \frac{H}{4} = 0,035 \text{ кг.мол.}$$

Число кг.молекул двухатомных газов определится из общего уравнения:

$$M^I + M'' + M''' = L' + \Delta M \quad \text{или}$$

$$M^I = | L' + \Delta M | - | M'' + M''' | = | 0,5081 + 0,035 | - | 0,0717 + 0,07 | = 0,4014 \text{ кг.мол.}$$

Коэф. молекулярного изменения, т.е. отношение числа газовых молекул в продуктах горения к их общему числу перед сгоранием получим по известному выражению:

$$\beta = 1 + \frac{M}{L'(1+\gamma)} = 1 + \frac{0,035}{0,5081 \cdot 1,138} = \approx 1,065$$

Суммарная средняя теплоемкость газов может быть представлена как выражение вида: $A + BT$, а именно:

$$C_{mv} = 0,0717 | 6,774 + 0,00189 T | + 0,4014 (4,625 + 0,00053 T) + 0,07 | 4,72 + 0,0024 T | = 2,674 + 0,5162 \frac{T}{1000};$$

тогда уравнение горения при коэффициенте выделения тепла $\psi = 0,85$ примет следующий вид:

$$-Q = -\psi H'_u = | 1 + \frac{\gamma}{\beta} | | A + BT_c | T_c + | 1 + \frac{\gamma}{\beta} | | A + BT_z | T_z,$$

где $H'_u = 10400$ кал./кг. - низшая теплотворная способность топлива

T_c - температура сжатия

T_z - конечная температура вспышки.

Определим p_c и T_c при показателе политропы сжатия

$$n_1 = 1,35.$$

$$p_c = p_a \epsilon^{n_1}; \quad \lg \frac{p_c}{p_a} = 1,35 \lg 5,35$$

$$p_c = 0,8 \cdot 9,63 = \approx 7,70 \text{ ат.}$$

$$T_c = T_a \epsilon^{n_1 - 1}; \quad \lg \frac{T_c}{T_a} = 0,35 \lg 5,35;$$

$$T_c = 330 \cdot 1,80 = 594^\circ < 600^\circ.$$

Таким образом, T_c почти совпадает с наивысшим температурным пределом существования бензиновой смеси. Подставляя в уравнение горения найденные и обусловленные величины, определим из него путем последовательных приближений конечную теоретическую температуру вспышки T_z .

$$0,85 \cdot 10400 + | 1 + \frac{0,138}{1,065} | | 2,674 + 0,5162 \frac{594}{1000} | 594 =$$

$$= | 1 + \frac{0,132}{1,065} | | 2,674 + 0,5162 \frac{T_z}{1000} | T_z;$$

$$10840 = | 3,20 + 0,635 \frac{T_z}{1000} | T_z; \quad \text{откуда } T_z = \approx 2300^\circ,$$

тогда конечное давление сгорания -

$$p_z = \beta p_c \frac{T_z}{T_c} = 1,065 \cdot 7,70 \frac{2300}{594} = \approx 31,8 \text{ ат.}$$

Вводя поправку на замедление сгорания, обозначая через

v_h - объем описываемый поршнем,

v_c - объем сжатия и через

v_z - объем, соответствующий моменту наибольшего повышения давления, - вследствие замедления сгорания получим:

$$v'_z - v_c = \gamma v_h \quad \text{где } \gamma \text{ примем } - 0,10 \text{ и так как}$$

$$v_c = \frac{v_h}{\epsilon - 1} = 0,23 v_h, \quad \text{то } v'_z = 0,23 v_h + 0,10 v_h =$$

$$= 0,33 v_h - \text{тогда}$$

$$\lg \frac{p_z}{p'_z} = 1,30 \lg \frac{0,33}{0,23} = 1,30 \lg 1,435^x)$$

$$\lg \frac{p_z}{p'_z} = \lg 1,60; \quad p'_z = \frac{31,8}{1,60} = \approx 20 \text{ ат.}$$

Исправленная температура T получается из политропы расширения:

$$T'_z = T_z \epsilon^{1 - n_2}; \quad \frac{T_z}{T'_z} = 0,30 \lg \frac{0,33}{0,23} = \lg 1,113$$

$$T'_z = \frac{2300}{1,113} = \approx 2070^\circ; \quad t'_z = \approx 1800^\circ \text{C.}$$

Давление и температура в конце расширения определяются из уравнений политропы расширения:

x) Так как $p'_z = p_z \frac{1}{\epsilon^{n_2}}$ или

$$p_z = p'_z \left| \frac{v'_z}{v_z} \right|^{n_2}; \quad \frac{p_z}{p'_z} = \left| \frac{v'_z}{v_z} \right|^{n_2}$$

где $n_2 = 1,30.$

$$\lg \frac{p_z}{p_e} = 1,30 \lg 5,35; \quad p_e = \frac{31,8}{9,78} \approx 3,25 \text{ ат.}$$

$$\lg \frac{T_z}{T_e} = 0,30 \lg 5,35; \quad T_e = \frac{2300}{1,66} \approx 1385^\circ$$

$$t_e = 1112^\circ\text{C.}$$

Теоретическое среднее индикаторное давление может быть найдено, как алгебраическая сумма работ политропических изменений при показателях политроп сжатия и расширения n_1 и n_2 .

Для двигателя быстрого сгорания среднее индикаторное давление выражается таким образом:

$$P_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left\{ \frac{P_z}{P_c} \cdot \frac{1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}}}{n_2 - 1} - \frac{1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}}}{n_1 - 1} \right\}$$

Подставляя сюда соответствующие величины получим:

$$P_i = \frac{7,70}{4,35} \left| \frac{31,8}{7,70} \cdot \frac{1 - \frac{1}{5,35^{0,30}}}{0,30} - \frac{1 - \frac{1}{5,35^{0,35}}}{0,35} \right|$$

$$P_i = \frac{7,70}{4,35} \left| \frac{31,8}{7,70} \cdot 1,33 - 1,26 \right| =$$

$$= \frac{31,8 \cdot 1,33}{4,35} - 1,26 \cdot 1,77 = 9,73 - 2,23 = 7,5 \text{ ат.}$$

Эта величина больше действительной, вследствие замедления сгорания, сопротивлений выталкивания и всасывания, поэтому действительное среднее индикаторное давление:

$$P_i' = \mu p_i - \Delta p, \quad \text{где}$$

$$\Delta p = p_z - p_a = 1,05 - 0,8 = 0,25$$

μ - от 0,95 - 0,85 - оценивая

$\mu = 0,95$ и $\Delta p = 0,25$, получим:

$$P_i' = 0,95 \cdot 7,5 - 0,25 = 6,88 \text{ ат. } x)$$

Найдем расход топлива, а также индикаторный и эффективный коэффициенты полезного действия, т.е. те величины, которые нас наиболее будут интересовать при постановке опытов.

Расход топлива на инд. $\frac{c}{z}$

$$C_i = 9220 \frac{P_o}{T_o} \frac{\eta_e}{p_i' L}$$

где L - количество воздуха в м³, потребное для сгорания 1 кг. бензина, тогда

$$C_i = 9220 \frac{1}{290} \cdot \frac{0,8}{6,88 \cdot 0,5081 \cdot 28,35} = 0,25 \text{ кг. } \frac{c}{z}$$

$$\text{расход тепла горючего } q_i = 0,25 \cdot 10400 = 2600 \text{ кал. } \frac{c}{z}$$

$$\eta_i = \frac{632}{2600} \approx 0,243, \text{ принимая в лучшем случае } \eta_{\text{мех}} = 0,85,$$

расход топлива на эф. с. ч.: составит

$$C_e = \frac{0,25}{0,85} \approx 0,294 \text{ кг. } \frac{c}{z}, \text{ тогда}$$

$$\eta_{\text{эф.}} = \frac{632}{0,294 \cdot 10400} \approx 0,207.$$

Güldner [изд. 1922 г.] стр. 80 и 81. Tafel II. приводит для бензиновых двигателей при PS_e от 5 до 25 для бензина 11000 калорий на кг. и α от 1,3 до 1,48 расходы горючего на эф. с. ч. от 0,29 до 0,25 кг. и $\eta_{\text{эф}}$ от 0,20 до 0,23.

Таким образом, исходя из данных практики, оценивая полученный результат теплового подсчета, нужно сказать, что в данном случае по полученным результатам он ближе

x) Güldner дает практически для $\varepsilon \approx 3,5$
 $P_i' \approx 5.$

подходит к мощности 5HP, хотя вообще он не зависит от мощности, а лишь от выбора подходящих к данному случаю коэффициентов. Так как для исследования берется двигатель с автоматическими всасывающими клапанами $N_{эф.}$ 4-5 HP, то нужно ожидать, что $\eta_{эф.}$ понизится при практической постановке вопроса при соответственном уменьшении η_e , а также увеличении Δp и прочих сопротивлений.

2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ДЛЯ ТОГО-ЖЕ ДВИГАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА ПАРОВОЗДУШНОМ ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ.

Примем в основу расчета:

$E = 7; T_a = 330^{\circ}; P_a = 0,8 \text{ ат}; P_e = 1,05 \text{ ат.}$

$T = 750^{\circ}; \eta_e = 0,8.$

K -т остаточных газов:

$$\gamma = \frac{1}{0,8 |7-1|} = \frac{1,05 \cdot 330}{0,8 \cdot 750} = \approx 0,12.$$

Состав газа:

$H_2 = 11,10\%; CO = 28,60\%; CH_4 = 2\%$

$N_2 = 52,73\%; CO_2 = 5,57\%$

$$L_{min} = \frac{1 |2 |CO+H_2| + 2 CH_4}{0,21} = 1,15 \frac{\text{кг. мол. возд.}}{\text{кг. газ.}}$$

при α ср. = 1,35 . х)

$$L' = 1,35 \cdot 1,15 = 1,55 \frac{\text{кг. возд.}}{\text{кг. газа}}$$

Для $CO_2 - M''' = CO_2 + CO + CH_4 = 0,0557 + 0,286 + 0,02 = 0,3617 \text{ кг. мол.}$

Для паров $H_2O . M''' = H_2O + 2CH_4 = 0,1110 + 0,04 = 0,1510 \text{ кг. мол.}$

х) *Guldner* дает - от 0,9 - 1,5
Синеуцкий 1,25 - 1,6.

$$\Delta M = \frac{1}{2} |CO+H_2| = \frac{1}{2} |0,286 + 0,1110| = 0,20$$

$$M' + M'' + M''' = |I + L'| + \Delta M, \text{ откуда}$$

$$M' = |I + L'| + \Delta M - |M'' + M'''|$$

$$M' = 2,54 - 0,1985 - |0,3617 + 0,1510| = \approx 1,8288 \text{ кг.}$$

$$C_{mv} = 1,8288 |4,625 + 0,00053 T| + 0,3617 |6,774 + 0,00189 T| + 0,1510 |4,72 + 0,00247 T| = \approx 11,64 + 2,05 \frac{T}{1000}$$

$$H'_u = 68090 \cdot CO + 57670 \cdot H_2 + 190570 \cdot CH_4 \frac{\text{кал.}}{\text{кг. мол.}}$$

$$H'_u = 68090 \cdot 0,286 + 57670 \cdot 0,1110 + 190570 \cdot 0,02 = 29680 \frac{\text{кал.}}{\text{мол.}}$$

Коэффициент молекулярного изменения:

$$\beta = 1 + \frac{CO + H_2}{2 |I + L'| \cdot |I + \gamma|} = 1 + \frac{0,286 + 0,1110}{2 \cdot 2,54 \cdot 1,12} = 1,069,$$

полагая $n_1 = 1,35; n_2 = 1,30$

при $\psi = 0,85$, получим:

$$\lg \frac{P_c}{P_a} = 1,35 \lg 7; P_c = 0,8 \cdot 13,85 = 11,10 \text{ ат.}$$

$$\frac{T_c}{T_a} = 0,35 \lg 7 = 1,98;$$

$$T_c = 1,98 \cdot 330 \approx 655^{\circ} \text{ абс.} < 670^{\circ}.$$

Уравнение горения:

$$0,85 \cdot 29680 + |1 + \frac{0,12}{1,069}| |11,64 + 2,05 \frac{655}{1000}| \cdot 655 = |1 + \frac{0,12}{1,069}| |11,64 + 2,05 \frac{T_2}{1000}| T_2;$$

$$25228 + 1,12 \cdot 8490 = 1,12 \cdot 11,64 + 2,05 \frac{T_z}{1000} | T_z;$$

$$34736 = 1,12 \cdot 11,64 + 2,05 \frac{T_z}{1000} | T_z.$$

$$T_z \approx 1970^{\circ} \text{abs.}$$

$$P_z \approx \beta P_c \frac{T_z}{T_c} = 1,069 \cdot 11,1 \frac{1970}{655} \approx 35,6 \text{ ат.}$$

вводим поправку на замедление сгорания:

$$v'_z - v_c = 0,07 v_h; v_c = v_h \frac{1}{7-1} = 0,167 v_h$$

$$v'_z \approx 0,24 v_h.$$

Для политропы расширения имеем:

$$\lg \frac{P_z}{P'_z} = 1,30 \lg \frac{0,24}{0,167} - 1,30 \lg 1,44 = \lg 1,60$$

$$P'_z = \frac{35,6}{1,60} \approx 22 \text{ ат.}$$

Получаем T'_z из уравнения политропы расширения

$$\lg \frac{T_z}{T'_z} = 0,30 \lg \frac{0,24}{0,167} = \lg 1,12$$

$$T'_z = \frac{1970}{1,12} \approx 1760^{\circ} \quad t'_z \approx 1490^{\circ} \text{C}$$

$$\lg \frac{P_z}{P_e} = \frac{35,7}{12,60} \approx 2,8 \text{ ат.}$$

температура в конце расширения:

$$\lg \frac{T_z}{T_e} = 0,30 \lg 7 = \lg 1,79$$

$$T_e = \frac{1970}{1,79} \approx 1100^{\circ} \quad t_e = 830^{\circ} \text{C}$$

Среднее индикаторное давление:

$$P_i = \frac{11,1}{7-1} \left| \frac{35,6}{11,1} \frac{1 - \frac{1}{7^{0,30}}}{0,30} - \frac{1 - \frac{1}{7^{0,35}}}{0,35} \right|$$

$$P_i = \frac{11,1}{6} \left| \frac{35,4}{11,1} - 1,48 - 1,42 \right| = 8,77 - 2,63 = \approx 6,14 \text{ ат.}$$

Вводим поправку на ср. инд. давление, оценивая $\mu = 0,85$, вследствие больших затрат на всасывание $\Delta p = 0,25$.

$$P'_i = 0,85 \cdot 6,14 - 0,25 = 4,96 \text{ ат.}$$

Определение расхода газа и коэффициентов полезного действия η_i и $\eta_{эф}$

$$C_i = 7500 \frac{P_0}{T_0} \frac{\eta_e}{P_i | 1 + L' |}$$

$$C_i = 7500 \frac{1}{290} \frac{0,80}{4,96 \cdot 2,55} \approx 1,64 \text{ м}^3$$

$$H'_u = 1222 \text{ кал. на м}^3.$$

$$q_i = 1,64 \cdot 1222 = 2000 \text{ кал.}$$

$$\eta_i = \frac{632}{2000} = 0,317;$$

$$C_e = \frac{1,664}{0,80} = 2,05 \text{ м}^3, \text{ где } \eta_{мех} = 0,80,$$

вследствие увеличения сопротивлений от большей работы сжатия

$$q_e = \frac{1,64 \cdot 1222}{0,80} = 2510 \text{ кал.}$$

$$\eta_{эф} = \frac{632}{2510} = 0,252.$$

Коэффициент полезного действия установки при η_0 газо-генератора в 84 % без потерь на лучеиспускание, провалы

и проч. составит: $0,252 \cdot 0,84 = 0,212$

Потери на лучеиспускание, провалы и проч. колеблются обычно от 10 - 15 %, тогда коэффициент полезного действия газогенератора в лучшем случае выразится в 75%..^{х)} и тогда экономический коэффициент полезного действия установки может составить - 18%, действительно:

$$0,74 \cdot 0,252 \cdot 100 = \approx 18,6 \%$$

Guldner в этом отношении для силового газа дает цифры от 14% до 22% для мощностей от 10 до 22 лощ.сил, с учетом коэффициента полезного действия газогенератора.

Для тех же мощностей, но без этого учета $\eta_{эф}$ определяются от 19 до 29 % (приводя $\eta_{эф}$ к газу).

3. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТОГО ЖЕ ДВИГАТЕЛЯ, НО РАБОТАЮЩЕГО НА ВОЗДУШНОМ ГАЗЕ С ПОДДУВКОЙ ОТРАВЛЕННЫХ ПРОДУКТОВ ГОРЕЧИЯ.

В виду теоретически полного отсутствия водорода в газе, степень сжатия в этом случае может быть еще больше повышена по сравнению с предыдущим случаем. Температурные пределы существования CO и CH₄ в присутствии кислорода и воздуха определяются 650°С или 920°абс.; для водорода же - таковые составляют 585°С или 855°абс., т.е. в первом случае для CO и CH₄ они выше в 1,08 раза.

Практически степень сжатия для газового двигателя определяется температурным пределом в 670° абс., при условии пользования газом с значительным содержанием водорода [более 12%].

Исходя из теоретического состава газа, не разрешая этого вопроса в отношении возможных изменений при практическом приложении, имеются все основания в данном случае допустить $T_c < 670 \cdot 1,08$, т.е. $T_c < 724^\circ$ абс. при

^{х)} Guldner - дает от 60 до 75%.

этом условии может допустить $E = 9$, действительно: при $T_0 = 330$ абс.

$$\lg \frac{T_c}{T_a} = 0,35 \lg 9 = \lg 2,16$$

$$T_c = 2,16 \cdot 330 = 712 < 723.$$

Произведем подобный же тепловой подсчет, что и для 2-го случая; итак имеем начальные условия:

$$T_a = 330 ; \quad E = 9 ; \quad p_a = 0,8 \text{ ат.}$$

$$p_z = 1,05 \text{ ат.}; \quad T_z = 750^\circ ; \quad \eta_e = 0,80 ;$$

$$\gamma = \frac{1,05 \cdot 330}{0,8 \cdot 8 \cdot 0,8 \cdot 750} = 0,09 ;$$

Состав газа:

$$CO - 34\% ; \quad CH_4 - 2\% ; \quad N_2 - 64 \%$$

$$L_{min} = \frac{1}{2} \frac{CO + 2CH_4}{0,21} = \frac{0,5 \cdot 0,34 + 2 \cdot 0,02}{0,21} = 1 \frac{\text{кг.м.возд.}}{\text{кг.м.газ}}$$

при $\alpha = 1,35$.

$$L' = 1,35 \cdot 1 = 1,35 \frac{\text{кг.м.воз.}}{\text{кг.м.газ}}$$

$$M'' = CO + CH_4 = 0,34 + 0,04 = 0,36 \text{ кг.мол.} CO_2$$

$$M''' = 2CH_4 = 0,04 \text{ кг. паров воды.}$$

$$M = \frac{1}{2} CO = - 0,5 \cdot 0,34 = - 0,17$$

$$M' = |1 + L'| + \Delta M - |M'' + M'''|$$

$$M' = 2,35 - 0,17 - |0,36 + 0,04| = 1,78 \text{ кг. |мол.}$$

$$C_{mv} = 1,78 |4,625 + 0,00053 T| + 0,36 |6,774 + 0,00189 T| + 0,04 |4,72 + 0,00247 T| = |10,85 + 1,63 \frac{T}{1000}| ;$$

$$H'_u = 68090 \cdot 0,34 + 190570 \cdot 0,02 = \approx 26962 \frac{\text{кДж}}{\text{мол.}}$$

$$\beta = 1 + \frac{0,34}{2|1+1,35| |1+0,09|} = 1 + \frac{0,34}{5,125} \approx 1,066$$

при $n_1 = 1,35$

$$\lg \frac{P_c}{P_a} = 1,35 \lg 9; P_c = 0,8 \cdot 19,50 = 15,60 \text{ ат.}$$

$$\lg \frac{T_c}{T_a} = 0,35 \lg 9 = \lg 2,16$$

$$T_c = 2,16 \cdot 330 \approx 712 < 723. \quad t_c \approx 453^\circ \text{C.}$$

Уравнение горения при $\psi = 0,85$

$$0,85 \cdot 26962 \div \left| 1 + \frac{0,09}{1,064} \right| \left| 10,85 + 1,63 \frac{712}{1000} \right| \cdot 712 =$$

$$= \left| 1 + \frac{0,09}{1,064} \right| \left| 10,85 + 1,63 \frac{T_z}{1000} \right| \cdot T_z.$$

$$32390 = 1,085 \left| 10,85 + 1,63 \frac{T_z}{1000} \right| \cdot T_z, \text{ откуда}$$

$$T_z \approx 2100^\circ.$$

$$P_z = \beta P_c \frac{T_z}{T_c} = 1,066 \cdot 15,6 \frac{2100}{712} \approx 49 \text{ ат.}$$

Внося поправку на замедление сгорания, получим:

$$v'_z - v_c = 0,07 v_h; \quad v_c = v_h \frac{1}{\psi - 1} = 0,125 v_h$$

$$v'_z = 0,195 v_h, \text{ тогда при } \eta_2 = 1,30$$

$$\lg \frac{P}{P} = 1,30 \lg \frac{0,195}{0,125} = \lg 1,78$$

$$P'_z = \frac{49}{1,78} \approx 27,5 \text{ ат.}$$

T'_z - определится из тех же соображений

$$\lg \frac{T_z}{T'_z} = 0,30 \lg \frac{0,195}{0,125} = \lg 1,14$$

$$T'_z = \frac{2100}{1,14} \approx 1840^\circ \quad t'_z = 1570^\circ \text{C.}$$

Давление в конце расширения:

$$\lg \frac{P_z}{P_e} = 1,30 \lg 9 = \lg 17,40$$

$$P_e = \frac{49}{17,40} \approx 2,8 \text{ ат.}$$

Температура в конце расширения:

$$\lg \frac{T_z}{T_e} = 0,30 \lg 9 = \lg 1,93$$

$$T_e = \frac{2100}{1,93} = 1090^\circ \quad t_e = 820^\circ \text{C.}$$

Среднее индикаторное давление -

$$P_i = \frac{15,60}{9 - 1} \left| \frac{49}{15,60} \frac{1 - \frac{1}{9^{0,30}}}{0,30} - \frac{1 - \frac{1}{9^{0,35}}}{0,35} \right|$$

$$P_i = \frac{15,60}{8} |3,14 \cdot 1,60 - 1,53| =$$

$$\approx 9,80 - 2,98 = 6,82 \text{ ат.}$$

$$P'_i = 0,85 \cdot 6,82 - 0,25 = 5,55 \text{ ат.}$$

Определение расхода горючего и коэффициентов полезн. действия η_i и $\eta_{эф}$.

$$C_i = 7500 \frac{1}{290} \frac{0,8}{5,55 \cdot 2,35} \approx 1,59 \text{ м}^3$$

$$q_i = 1,59 \cdot 1117 = 1775 \text{ кал.}$$

$$\eta_i = \frac{632}{1775} = \approx 0,356,$$

$$C_c = \frac{1,59}{0,75} = \approx 2,12 \text{ м}^3 \quad \eta_{\text{мех}} = 0,75 - \text{ ввиду повы-}$$

шения потерь по сравнению с предыдущим случаем:

$$q_e = 1117 \cdot 2,12 = 2368 \text{ кал}$$

$$\eta_{\text{эф.}} = \frac{632}{2368} = 0,267, -$$

при η_e для газогенератора с поддувкой отработанных про-
дуктов горения двигателя без учета потерь в 27,7%

$\eta_{\text{уст.}} = 0,877 \cdot 0,267 = \approx 0,234$, а с учетом потерь
также, как и в предыдущем случае.

$$\eta_{\text{уст}} = 0,88 \cdot 0,877 \cdot 0,267 \cdot 100 = \approx 20,6\%$$

Сопоставляя результаты 2-го и 3-го тепловых расчетов
в отношении экономии получим, что эта экономия
на топливе может составить $\approx 10\%$, а именно:

$$\frac{0,206 - 0,186}{0,206} \cdot 100 = 10,40\%.$$

В таблице 3 для наглядности сведены интересующие
нас коэффициенты, из сопоставления коих можно заключить,
что при известных условиях коэфф. пол. действия уста-
новки для 3 случая может приблизиться к коэфф. пол. действ.
бензинового двигателя и, кроме того при ведении газогенераторного
процесса по способу, указанному в п. 3 таблицы, нужно ожидать экономии
на угле около 10%. Необходимо упомянуть, что на эту экономию нельзя
смотреть, как на величину безусловную, ибо она может быть больше или
меньше или равна исчисленной, в зависимости от преобладающих
обстоятельств в обстановке работы данного двигателя, его конструкции
и т. п.

Кроме того ведь и сам тепловой расчет зависит от мно-
гих условностей в отношении выбора коэффициентов, хотя
бы $\eta_{\text{мех}}$ (не говоря о начальных условиях); так напр.: для
трех разобранных случаев $\eta_{\text{мех}}$ принималось 0,85, 0,80
и, наконец, 0,75; - последний взят уже из верхнего пре-
дела $\eta_{\text{мех}}$ - для двигателей Дизеля, т.е. имеющих $E = 10-12$,
этот коэффициент может быть и более 0,75, а тогда и
экономия будет больше.

Таким образом исчисленную экономию в 10% надо считать,
как среднюю величину, могущую получить и опытное подтвер-
ждение, а не являющуюся лишь пределом теоретических воз-
делений, тем более, что теоретическую теплотворную спо-
собность газа в 1117 кал./м³ при поддувке нельзя считать
пределом наших пожеланий, она может быть и выше, правда
при другом составе газа.

В действительных условиях наверное бензиновый двига-
тель обычного типа не будет иметь $E = 5,35$, и при пере-
воде его на паровоздушный газ вряд-ли удастся получить
 $E = 7$, по причинам или преждевременного воспламенения водо-
рода при недостаточном охлаждении газа [температура его
может быть 120-150°C], или же в силу конструктивных осо-
бенностей бензинового двигателя. Можно также *à priori*
сказать, что наверно не удастся получить и $\epsilon \approx 9$ для
тех же условий для сравнительно бедного водородом генера-
торного газа с поддувкой [H₂ от 2 - 5%] по тем же самым
причинам.

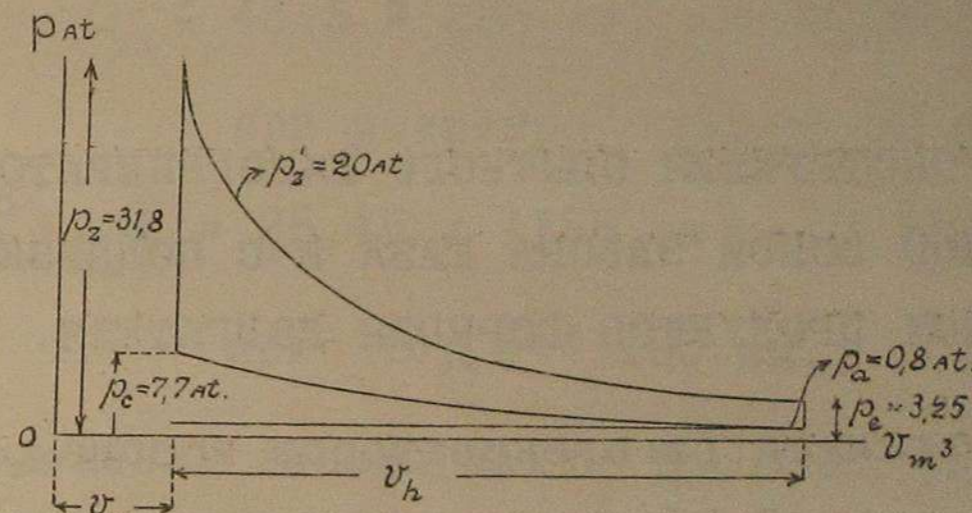
Но, во всяком случае, ни одна из указанных причин не
представляет непреодолимых затруднений при конструирова-
нии нового газового двигателя, как в отношении желаемых
степеней сжатия, так и в отношении температур всасываемо-
го газа.

Для бензинового двигателя современной конструкции [при
возможности изменять E], какие бы ни были степени сжатия
и температуры всасываемого газа, всегда в условиях испы-
тания наметится резкая грань между E для паро-воздушного
газа и воздушного с поддувкой, т.е. всегда будет существо-

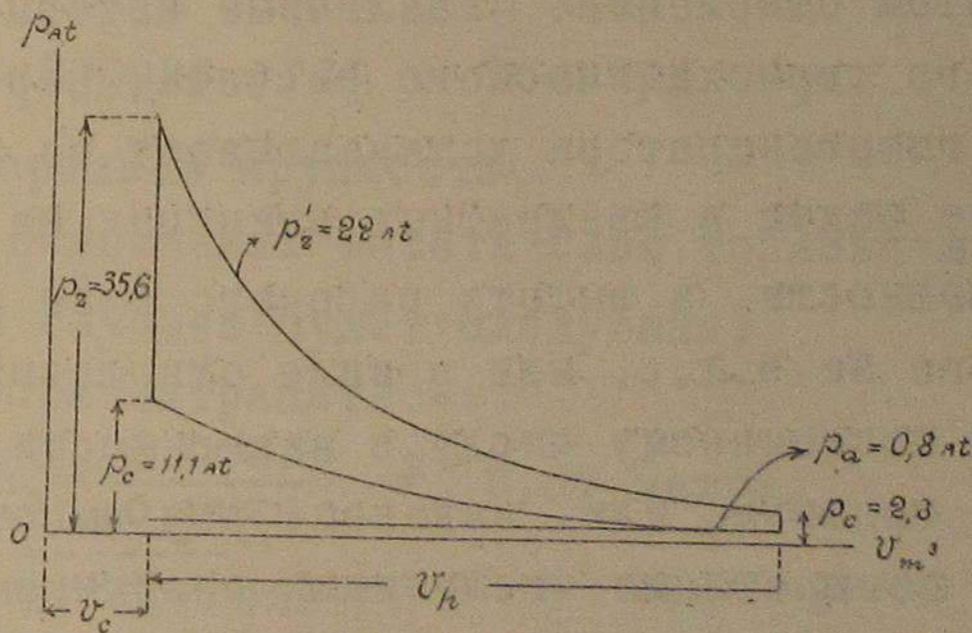
Т а б л и ц а 3.

Установки.	теоретические к. п. д.		исправленные по практ. к. п. д.		к. п. д. по Гольднеру практич.		ПРИМЕЧАНИЕ.
	η_z	$\eta_{эф}$	$\eta_{эф}$	$\eta_{уст}$	$\eta_{эф}$	$\eta_{уст}$	
1. Бензиновый двигатель.	-	<u>0,207</u>	-	-	0,20 - 0,23	-	
2. Газогенераторн. (паровоз-дун.)	0,84	0,252	0,252	0,186	0,19 - 0,26	0,14 - 0,22	
3. Газогенераторн. с поддувкой отработавшего газа.	0,877	0,267	0,267	0,206	-	-	

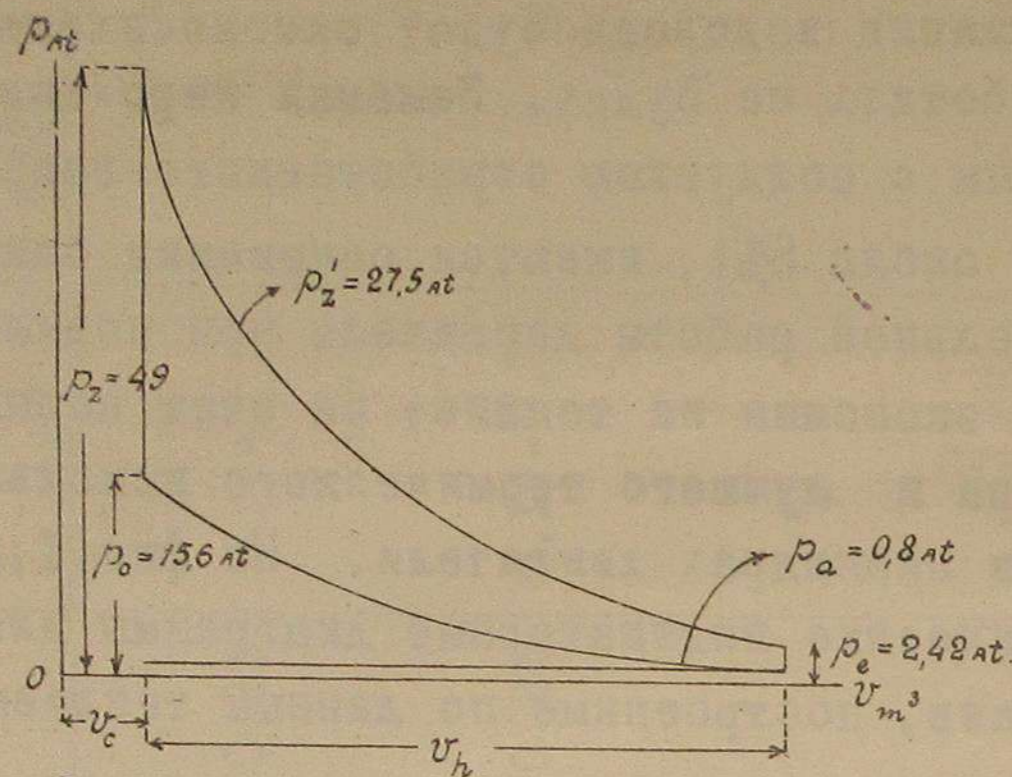
вать такая степень сжатия, когда генераторный газ с 12-18% содержания водорода будет самовоспламеняться и двигатель работать не будет. Заменяя паро-воздушный процесс воздушным с поддувкой отработанного газа [содержание водорода около 5%], имеются основания ожидать вполне удовлетворительной работы двигателя при повышенных ϵ и, кроме того, экономии на топливе за счет повышения η_z газогенератора и лучшего термического использования тепла горючего в цилиндрах двигателя. На фиг. 1, 2 и 3 приводятся теоретические индикаторные диаграммы для трех разобранных случаев, построенные по данным тепловых подсчетов.



Фиг. 1. Теоретическая инд. диаграмма работы двигателя на бензине. ($\epsilon = 5,35$).



Фиг. 2. Теоретическая инд. диаграмма работы двигателя на газе ($\epsilon = 7$).



Фиг. 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНД. ДИАГРАММА РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ НА ГАЗЕ. ($\epsilon = 9$).

РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ ОПЫТНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА С ПЕРЕМЕННОЙ ЗОНОЙ ЗАВОРА ГАЗА И С ПОДДУВКОЙ ОТРАВСТАННЫХ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ.

В отношении расчета газогенераторов вообще, при ознакомлении с литературой по этому вопросу, невольно приходит мысль, что, несмотря на достаточный опыт, правда для стационарных установок, еще не имеется до сего времени вполне определенной и ясной последовательности или вернее системы в этом отношении. Различные авторы, после весьма подробного термохимического расчета, переходя к расчету самого газогенератора устанавливают по данным практики сечение шахты в квадратных единицах на э. л. с. номинальной мощности, а высоту рабочего слоя топлива или по объему его на э. л. с. или в виде отношения диаметра к некоторому постоянному числу, в зависимости от сорта применяемого топлива, или, наконец, эту высоту выражают прямо вполне конкретными численными величинами, в зависимости от сорта горючего и крупности его кусков. ^{х)}

х) Güldner. Verbrennungskraftmaschinen und Kraftgas-Anlagen III Aufl. 1922.
A. Witz. Motoren a Gas t. 1. 1923.

Действительно, Güldner [Гюльднер] в отношении конструктивных основных размеров исходит из дутьевой тяги в паровых котлах, применяя ее достоинства в отношении сопротивлений и выхода газа к газогенераторам.

Исходя из этих соображений, им рекомендуются отправные средние расчетные величины для сечения шахты [нижней части] газогенератора на I э. л. с. номинальной мощности двигателя от 40 до 50 кв. см.

Применим эти средние данные к расчету легкого газогенератора для двигателей в 5 и 25 НР.

Тогда, обозначая сечение шахты через "q" для каждого из этих случаев получим:

Для 5НР $q_5 = 45.5 = 225 \text{ см}^2$ или $0,0225 \text{ м}^2$
при диаметре $d_5 \approx 80 \text{ мм}$.

Для 25 НР $q_{25} = 25.45 = 1125 \text{ см}^2 = 0,1125 \text{ м}^2$
при $d_{25} \approx 190 \text{ мм}$.

Для определения высоты шахты Güldner [Гюльднер], исходя от расхода тепла в двигателе и теплосодержателя единицы объема топлива при загрузке на 3-4 часа дает рабочий объем шахты на I э. л. с. по меньшей мере:

- Для антрацита - 3 литра
- " кокса - 5 литр
- " бурого угля - 5 литр

при кусках средней крупности.

На этих основаниях высота слоя топлива для рассматриваемых нами случаев будет следующая:

Для 5НР при антраците -
$$h_5 = \frac{0,003.5}{0,0225} = 0,67 \text{ метра,}$$

цесса, в. I, 1922 г.

Инж. мех. Мазинг. Отдельн. оттиск.

Применение антрацита для двигателей внутреннего сгорания.

при коксе или буром угле:

$$h_5 = \frac{0,005.5}{0,0225} = 1,11 \text{ метра}$$

для 25 НР, очевидно, получим те же величины - 0,67 м. для антрацита и I, II мт. для кокса и бурого угля. Можно *a priori* сказать, что эти высоты слоев топлива в сущности не могут устроить подвижную установку в конструктивном отношении, так как они слишком велики. С другой стороны совершенно неясно оправдываются ли они действительной необходимостью для осуществления газогенераторного процесса вообще.

Судя по предпосылке, положенной в одно из оснований расчета высоты рабочей части шахты; эта высота является в большой степени функцией продолжительности выработки одной загрузки газогенератора в 3-4 часа, что вызвано еще и некоторой практической необходимостью длительного пребывания частицы топлива [особенно смолистой частицы] в температурных условиях шахты для предварительной термической обработки.

Инж. Доброхотов преследуя эту цель для больших газогенераторов считает, что на таковую необходимо от 10 до 12 часов, а для генераторов силового газа указывает как минимум, 3-4 часа, во избежание смолы.

Для больших газогенераторов им рекомендуются для определения высоты рабочего слоя такие нормы.

Для жирных углей $H = \frac{D_0}{2}$, где H - высота рабочего слоя, а D_0 - внутренний диаметр шахты. Для полусухих антрацитов $H = \frac{D_0}{1,5}$ и для бурых углей $H = D$.

Подставляя в последнее выражение ранее принятые величины он определяет производительность газогенератора для различных топлив, дает таблицу производительности и т.п.

Эти основные положения, освещенные очевидно богатым

опытом в отношении эксплуатации больших газогенераторов дают иные результаты.

Действительно, если произвести поверку высот "h", исходя из диаметров, принятых по *Guldner'u*, то придем к следующим величинам:

$$\text{Для 5НР --- } h_5 = \frac{d}{1,5} \frac{0,08}{1,5} \frac{0,08}{1,5} = \approx 0,054 \text{ м.}$$

вместо 0,67 м. для антрацита, а для антрацита, а для бурого угля

$$h_5 = d = 0,08 \text{ вместо } 1,11 \text{ м.}$$

Для 25 Н Р при том же дутье антр. $h_{25} = \frac{0,19}{1,5} = 0,127 \text{ м.}$ вместо 0,67 м.

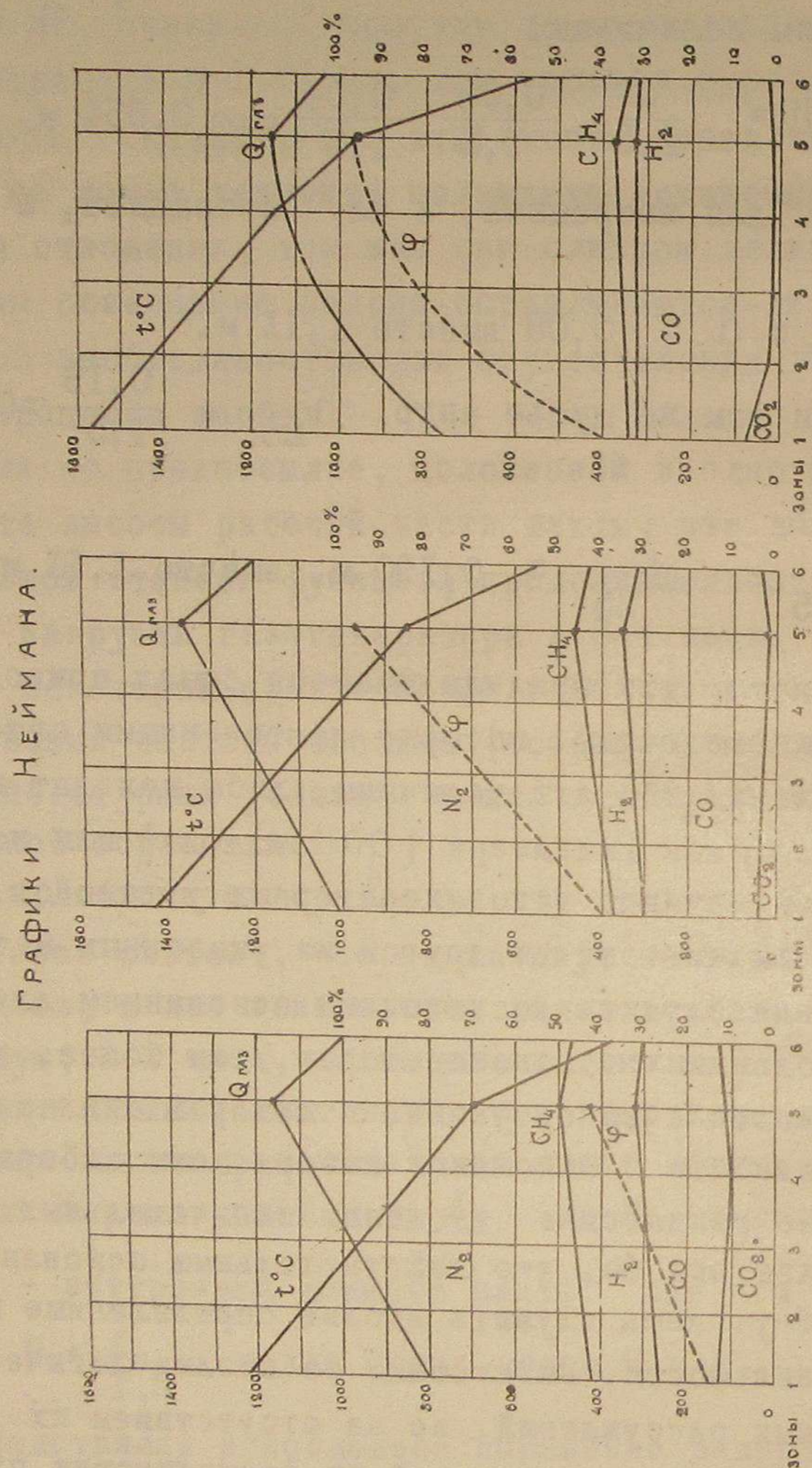
бур. уг. $h_{25} = d_{25} = 0,190 \text{ м.}$ вместо 1,11 м.

Нужно полагать, что вряд ли имеется смысл приводить те практические величины, которые даются иными авторами и практиками дела, ибо эти величины, либо исходят из основных предпосылок Гюльднера [*Guldner'a*] или из опыта эксплуатации крупных газогенераторных установок.

Таким образом ни тот, ни другой из указанных методов не могут для нас служить достаточным основанием для расчета легких подвижных газогенераторов, тем более, что кроме громоздкости в конструкции, к которой они приводят, они не имеют ясности в отношении выбора зоны забора газа и весьма сильно разнятся в отношении окончательных цифровых данных. Казалось бы, что действительным основанием для расчета могут лишь служить вполне определенные математические зависимости, вытекающие из вполне логических последовательных рассуждений, но за отсутствием их или при слишком сложной аналитической их формулировке приходится пользоваться графическими методами в виде диаграмм, полученных, как результат тщательного научно исследовательского изыскания.

Исходя из этих соображений, думается, что все же луч-

шим основанием для расчета газогенераторов, вырабатывающих силовой газ, могут служить данные экспериментальной работы Неймана ^{х)}.



10 кгр. воды + 140 м³ воздуха.

Фиг. 6.

12,5 кгр. воды + 135 м³ воздуха.

Фиг. 5.

25 кгр. воды + 55 м³ воздуха.

Фиг. 4.

х) Инж.-мех. Мазинг. Применение антрацита для двигателей внутреннего сгорания. Отд. оттиск. Почерпнуто из Heft 140. Mitteilungen über Forschungsarbeiten.

Эти данные им получены для газогенератора с диаметром шахты 470 мм. идущем на коксе, обследованием состава газа для пяти зон рабочего объема топлива. Первая зона почти на уровне колосников газогенератора, а каждая из последующих на 125 мм. выше предыдущей. Кроме наблюдений в пяти зонах велось наблюдение за составом газа по выходе его из рабочих слоев топлива. Графики полученных результатов для различных условий приведены на фиг. 4, 5 и 6, где φ - степень разложения водяных паров.

t - температура в зонах и при выходе газа.

Q_r - теплотворная способность 1 м³ газа.

CO_2 , CO , CH_4 и H_2 - объемное содержание составных частей газа в процентах.

Из этих графиков легко усматривается процентное изменение состава газа и изменение всех прочих величин при переходе из одной зоны в другую. Разложение водяных паров идет почти нацело лишь во втором и третьем случаях [фиг. 5 и 6].

Рассмотрение графиков Неймана, а особенно третьего [фиг. 6], как наиболее близкого к чисто теоретическому невольно должно натолкнуть на мысль о возможности его применения, для расчета любого газогенератора для силовых установок, так как этот график является продуктом весьма тщательного научно-экспериментального исследования.

Выдвинем два таких а priori 'ных положения, имеющих под собою достаточно оснований, а именно:

1) Всякий генератор для силового газа может быть приведен в отношении скорости воздуха через нижнее сечение шахты к газогенератору Неймана, и

2) всякий генератор для силового газа может быть приведен в отношении рода топлива к газогенератору Неймана, питаемому коксом.

Действительно, допустим, что требуется рассчитать газогенератор - один для двигателя в 5HP с расходом газа $\approx 15 \text{ м}^3/\text{час}$ и другой - для двигателя 25 HP с таковым же в $95 \text{ м}^3/\text{час}$.

Скорость воздуха через нижнее сечение шахты газогенератора Неймана при диаметре $D = 0,47$ м. и расходе 140 м^3 час определяется:

$$W = \frac{140}{\frac{3,14 \cdot 0,47^2}{4}} = \frac{140}{0,1735} \approx 800 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Эта скорость, для сохранения условий работы наших газогенераторов идентичными с газогенератором Неймана, а следовательно и для сохранения зон неизменными, в случае их работы на коксе, должна быть одна и та же, т.е.

$W = 800 \text{ м}^3/\text{час}$, тогда сечения в нижней части шахты для наших газогенераторов могут быть определены по общей формуле:

$$q = \frac{S}{800}, \text{ где } q - \text{ сечение в нижней части шахты, а}$$

S - расход воздуха в $\text{м}^3/\text{час}$ через это сечение.

При этих условиях получим:

$$q_5 = \frac{15}{800} = 0,019 \text{ м}^2 \text{ или } d \approx 0,078 \text{ м}.$$

$$d \approx 8 \text{ см}.$$

$$q_{25} = \frac{95}{800} \approx 0,12 \text{ м}^2 \text{ } d \approx 0,195 \text{ м}.$$

$$d \approx 20 \text{ см}.$$

при кусках топлива нормальной крупности [орешек].

Отсюда видно, что эти размеры не противоречат данным *Guldner'a*. Для определения наиболее выгодной высоты слоя топлива будем исходить также из графика Неймана, предполагая, что в случае смолистого топлива отделение смолы будет идти форсированным путем, а не вымариванием частиц топлива в течение длительных промежутков времени в шахте генератора и, кроме того, вообще допустим, что для наших

целей смолистое топливо нежелательно.

И так, для газогенератора Неймана наилучший по составу выход газа определен в зоне под значком 5 (фиг.6), т.е. на высоте забора $0,125 \times 4 = 0,50$ м. при питании коксом, поэтому и для рассчитываемых газогенераторов наилучшей высотой забора газа, в случае питания их коксом будет высота - $0,50$ м.

Совершенно очевидно, что плотность углерода в каждой объемной единице топлива должна играть роль в том отношении, что при большей плотности зоны по графикам Неймана должны быть сближены, а при меньшей плотности наоборот раздвинуты. Последнее обстоятельство послужило основанием к выводу Инж.Доброхотовым ранее указанных соотношений диаметров и высоты слоя топлива на решетке газогенератора.

Таким образом, для одной и той же напряженности горения углей наиболее выгодные высоты слоев топлива в рассчитываемых газогенераторах, должны быть исправлены в отношении их удельных весов, взятых по коксу, и только тогда во всех случаях теоретически выход газа будет одного и того же состава (по фиг.6 графика Неймана в п. 5).

Введем теперь эти коррективы, исходя из того, что взвешивания, произведенные в лабораторной обстановке в разных условиях для кокса, антрацита и березового угля дали следующие величины:

2 литра кокса	0,587 кг.
- " - антрацита	1,54 кг
- " - древесного угля	0,410 кг.

Принимая вес кокса равным 1, получим:

для антрацита	2,63
для древесного угля	0,70.

Отсюда уже ясно видно, что распределение зон Неймана значительно уже для антрацита, чем для кокса, а для древесного угля - шире. Конечно, приведенные цифры несколько страдают своей теоретичностью, и хотя и вытекают путем обратных заключений и основных положений инж. Доброхотова, все же требуют еще детального исследования, - в какой степе-

ни эти соотношения играют роль; но, во всяком случае, указанное явление имеет место и достаточно освещено практикой.

Если принять во внимание вычисленные поправочные коэффициенты и исходить из наивыгоднейшей высоты кокса для газогенератора Неймана $h_n = 0,5$ м., то для разных сортов топлива наивыгоднейший забор газа выразится следующими величинами:

для кокса $h_n \times I = 0,50$ м.

для антрацита $\frac{h_n}{2,63} = \frac{0,5}{2,63} = 0,20$ м.

для дрес. угля $\frac{h_n}{0,70} = \frac{0,5}{0,70} = 0,71$ м.

Во всяком случае, эти величины значительно меньше, нежели полученные из объемных данных Гюльднера. И все-таки, несмотря на это, оказывается, что в отношении главного для нас топлива - древесного угля, наивыгоднейшая зона забора также мало устраивает в смысле конструктивных соображений, т. е. она требует от газогенератора слишком большой высоты.

Если же работать с постепенным падением зоны забора, т. е. отказаться от устройства загрузки, или не загружать часто газогенератор, то это с одной стороны повлечет за собой изменение в режиме работы двигателя, вследствие непрерывно меняющегося сопротивления всасыванию и с другой стороны к изменениям во время работы состава газа, т. е. к обязательной непрерывной регулировке подачи воздуха к двигателю. Нужно полагать, что весьма важно иметь, в данных условиях, может быть не наилучшую зону забора газа, но зато постоянную, обеспечив ее непрерывной подачей новых порций горячего, а следовательно и более постоянным составом газа.

Поэтому, идя теперь совершенно сознательно по пути понижения забора газа в отношении древесного угля и кок-

са, мы заведомо поступаемся некоторой [правда, еще практически мало освещенной] долей экономии в процессе, но зато получаем известные конструктивные удобства в отношении общей компоновки легкого газогенератора.

Ширина каждой из зон забора газа по Нейману для древесного угля уже будет не 0,125 м., а $\frac{0,710}{4} = 0,175$ м.; поэтому, полагая произвести практически забор газа над слоем топлива в 0,30 м., получим газ, соответствующий составу конца второй зоны (между 2 и 3 ближе к 3) для древесного угля, и для кокса - середины третьей зоны.

Вглядываясь в график фиг. 6, можно заметить, что имеющее место ухудшение состава газа вряд-ли отзовется губительно на экономике дела, ибо вместо 1150 кал. м³ будет иметь по графику около 1100 - 1080 кал. на м³ при воздушном процессе; эта потеря всегда может быть возмещена конструктивными усовершенствованиями генератора, как теплового прибора, если вообще она практически скажется.

Во всяком случае, при проектировании в дальнейшем опытного газогенератора на основе предложенных рассуждений имелось в виду, получая газ при низком заборе сравнить его с нормальным газом существующих стационарных установок.

Подводя итог всему изложенному в отношении предлагаемого метода расчета газогенераторов для силовых установок, путем приведения любого газогенератора к генератору Неймана, питаемого коксом, думается, что этот расчет обладает уже тем преимуществом, что дает возможность с одной стороны, базируясь на вполне научных конкретных исследованиях, определить сечение в нижней части шахты газогенератора, и с другой стороны - определить наивыгоднейшую и практически приемлемую зону забора газа, учитывая возможные отсюда последствия.

Опытный газогенератор, спроектированный и выполненный по этому принципу, дал вполне удовлетворительные результаты при многократных испытаниях, несмотря на то, что ра-

бочий об'ем его шахты составляет около 35 лт.^{x)} при рас-
 чете на среднюю мощность 12½ НР, т.е. на 1 э.с. $\frac{35}{12,5} =$
 = 2,8 лт., что значительно меньше, чем даже для антрацита
 по Guldner'y. Нужно отметить, что опытный газогенера-
 тор, рассчитанный теоретически без учета объема пустот меж-
 ду кусками горючего на диапазон мощностей от 5 до 20 НР
 при d = 150 мм., хотя и работал при испытании двигате-
 ля в 5НР недогруженным в смысле производства газа, а при
 испытании двигателя 8 НР почти нормально, но тем не менее
 показал вполне удовлетворительный состав газа в обоих слу-
 чаях.

Как бы то ни было, но приходится признать, что об'ем-
 ные данные мало пригодны для расчета легких газогенера-
 торов, так как приводят к преувеличенным результатам.

Как уже упоминалось во введении, а также в предыдущих
 рассуждениях, нашей основной задачей являлось создание лег-
 кого газогенератора на возможно широкий диапазон мощно-
 стей без испарителя, с поддувкой отработанных продуктов
 горения для ведения экономичного процесса, ибо доказано,
 что процесс без использования избытка теплоты не выгоден,
 а указанный - более экономичен и, кроме того, удобен для
 подвижных установок в отношении эксплуатации.

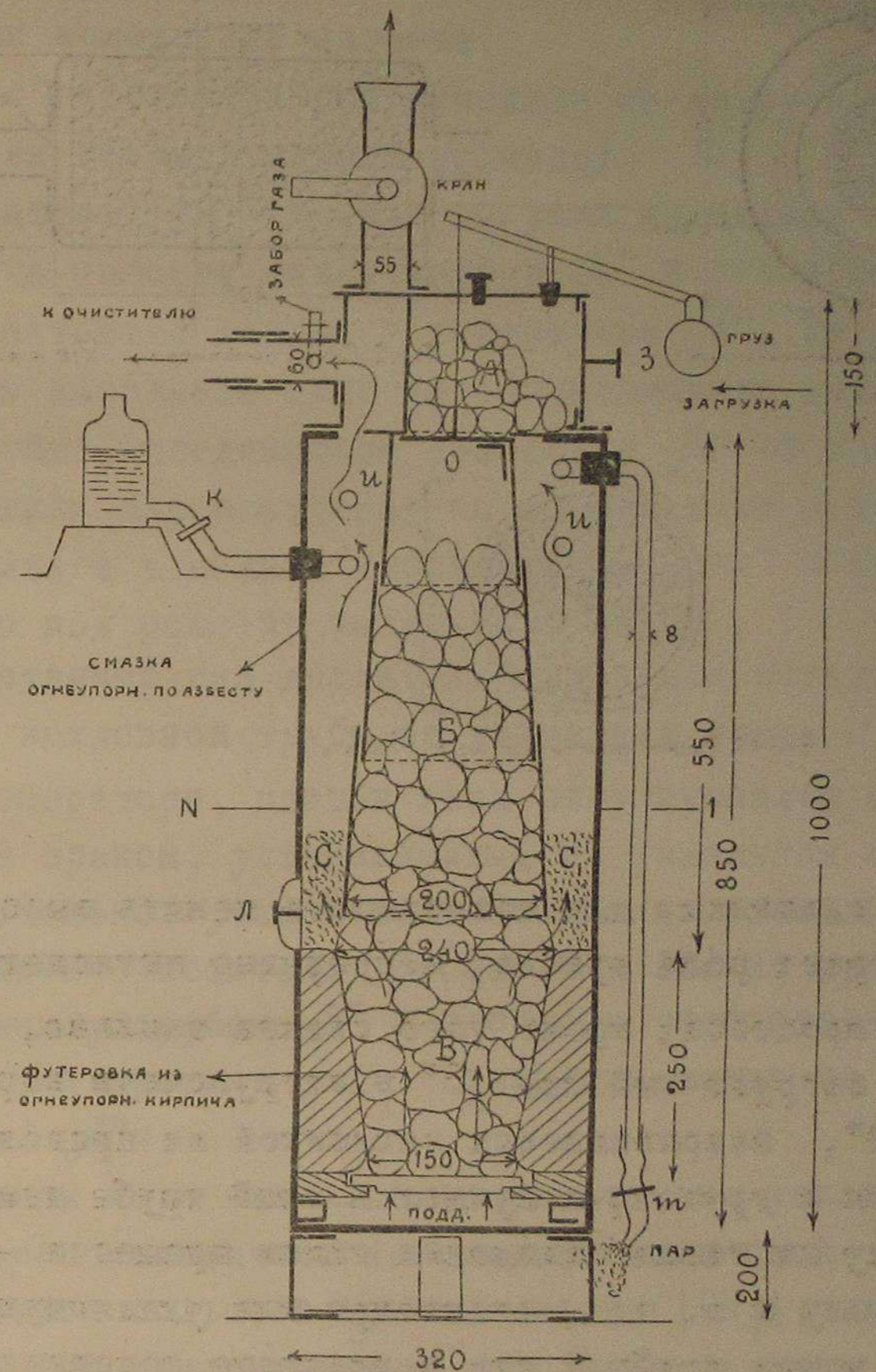
Производя расчет газогенератора для некоторой средней
 мощности по методу приведения его к газогенератору Ней-
 мана на коксе, получим следующие основные его размеры:
 при средней мощности в 12,5 НР и расходе газа $\frac{15 + 95}{2} =$
 = 55 м³/час.

$$q = \frac{55}{800} = 0,069 \text{ м}^3 \text{ д} \approx 150 \text{ мм.}$$

Высоту забора газа, согласно предыдущего, выбираем 300 м.,
 как основную. Кроме того, эта высота может измениться,
 вследствие особой конструкции питания газогенератора из

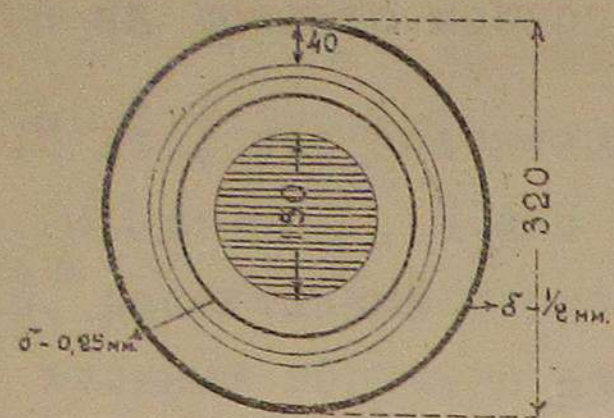
x) Фактический обмер топлива (древесный уголь) в рабо-
 чей части шахты дал всего 12 лт., т.е. для 5 л.с. - 2,4 лт.
 на силу, для 8 л.с. - 1,5 лт. на силу и для 20 л.с. -
 0,6 лт. на силу.

центральной трубы.

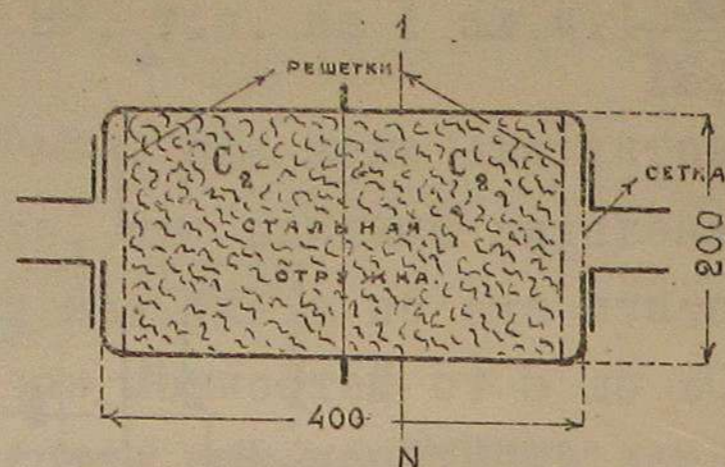


Фиг. 7. Вертикальный разрез опытного газогенератора на древесном
 угле для бензиновых двигателей от 4 до 20 НР 1/10 н. в.

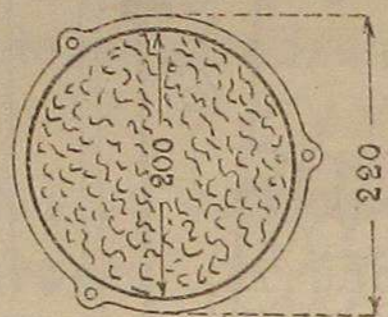
Шахта В (фиг. 7, 8, 9 и 10) выполнена с уширением вверх
 для уменьшения сопротивления, и как некоторая компенса-
 ция за счет потери высоты, дабы уменьшить скорость про-
 хода газа через накаливаемые слои топлива или, что то же
 самое, чтобы увеличить время для разложения CO₂ и осо-
 бенно водяного пара при пользовании паровоздушным про-
 цессом, так как диссоциация паров воды, вообще говоря,
 протекает более медленно, нежели CO₂.



Фиг. 8. Разрез газогенератора по N1.
Ион. в.



Фиг. 9. Сухой очиститель. 1/10 н. в.



Фиг. 10. Разрез очистителя по N1. 1/10 н. в.

Труба "Б" сдвижная, для возможности менять высоту забора газа, играет роль рукава, непрерывно питающего активную часть процесса; кроме того свежее топливо, поступающее через загрузочный лаз "З" в загрузочную коробку "А" и окно "О", закрываемое заслонкой на проволоочной тяге с рычагом и грузом, -получает в этой трубе темическую обработку от тепла отходящих газов процесса - отдает влагу - смолу и т. п., стекающую или удаляющуюся в виде паров к концу трубы, где вследствие соприкосновения с раскаленным углеродом они подвергаются либо диссоциации, либо сгорают.

Загрузка топлива производится мелкими порциями из коробки "А".

Футеровка топливника или шахты выполнена из огнеупорного кирпича, уложенного по чугунному кольцу, состоящему из двух половин.

Колосниковая решетка чугунная, также состоит из двух частей для возможности свободного расширения от нагрева.

Полукольца покоятся на уголках из полосового железа и

укреплены на общем основании с корпусом газогенератора так, что корпус может иметь самостоятельную подвижку от футеровки вследствие нагрева.

Корпус газогенератора выполнен из подручного материала (имелся готовый медный цилиндр).

Испаритель "И" в виде спирали из медной трубки, помещенный в полости между трубой "Б" и корпусом газогенератора, питается водой от резервуара "К". Регулировка подачи воды выполнена помощью обыкновенного зажима на резиновой трубке, соединяющей резервуар "К" со спиралью. Образовавшийся пар поступает по трубке вниз и помощью резинового шланга с медным наконечником "И" направляется в поддувало под решетку топливника.

Отработанный газ двигателя подавался ответвлением от основной выхлопной трубы от двигателя прямо в под решетку газогенератора, приток газа регулировался обыкновенным пробковым краном, установленным на указанном ответвлении.

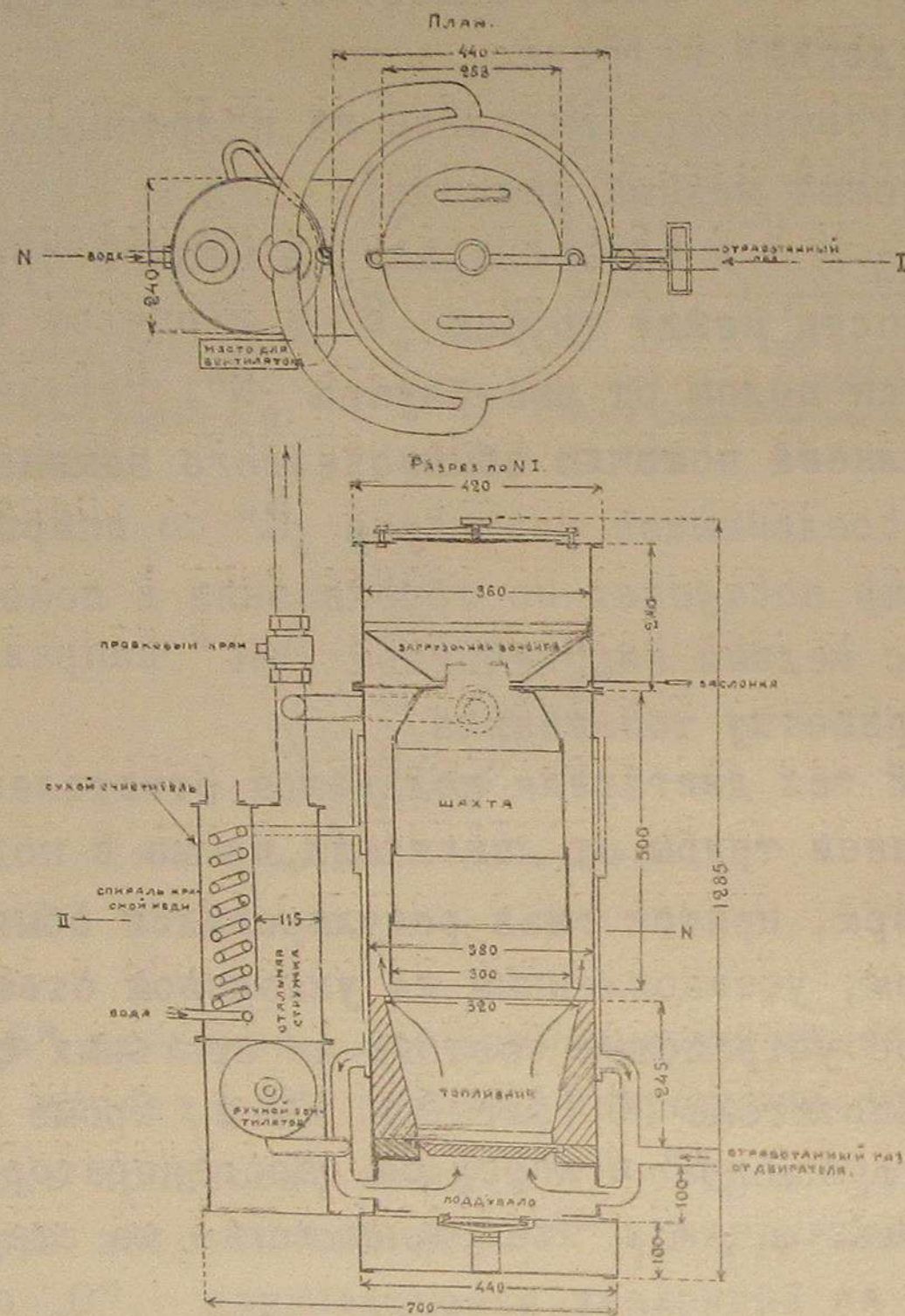
Очистительное устройство состоит из стальных стружек, помещенных в очистителе С (фиг. 9 и 10) и, кроме того, в полости между трубой "Б" и корпусом газогенератора на заплечнике футеровки в "С₁" заложены такие же стружки через люк "Л".

Последняя мера имела целью не столько усилить очистку, сколько воспользоваться каталитическими свойствами железа для получения большего выхода метана |CH₄|; нужно полагать, что эту роль частично выполняет также и конец железной трубы "Б", ибо данные анализа газа, как будет видно из дальнейшего, определенно указывают на повышенное содержание метана за счет уменьшения количества водорода.

Основные размеры всей конструкции указаны на фиг. 7, 8, 9 и 10.

Общий вес газогенератора, несмотря на многие излишки в отношении допущенного материала, составляет около 90 кг.

Путь движения воздуха и газа указан стрелками.

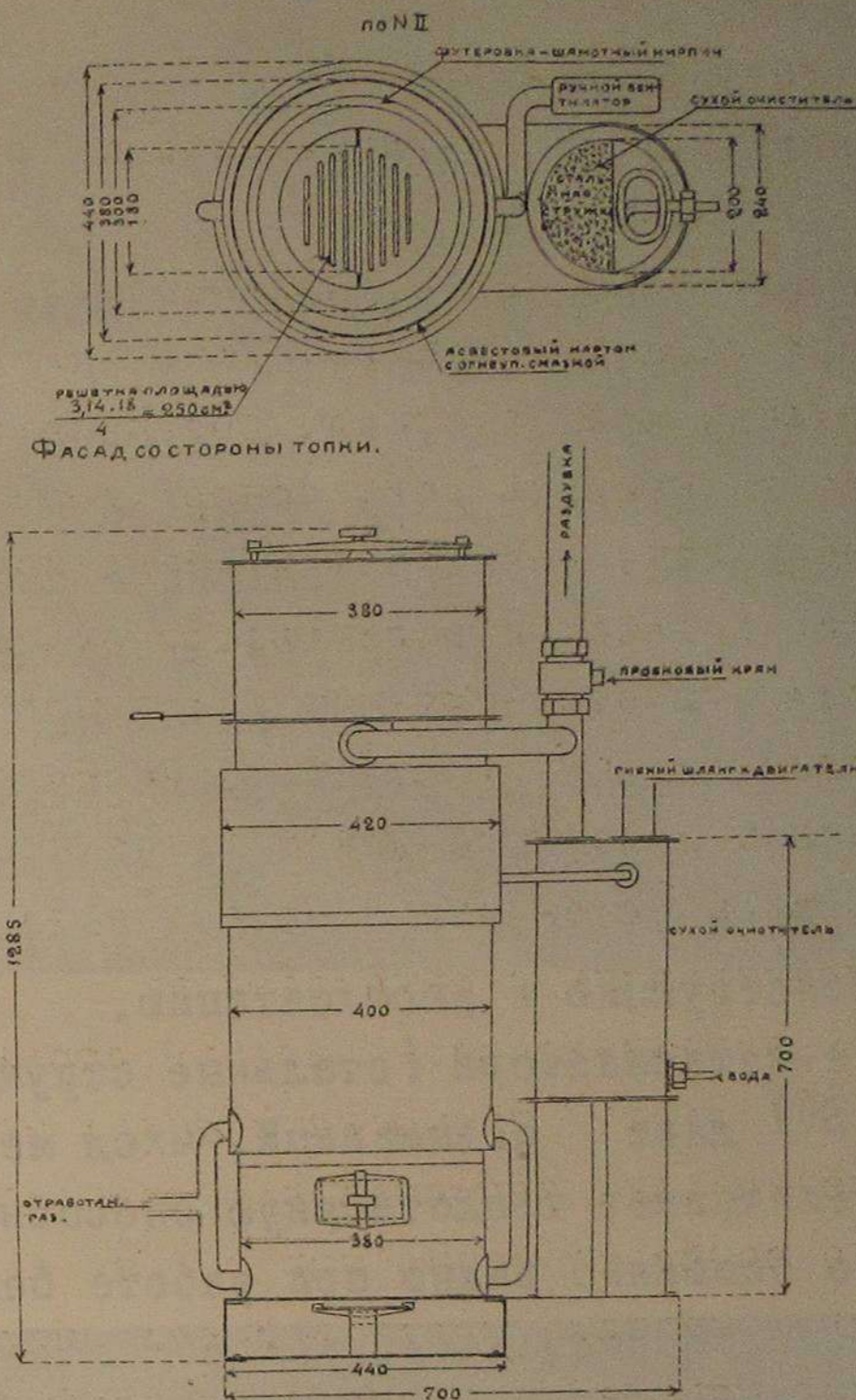


Фиг. 11. Газогенератор на древесном угле с переменной зоной забора газа и поддувкой отработанных продуктов горения для двигателей от 2 до 12 HP спроектированных на легкое жидкое топливо, 1/4 н. в.

На чертежах фиг 11 и 12 представлена более совершенная конструкция газогенератора с очистительным устройством для древесного угля, с более обезпеченной загрузкой топливом, но в общем того же типа.

В этой конструкции уменьшены потери на лучеиспускание, так как газогенератор охвачен кожухом.

Осуществлен принцип противотока: через кожух просасывается свежий воздух и, захватывая по пути пар [если испаритель работает при низких степенях сжатия], омывает стенки газогенератора, горячий же газ, по другую сторону



Фиг. 12. Газогенератор на древесном угле с переменной зоной забора газа и поддувкой отработанных продуктов горения для двигателей от 2 до 2 HP спроектированных на легкое жидкое топливо, 1/4 н. в.

корпуса газогенератора с внутренней стороны, имеет противоположное направление тока.

Последний тип нужно считать наиболее подходящим для электроосветительных агрегатов военведа, мелкого крестьянского хозяйства и кустарной промышленности; он может быть упрощен уничтожением испарителя и тогда, работая с поддувкой отработанных газов при повышенных степенях сжатия, дает большую экономию, как будет видно из дальнейшего.

Не вдаваясь в описание размеров и конструкций предлагаемых устройств, отметим лишь их основные существенные особенности:

1. Небольшой вес, при наличии обмуровки, по сравнению с французскими конструкциями, дающими мертвый груз от 250 до 400 кг.

2. Устройство сдвижной трубы, дает возможность изменять высоту забора газа, а следовательно выбирать его состав, изменяя толщину слоя топлива, обеспечивает непрерывную подачу его в активную зону генератора, осуществляет термическую обработку свежего топлива с использованием продуктов этой обработки в генераторном процессе.

3. Наличие поддувки отработанных газов при работе без пара, при повышенных степенях сжатия, увеличивает экономический коэффициент полезного действия не только газогенератора, но и всей установки в целом, а также упрощает и облегчает конструкцию и эксплуатацию.

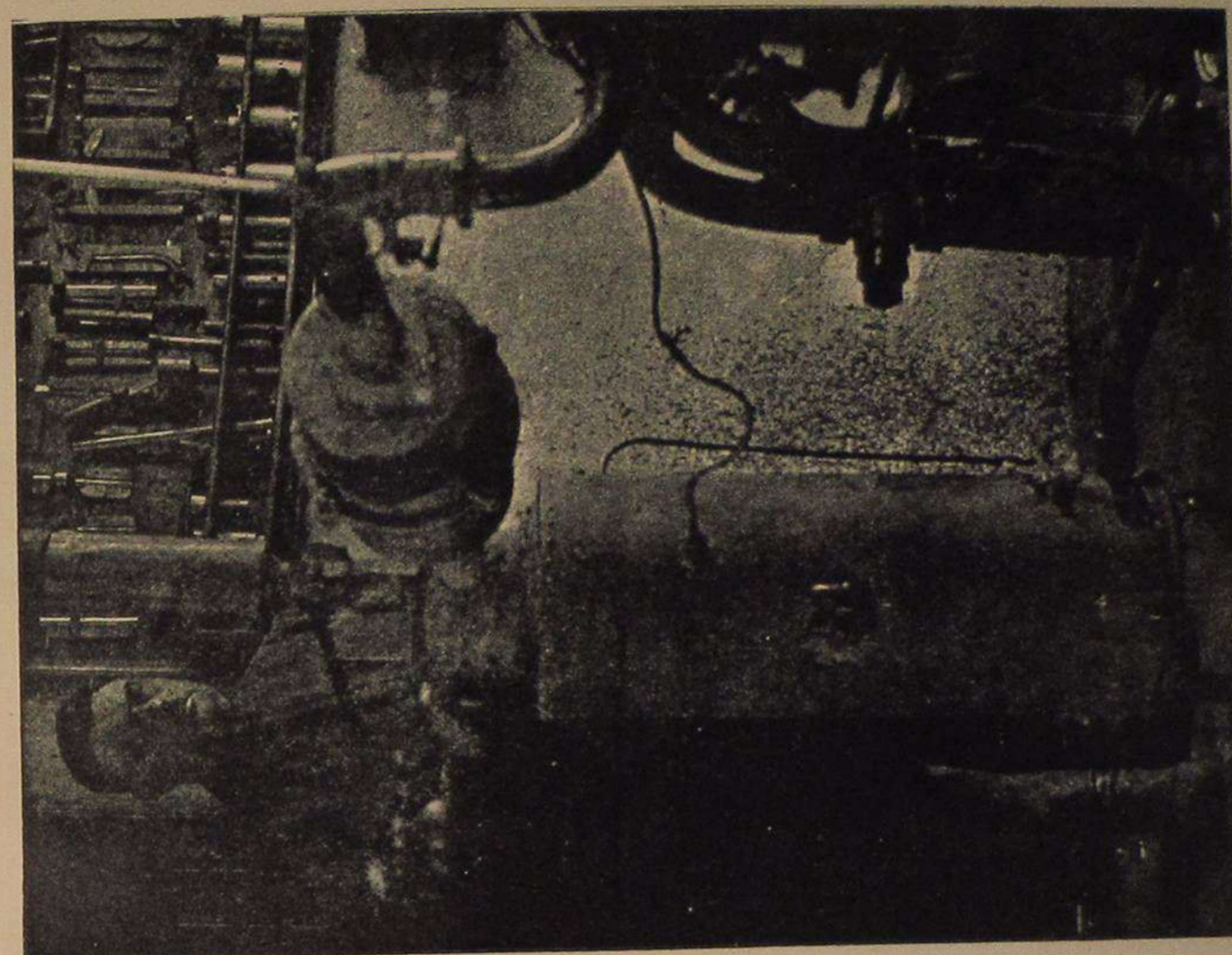
4. Присутствие катализатора (стальные стружки, конец железной трубы "Б") дает повышенный выход метана, а следовательно увеличивает теплотворную способность газа на куб. мт., что особенно важно при работе без пара, при повышенных степенях сжатия, когда водород образуется лишь за счет влаги, поступившей в процесс из трубы "Б", вследствие термической обработки свежих порций горючего.

Освещение двух последних только что высказанных положений и представляет одну из задач опытного исследования.

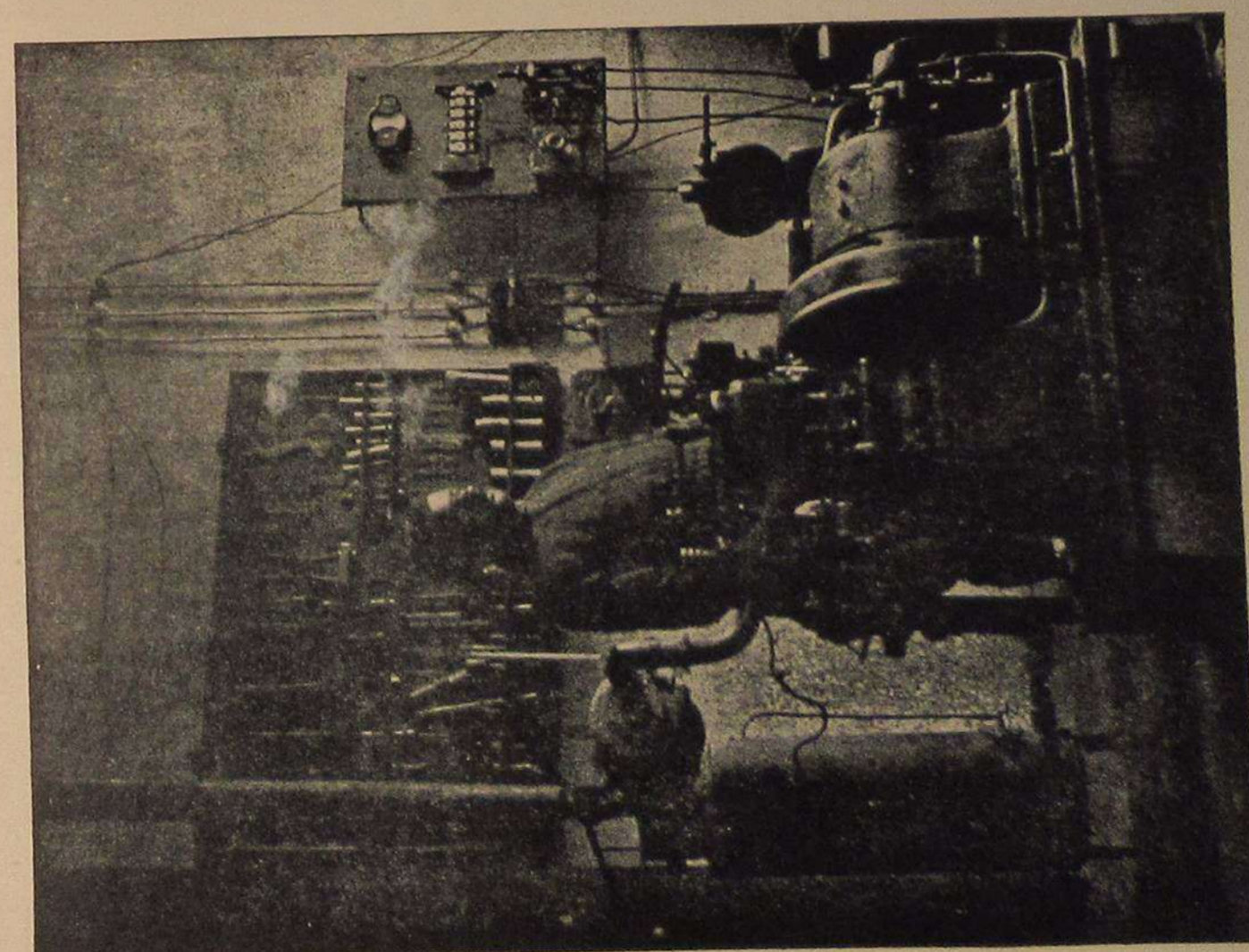
ОПЫТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НА ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ БЕНЗИНО-КЕРОСИНОВЫХ АГГРЕГАТОВ Penta 4 - ВНР и Briton ВНР.

Как упоминалось, первым объектом для исследования работы бензиновых двигателей на генераторном газе являлся агрегат "Penta" номинальной мощностью 4-5 л.с., с автоматическими всасывающими клапанами.

Для осуществления поставленной задачи пришлось выпол-



Фиг. 14.



Фиг. 13.

нить частичное переустройство двигателя в отношении подогрева поступающей смеси.

Имеющийся подогрев был отброшен, так как при работе двигателя на газе он являлся излишним, выхлопные газы были выведены помимо подогревателя, трубчатый подогреватель удален, но камера его была оставлена и являлась как-бы камерой смещения для газа и воздуха, идущего через карбюратор во время работы двигателя на газе при выключенном бензине. Кроме подачи воздуха через карбюратор (главная подача), дополнительная подача осуществлялась помощью двустенного цилиндра с взаимно перекрывающимися отверстиями, установленного вместо автоматического шарикового затвора, принятого в этой конструкции, и представляющего собой как-бы расчлененную систему карбюратора - Грувель.

Поддувка отработанного газа осуществлялась помощью ответвления от магистральной выхлопной трубы с регулировочным краном, установленном на этом ответвлении [фиг. 13 и 14].

Газогенератор присоединялся к двигателю помощью трубы диаметром 1- $\frac{1}{2}$ дм. через очиститель, труба при подходе к двигателю была снабжена обычным дросселем для регулировки количества газа, хотя нужно признать, что дроссель | при испытаниях работал не вполне удовлетворительно, как регулировочный прибор, для газа - лучше было бы иметь газовый кран.

Для изменения степени сжатия вкладывались медные прокладки под пятку шатуна на верхний подшипник коленчатого вала.

Таким образом при толщине прокладок 2,86 мм. и 0,85мм имелась возможность изменять степень сжатия от $E = 4$ последовательно 4,2; 4,31; 4,55; 4,66; 5,05; 5,54 до 6,16, т.е. почти до упора в ограничитель хода поршня.

Пользуясь такой возможностью был намечен план исследования, заключающийся в том, чтобы последовательным повышением степени сжатия найти такое наибольшее E для данных температурных условий и состава всасываемой смеси, что при дальнейшем уже повышении ее будет иметь место

детонация.

В целях пояснения необходимо указать, что в условиях опыта для температур всасываемого газа близких к 140-150°С., при 15-16 % водорода, таковая степень сжатия определилась около 4,66, а для генераторного газа - с 5-7% водорода она лежит за пределами 6,16, но достаточно близко к ней при тех же температурных условиях.

Нагрузка осуществлялась на ламповый реостат от динамомашини мощностью 2,8 к. в.

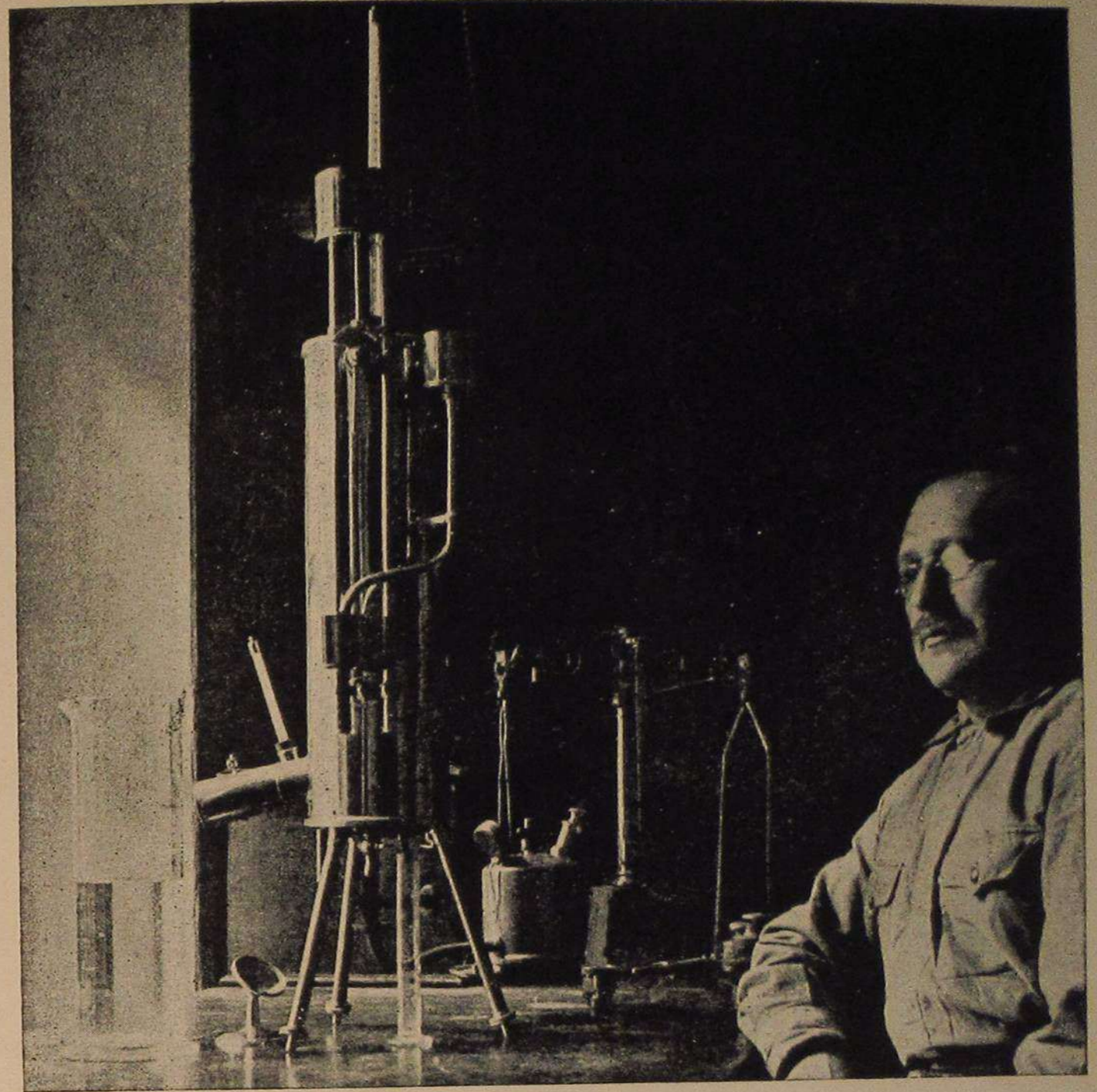
До испытаний были произведены определения теплотворных способностей бензина [2-й сорт] и древесного угля.

Для бензина две серии определений помощью калориметра Юнкера дали среднюю величину рабочей теплотворной способности $H = 10023$ кал., а для древесного угля таковая же, определенная помощью бомбы Клодьева, составила 6920 кал.

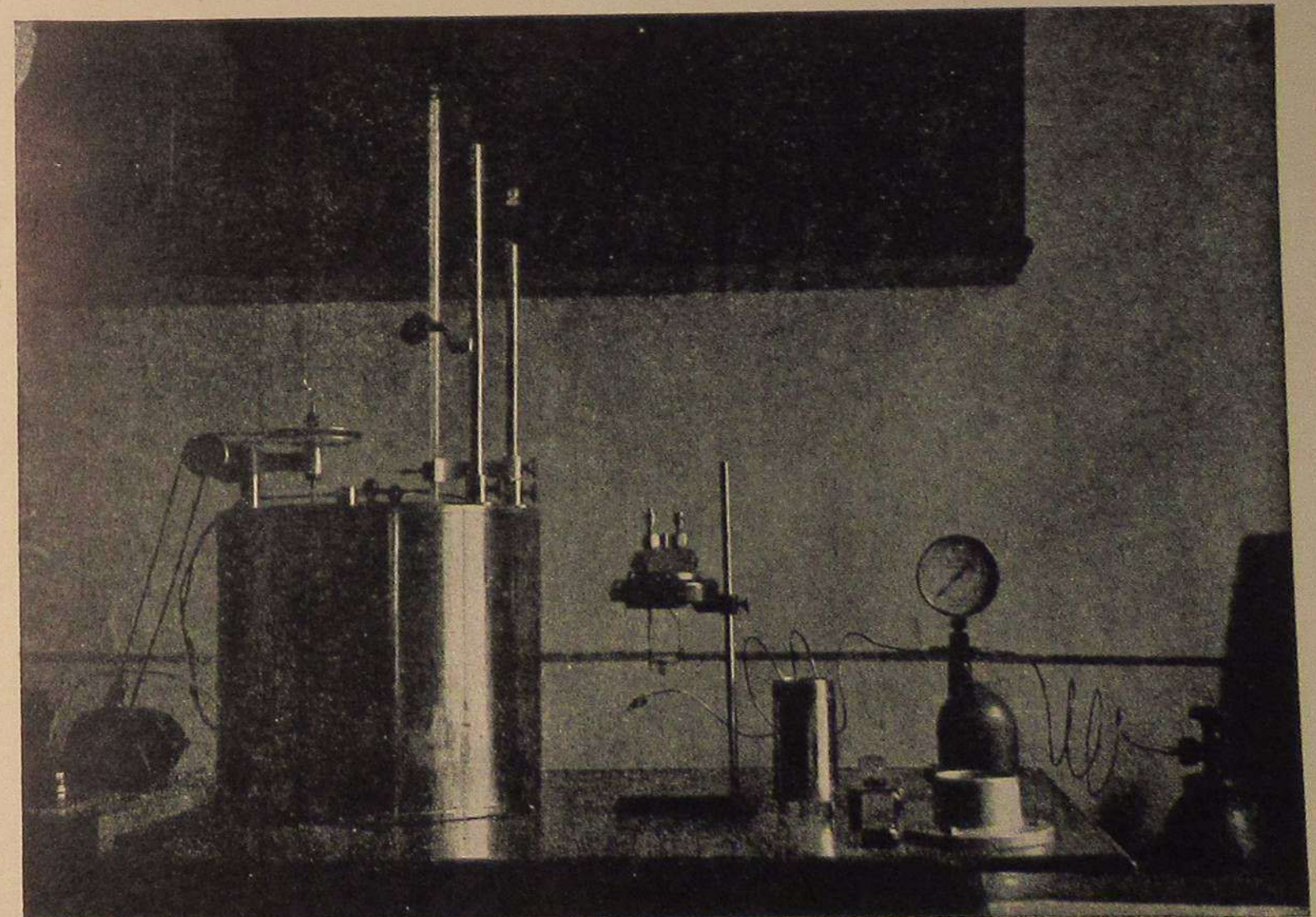
Приборы и аппаратура, коей приходилось пользоваться изображены на фиг. 15 и 16.

Прежде чем перейти непосредственно к изложению цифровых данных, добытых в условиях различных опытов, необходимо указать, что в этом труде нас интересуют, главным образом, вопросы общего порядка, а именно:

- N_i - индикаторная мощность двигателя
- N_a - мощность, развиваемая агрегатом
- N_3 - эффективная мощность двигателя.
- η_i - индикаторный коэф. пол. действия
- η_a - коэфф. пол. действия установки
- η_3 - эффективный коэфф. полезн. действия двигателя
- $\eta_{мех}$ - механический к. п. д. двигателя
- C_i - расход горючего на инд. с|ч.
- C_a - " - " - на полезную с|ч.
- C_3 - " - " - на эф. с|ч.



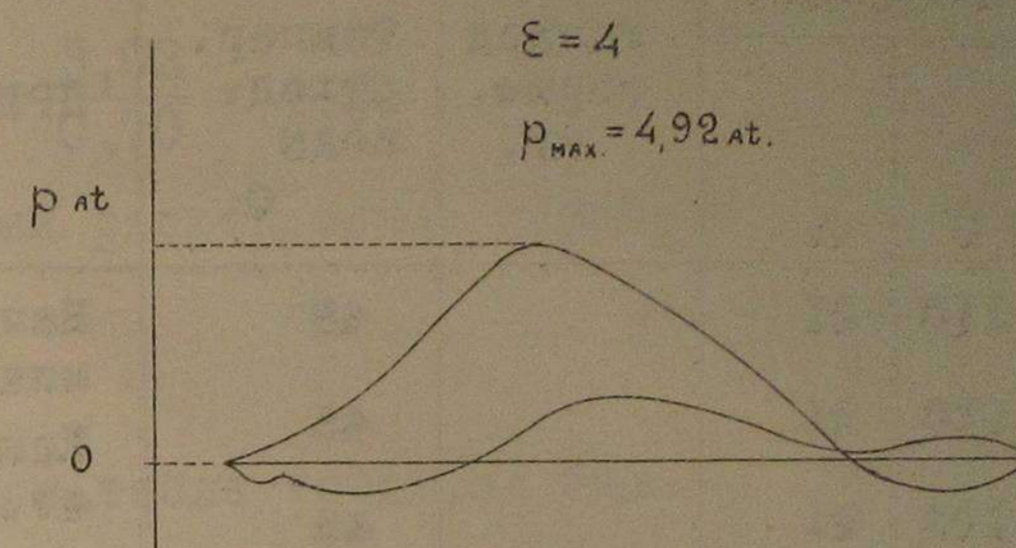
Фиг. 15.



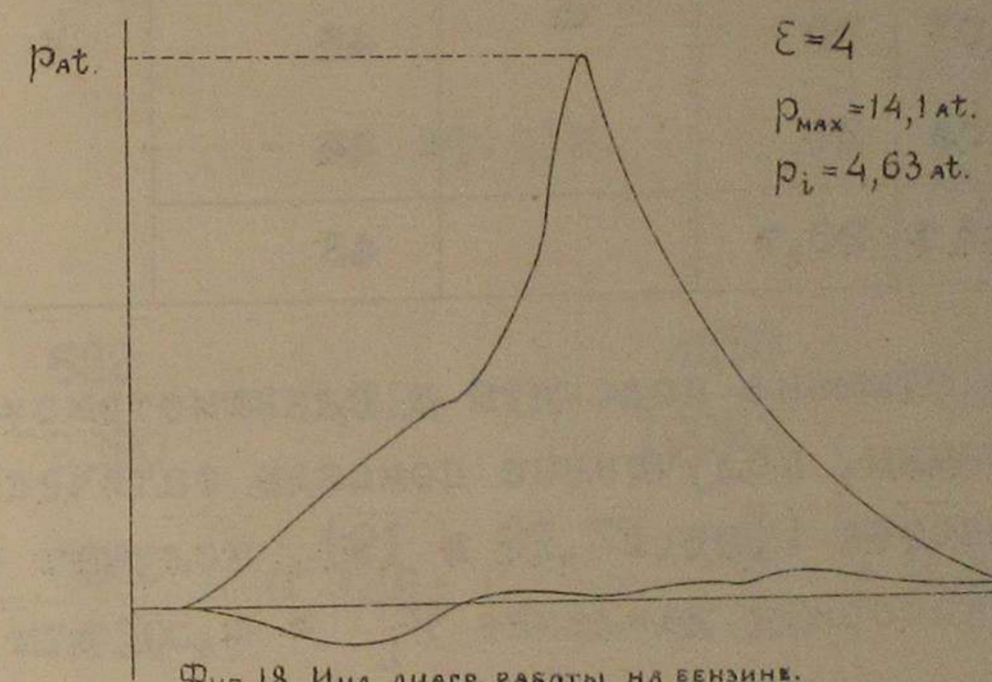
Фиг. 16.

Все цифровые данные исследований приведены в виде таблиц с последующими после них пояснениями и подсчетами.

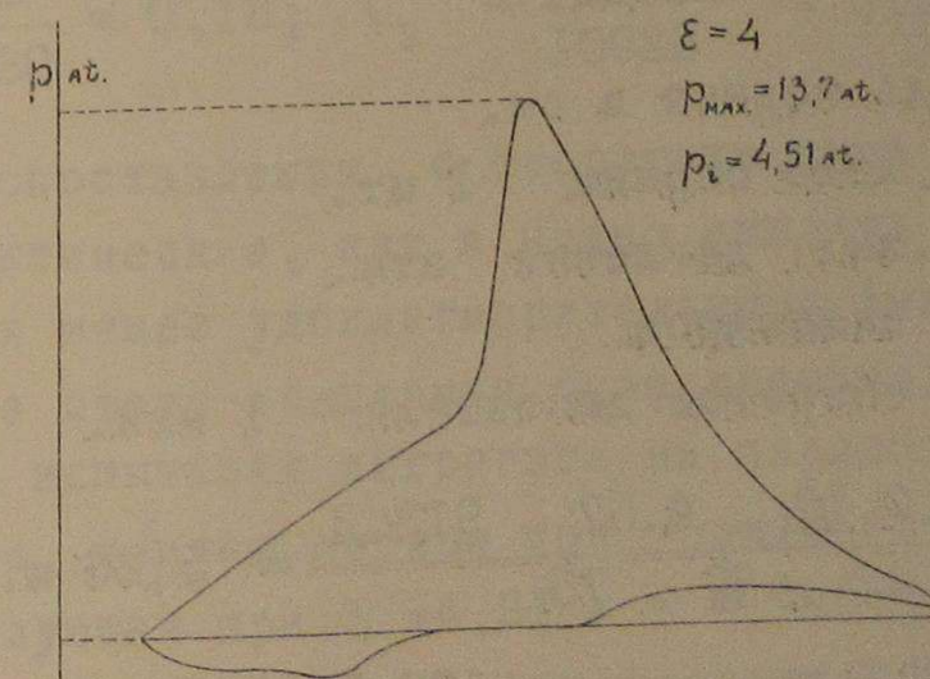
Соответствующие индикаторные диаграммы указаны ссылками на фиг. в заголовке каждой таблицы.



Фиг. 17. Индик. диагр. при выключенном зажигании.



Фиг. 18. Инд. диагр. работы на бензине.



Фиг. 19. Инд. диагр. работы на бензине.

Т а б л и ц а 4 .

Агрегат "Penta", работа на бензине $N_n = 10023$ кал. Фиг. 17, 18 и 19; $\xi = 4$.

№	Число оборотов в мин. по тахом. n	Нагрузки.		Расход горюч. кг.	Темпер. стход. воды С.	ПРИМЕЧАНИЕ.
		ν	α			
1.	920	110	21	0,758 кг.	45	Начало испытания 4 ч. 17,5 м.
2.	910	110	21		45	
3.	914	108	21		45	Время работы 30 м.
4.	913	106	21		48	
5.	911	108	21		45	
6.	910	107	20		45	
7.	913	105	20		44	
сред.	913	107,7	20,7		45	

Производя обычные подсчеты и планиметрируя индикаторные диаграммы, полученные помощью оптического индикатора Гопкинсона (фиг. 17, 18 и 19), получим следующее среднее индикаторное давление $P_i = 4,57$ атм.

$$N_i = \frac{F \cdot H \cdot p_i \cdot z \cdot n}{2 \cdot 60 \cdot 75} \quad \text{где}$$

F - площадь поршня в см.

H - длина хода поршня I мт.

P_i - средн. инд. давления атм.

z - число цилиндров.

n - число оборотов двигателя I мин.

$$N_i = \frac{57 \cdot 0,10 \cdot 4,57 \cdot 913 \cdot 2}{2 \cdot 60 \cdot 75} = 5,26 \text{ л.с.}$$

$$N_a = \frac{\nu \cdot \alpha}{736} = \frac{107,7 \cdot 20,7}{736} = 3,02 \text{ л.с.}$$

Коэффициент полезного действия динамомашинны для всех случаев принят один и тот же - 0,70, вследствие ее малой мощности, что весьма близко к действительности, при этих условиях находим эффективную мощность двигателя:

$$N_e = \frac{3,02}{0,70} = 4,32 \text{ л.с.} \quad \eta_{\text{мех}} = \frac{4,32}{5,26} = 0,82.$$

Полный расход тепла горючего за 1/2 часа

$$- - - - 10023 \cdot 0,758 = 7597 \text{ кал.}$$

$$\text{расход тепла горюч. на инд. } \frac{c}{z} q_i = \frac{7597 \cdot 2}{5,26} = 2890 \text{ кал.}$$

$$- - - \text{ на эконо. } \frac{c}{z} q_a = \frac{7597 \cdot 2}{3,02} = 5030 \text{ кал.}$$

$$- - - \text{ на эф. с/ч. } q_e = \frac{7597 \cdot 2}{4,32} = 3520 \text{ кал.}$$

$$\eta_i = \frac{632}{2890} = 0,22; \quad C_i = \frac{2890}{10023} = 0,288 \text{ кг с/ч}$$

$$\eta_a = \frac{632}{5030} = 0,126; \quad C_a = \frac{5030}{10023} = 0,500 \text{ кг с/ч}$$

$$\eta_e = \frac{632}{3520} = 0,18; \quad C_e = \frac{3520}{10023} = 0,350 \text{ кг с/ч.}$$

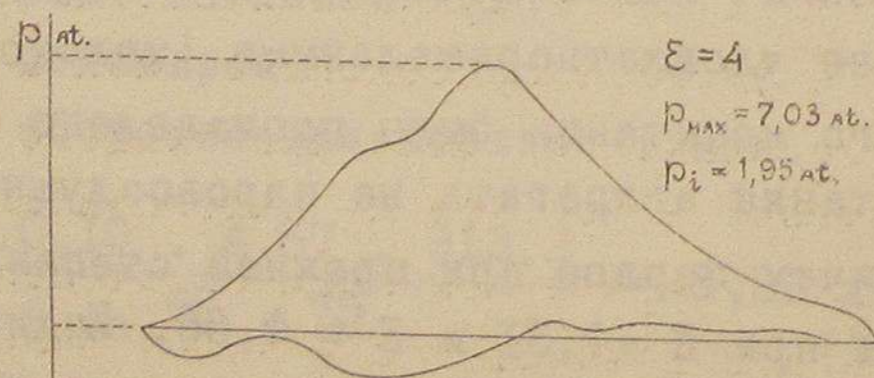
Из сопоставления с теоретическими величинами видно, что практические, как и нужно ожидать для данного случая, окажутся менее удовлетворительными (маломощный двигатель)

После этого испытания было произведено три предварительных испытания агрегата на паровоздушном генераторном газе, причем первое при прежней степени сжатия $E = 4$, а последующая при $E = 4,31$ и $E = 4,66$. Индикаторные диаграммы были сняты лишь для первого опыта.

Т а б л и ц а 5.

Агрегат " ", на генераторном газе (паро-воздушном) Фиг.20. $\epsilon = 4$.

№	Число оборотов в мин по тахом. n	Нагрузка.		Расход горюч. (др. уг.) кг.	Темп. газа С	Темп. отход. воды С	ПРИМЕЧАНИЕ.
		ν	ω				
1.	990	80	8	1,596 кг.	134	52	Испытание начато 5 ч. 17 м., кончено - 6 ч. 03 мин., продолж. 46 м.
2.	940	80	8		148	50	
3.	900	87	8		144	52	
4.	1000	82	8		145	51	
5.	1000	90	8		150	52	
6.	1050	89	8		148	53	
7.	1025	89	8		142	55	
8.	1050	92	8		145	55	
9.	1010	101	9		145	55	
10.	1000	100	9		142	57	
11.	925	80	3		145	45	
12.	950	83	8		146	50	
Ср.	987	87,75	8,17		144,6	52,4	



Фиг. 20. Инд. диагр. работы газа.

P_i - средн. = 1,83 ат.

$$N_i = \frac{57,0,10 \cdot 1,83 \cdot 987,2}{2 \cdot 60 \cdot 75} = 2,29 \text{ л.с.}$$

$$N_a = \frac{87,75 \cdot 8,17}{736} = 0,975 \text{ л.с. следовательно,}$$

от бензинового двигателя составит всего лишь

$$\frac{0,975}{3,02} \cdot 100 = 32,2 \%$$

$$N_э = \frac{0,975}{0,70} = 1,40 \text{ л.с.} \quad \eta_{\text{мех}} = \frac{1,40}{2,29} = 0,61$$

расход горючего в час -

$$\frac{1,696 \cdot 60}{46} = 2,21 \text{ кг.}$$

расход тепла горючего в час $Q = 2,21 \cdot 6920 \approx 14600 \text{ кал.}$

$$q_i = \frac{14600}{2,29} = 6370 \text{ кал.} \quad \eta_i = \frac{632}{6370} = 0,10$$

$$q_a = \frac{14600}{0,975} = 15000 \text{ кал.} \quad \eta_a = \frac{632}{15000} = 0,042.$$

$$q_э = \frac{14600}{1,40} = 10420 \text{ кал.} \quad \eta_э = \frac{632}{10420} = 0,061.$$

$$C_i = \frac{6370}{6920} = 0,92 \text{ кг. с|ч}$$

$$C_a = \frac{15000}{6920} = 2,17 \text{ кг. с|ч}$$

$$C_э = \frac{10420}{6920} = 1,51 \text{ кг. с|ч}$$

Забор пробы генераторного газа производился сейчас-же после остановки двигателя в аспиратор, а затем охлажден-

ный подвергался анализу помощью прибора Орса, причем для сжигания водорода применялась кварцевая трубочка с палладием и азбестом (фиг. 21).

Нельзя обойти молчанием того, что в этой области большая доля труда выпала на инструктора лаборатории Г.Ф.Арефьева; проявленные им исключительное внимание и интерес значительно способствовали успешному ходу исследования в целом.

Состав газа определялся следующий |по об'ему|:

$$H_2 - 12,4\%; CO - 19\%; CH_4 - 2,2\%$$

$$O_2 - 1,6\%; CO_2 - 9,8\%; N - 55\% -$$

теплотворная способность такого газа примерно составит около 996 кал./м³.

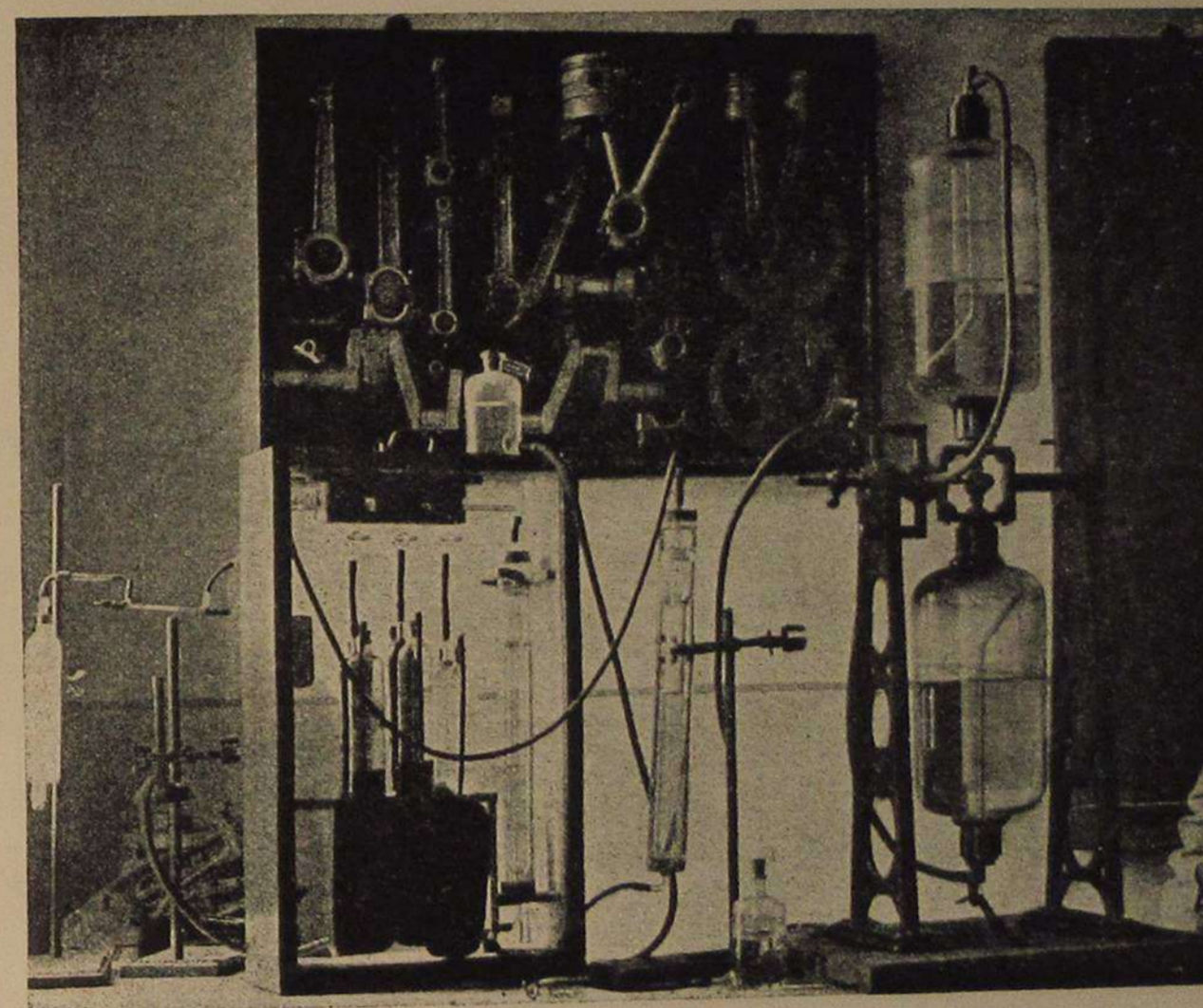
Оценивая этот первый опыт необходимо указать, что низкий механический коэффициент полезного действия, очевидно, получен вследствие плохих условий смазки, с чем приходилось вести постоянную борьбу при всех последующих испытаниях, ибо весьма существенные недостатки двигателя в отношении большого износа, как цилиндров, так и колец не допускался не только незначительного ее избытка, но даже мало-мальски нормального качества, так как масло легко проникало на днище поршня, а следовательно и вредило зажиганию.

Кроме этого необходимо отметить и низкое качество генераторного газа, что об'ясняется большой недогрузкой газогенератора. |См. табл .6 на стр. 82|.

$$N_a = \frac{103,2 \cdot 10,78}{736} = 1,52 \text{ л.с.}$$

по отношению к бензиновому двигателю

$$\frac{1,52}{3,02} \cdot 100 = 50,3\% \quad N_3 = \frac{1,52}{0,70} = 2,17 \text{ л.с.}$$



Фиг. 21.

расход угля в час $\frac{1,755.60}{55} = 1,91 \text{ кг}$

расход тепла горючего в час. $Q = 1,91 \cdot 6920 = 13200 \text{ кал.}$

$q_a = \frac{13200}{1,52} = 8680 \text{ к.}$ $\eta_a = \frac{632}{8680} = 0,073.$

$q_э = \frac{13200}{2,17} = 6075 \text{ кал.}$ $\eta_э = \frac{632}{6075} = 0,104.$

$C_a = \frac{8680}{6920} = 1,26 \text{ кг с|ч;}$ $C_э = \frac{6075}{6920} = 0,88 \text{ кг.с|ч}$

Из сопоставления с предыдущим видно, что экономичность работы значительно возрасла.

Т а б л и ц а 6.

Агрегат "Penta" на генераторном газе /паровоздушн.
E = 4,55.

№ №	Число обор. в мин. по тахом. n	Нагрузка		Расход горюч. др. уг. / кг	Темп. газа °C	Темп. отход. воды °C	ПРИМЕЧАНИЕ.
		v	a				
1	950	100	10	Расход дров. угля - 1,755 кг.	126	51	Испытание нача- то - 4 ч. 45 м. кончено - 5 ч. 40 мин, продол- жалось - 55 м.
2	950	100	10		126	50	
3.	975	105	11		130	50	
4.	975	105	11		132	52	
5.	1020	111	11,5		134	52	
6.	1010	110	11		141	54	
7	1035	111	11,5		141	55	
8	975	106	11		142	52	
9	1010	111	11,5		142	52	
10	1000	110	11		145	50	

/продолж. табл. 6/

№ №	Число обор. в мин. по таком. n	Нагрузка.		Расход горюч. /др. уг./ кг.	Темп. газа °C	Темп. отход. воды °C	ПРИМЕЧАНИЕ.
		v	a				
11.	1000	110	11,5	расх. др. уг. 1,755	145	48	
12.	980	107	11,5		145	48	
13.	980	104	11		144	48	
14.	925	98	10,75		142	45	
15.	900	90	10		148	52	
16.	930	96	10		148	50	
17.	850	80	10		152	50	
Сред.	968	103,2	10,78		139,6	50,5	

Т а б л и ц а 7.

Агрегат "Penta" на генераторном газе /паровоздушн./
E = 4,66

№ №	Число обор. в мин. по таком. n	Нагрузка.		Расх. горюч. /древ. уг./ кг.	Темп. газа °C	Темп. отход. воды °C.	ПРИМЕЧАНИЕ.
		v	a				
1.	1050	100	15	Расх. угля 2,20 кг.	127	45	Испытание на- чато в 5 ч:18м. Кончено -6ч. 13 мин. Продол- жилось 55 м.
2.	1000	101	16		132	48	
3.	1000	98	15,75		128	55	
4.	975	106	15		130	50	
5.	950	98	15		146	50	
6.	950	100	16		146	51	
7.	1025	103	16		146	51	
8.	1050	115	14		151	52	
9.	1020	104	15		150	50	
10.	1000	104	15		152	50	
11.	980	104	13		150	50	
12.	975	106	15		148	50	
Ср.	1015	103,3	15,1	142,5	50,25		

$$N_a = \frac{103,3 \cdot 15,1}{736} = 2,12 \text{ л.с. следовательно от бензино-}$$

$$\text{вого двигателя} - \frac{2,12}{3,02} \cdot 100 = 70,2 \%$$

$$N_3 = \frac{2,12}{0,70} = 3,03 \text{ л.с.}$$

$$\text{Расход угля в час} \frac{2,20 \cdot 60}{55} = 2,40 \text{ кг.}$$

$$Q = 2,40 \cdot 6920 = 16600 \text{ кал.}$$

$$q_a = \frac{16600}{2,12} = 7830 \text{ кал. } \eta_a = \frac{632}{7830} = 0,081$$

$$q_3 = \frac{16600}{3,03} = 5475 \text{ кал. } \eta_3 = \frac{632}{5475} = 0,116$$

$$C_a = \frac{7830}{6920} = 1,13 \text{ кг. с|ч.}$$

$$C_3 = \frac{5475}{6920} = 0,792 \text{ кг. с|ч}$$

Итак, здесь наблюдается дальнейшее повышение эконо-
мичности.

Состав газа по данным анализа определен в следу-
ющих объемных соотношениях:

$$H_2 - 20,5\%; CO - 23\% \quad CH_4 - 0,14\%$$

$$O_2 - 0,8\%; CO_2 - 6,8\% \quad N - 48,7\%$$

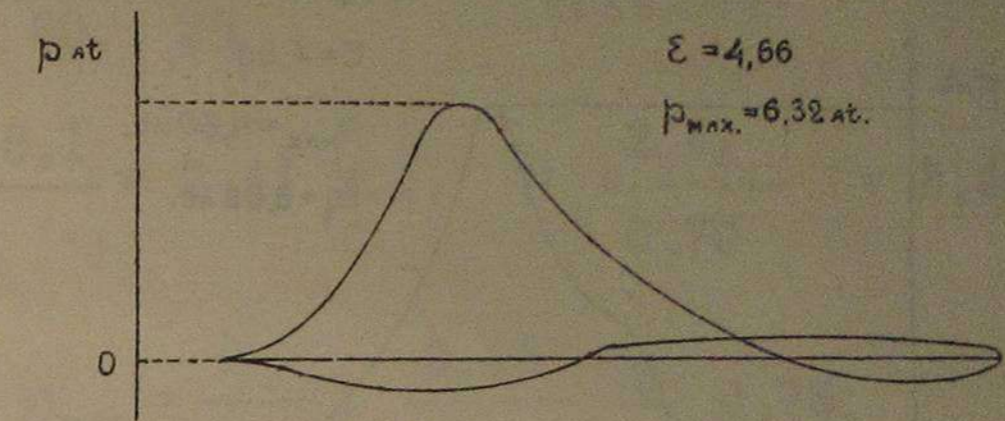
$$H - 1138 \text{ кал.}$$

После этих предварительных опытов было поставлено бо-
лее длительное исследование на паровоздушном газе в те-
чение 4 ч. 35 минут.

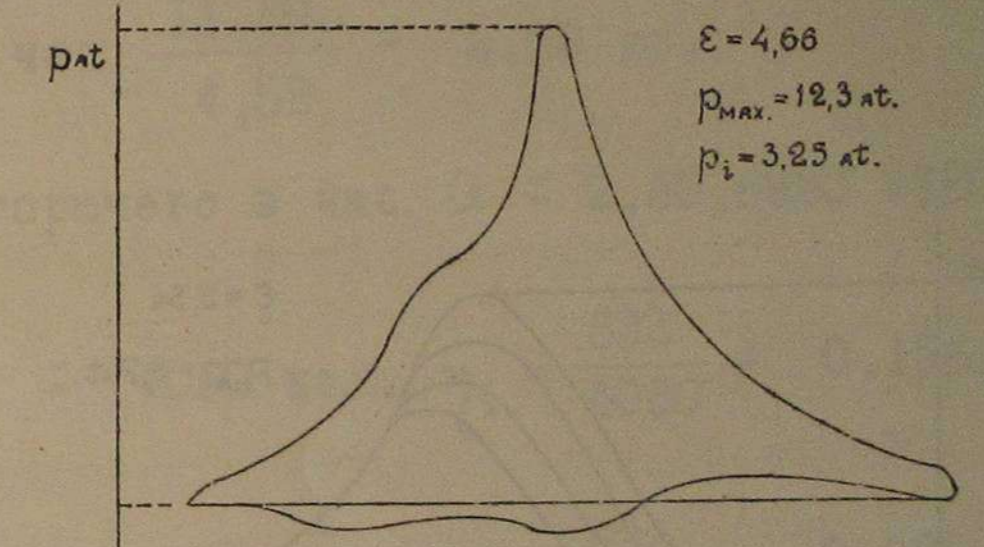
Т а б л и ц а 8.

Агрегат "Penta" на генераторном газе /паровоздушн/
Фиг. 22, 23, 24 и 25, 26 и 27. $\epsilon = 4,66$.

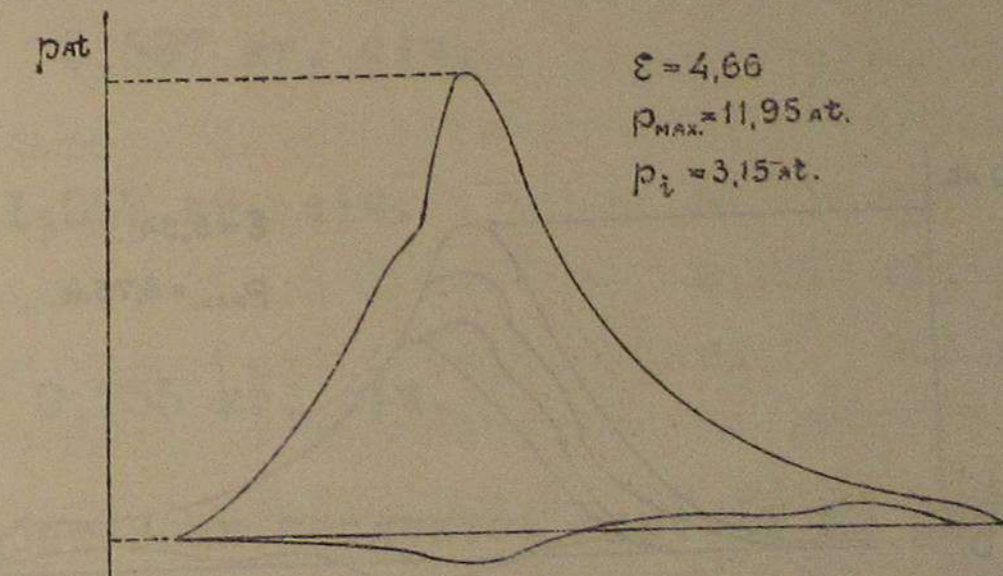
№	Число обор. в мин. по тахом.	Нагрузка.		Расход горюч. /древ. угля/ кг.	Темп. газа °С	Темп. отходящ. воды °С	ПРИМЕЧАНИЕ.
		ν	ω				
1.	1120	110	15	11,89 кг.	128	57	Испытание начато 4 ч.50 м. Кончено 9 ч.25 м. Продолжалось 4,58 ч.
2.	1150	110	14		126	58	
3.	1110	117	17		126	50	
4.	1100	110	16		128	45	
5.	1150	112	17		129	45	
6.	1100	115	17		123	45	
7.	1120	103	16,5		124	42	
8.	1075	104	16		122	45	
9.	1150	117	17,5		123	45	
10.	1100	112	16		122	44	
11.	1100	110	16		122	44	
12.	1120	113	16		122	44	
13.	1100	108	16,5		126	48	
14.	1100	111	15		140	48	
15.	1100	106	16		140	50	
16.	1100	108	16		140	50	
17.	1125	115	16		127	51	
18.	1150	113	16		142	52	
19.	1100	112	16,5		129	51	
20.	1100	111	16		128	52	
21.	1100	110	16		142	52	
22.	1100	109	16		142	52	
23.	1090	108	16		144	52	
24.	1125	111	15,5		148	52	
25.	1025	100	15		150	48	
Ср.	1108,4	110,12	16,1		127,2	48,8	



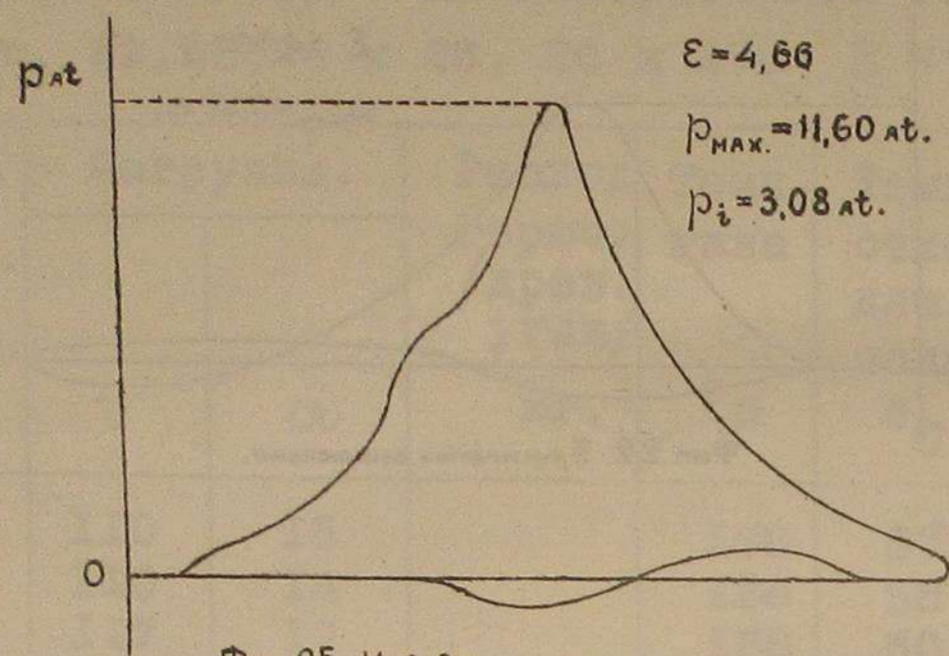
Фиг. 22. Зажигание выключено.



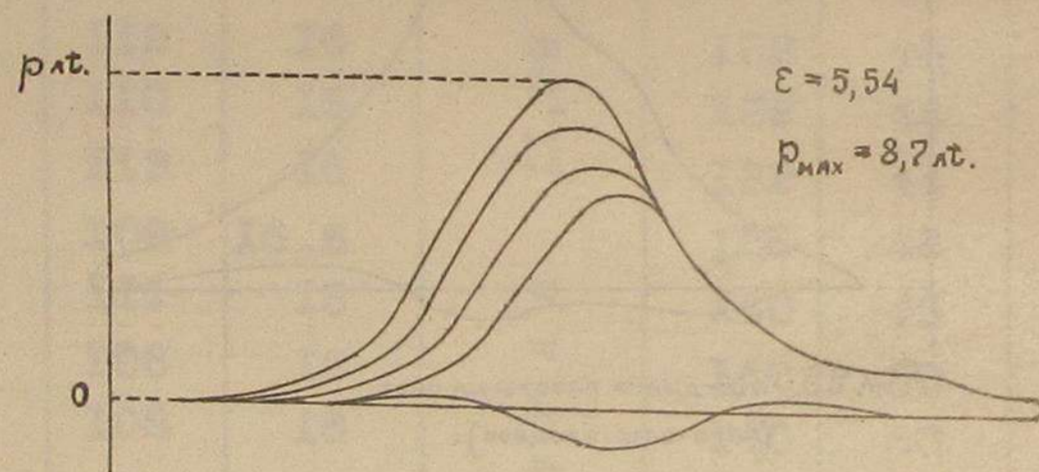
Фиг. 23. Инд. диагр. работы на газе. (паро-возд. процесс).



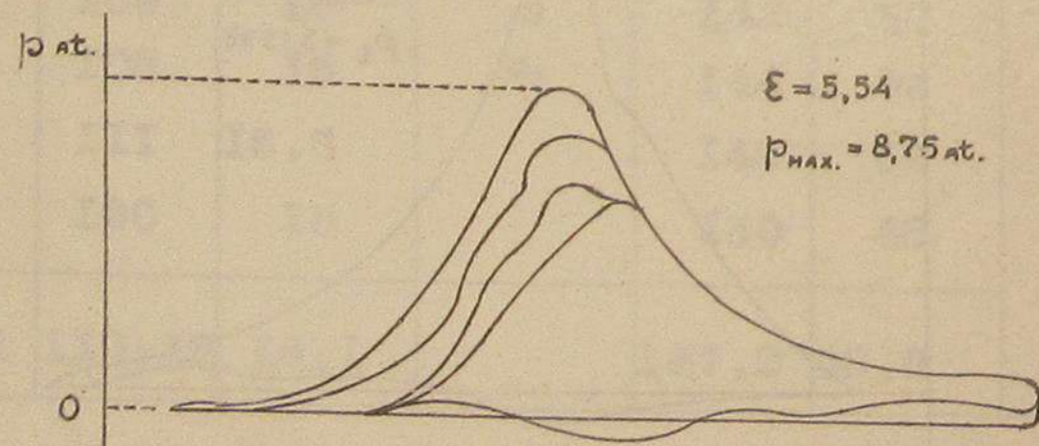
Фиг. 24. Инд. диагр. работы на газе. (паро-возд. процесс).



Фиг. 25 Инд. диагр. работы на газе.
(паровозд. процесс.)



Фиг. 26. Работа на газе - плохое
открытие всасыв. клапана.



Фиг. 27. Работа на газе - плохое открытие
всасыв. клапана.

P_i среднее - 3,16 атм.

$$N_i = \frac{57.0,10.3,16.1108,4.2}{2.60.75} = 4,44 \text{ л.с.}$$

$$N_a = \frac{110,2.16,1}{736} = 2,41 \text{ л.с.} \quad N_{\text{э}} = \frac{2,41}{0,70} = 3,45 \text{ л.с.}$$

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{N_{\text{э}}}{N_i} = \frac{3,45}{4,44} \approx 0,78.$$

От бензинового двигат. $\frac{2,41}{3,02} \cdot 200 \approx 80\%$

расход угля в час $\frac{11,89}{4,58} = 2,60 \text{ кг.}$

расход тепла горючего в час $Q = 2,60.6920 = 18000 \text{ кал.}$

$$q_i = \frac{18000}{4,44} = 4060 \text{ кал.} \quad \eta_i = \frac{632}{4060} = 0,156.$$

$$q_a = \frac{18000}{2,41} = 7460 \text{ кал.} \quad \eta_a = \frac{632}{7460} = 0,085$$

$$q_{\text{э}} = \frac{18000}{3,45} = 5220 \text{ кал.} \quad \eta_{\text{э}} = \frac{632}{5220} = 0,121$$

$$C_i = \frac{4060}{6920} = 0,587 \text{ кг. с|ч.}$$

$$C_a = \frac{7460}{6920} = 1,057 \text{ кг. с|ч.}$$

$$C_{\text{э}} = \frac{5220}{6920} = 0,755 \text{ кг. с|ч.}$$

Анализ отработанных продуктов горения из нескольких проб указал на хорошее сгорание в цилиндрах двигателя.
I проба - - CO_2 - 16,6% CO - 0% O_2 - 3%

2 проба	- CO ₂	- 17,4%	CO	- 0%	O ₂	- 2,8%
3 "	-	- 16,8%	"	-	O ₂	- 2,6%
4 "	-	- 16%	"	-	-	- 3,5%
5 "	-	- 17,4%	"	-	-	- 2,3%

что в среднем составит CO₂ ∞ 17% и O₂ ∞ 2,85%,

почти при полном отсутствии CO.

Анализ генераторного газа, произведенный обычным путем дал такой состав:

H₂ - 15,3% CO - 20% CH₄ - 4,48%.

O₂ - 1,4% CO₂ - 8,6% N - 50,22%

H_u ∞ 1171 кал./м³

Из результатов этого испытания можно видеть, что при E = 4,66 получена довольно хорошая экономичность для данной мощности, кроме того η_{мех.} значительно лучше, так как смазка была более благоприятна, но, конечно, он ниже, чем у бензинового двигателя, вследствие повышения степени сжатия, что должно естественно иметь место.

Состав генераторного газа вполне удовлетворителен, не отличается от существующих и проверенных опытом, повышенное содержание метана может быть объяснено, как будет видно из дальнейшего, частичным каталитическим действием внутренней трубы в газогенераторе, нагретой до температуры около - 400-500°C., а также частичным распадом высших углеводородов до водорода и метана, как более устойчивого углеводорода с достаточно высоким температурным пределом существования - в условиях процесса.

Дальнейшее повышение степени сжатия для генераторного газа данного состава и температуры оказалось невозможным, так как повлекло за собой явление детонации, и

агрегат перестал исправно работать; преждевременные взрывы выбрасывали газ из подводящего трубопровода и двигатель останавливался. Действительно, если средняя температура всасываемого газа составляет около 140°C или 410° абс., то можно с известной долей вероятности допустить, что температура смеси (к сожалению она не измерялась) перед началом сжатия T_а, после восприятия тепла от остаточных газов и т. п. может быть весьма близка к 400° абс., и тогда температура в конце сжатия лежит на пределе допуссаемом расчетом, а именно:

$$\lg \frac{T_c}{T_a} = 0,35 \lg 4,66; \lg \frac{T_c}{T_a} = \lg 1,73$$

$$T_c = 400 \cdot 1,73 \cong 685^\circ \text{ абс.} > 670^\circ \text{ абс.}$$

После этого испытания, а также проб с повышенными степенями сжатия при работе на паровоздушном газе (E=5,05) был поставлен ряд опытов при E = 5,54 на слабоводородном газе [без пара] с поддувкой отработанных продуктов горения двигателя. Предварительно перед этим производилась проба агрегата в холостом ходу в течение 3,5 часов при указанных условиях, причем ни регулировка, ни газ не пострадали, двигатель обнаружил достаточную устойчивость, хорошо брал с места, расход древесного угля в холостом ходу выразился в 2,23 кг/час. Запуск агрегата осуществлялся уже не с бензина, а путем пуска динамомашины электромотором, после чего через 5-8 минут агрегат начинал работу не на смеси бензина с газом, как ранее с последующим переходом на газ, а естественно - сразу на газе, что, конечно, дало большие удобства.

В условиях обычной эксплуатации при наличии вентилятора и двигателя с приводными клапанами, запуск, конечно, может быть осуществлен от руки обычным способом.

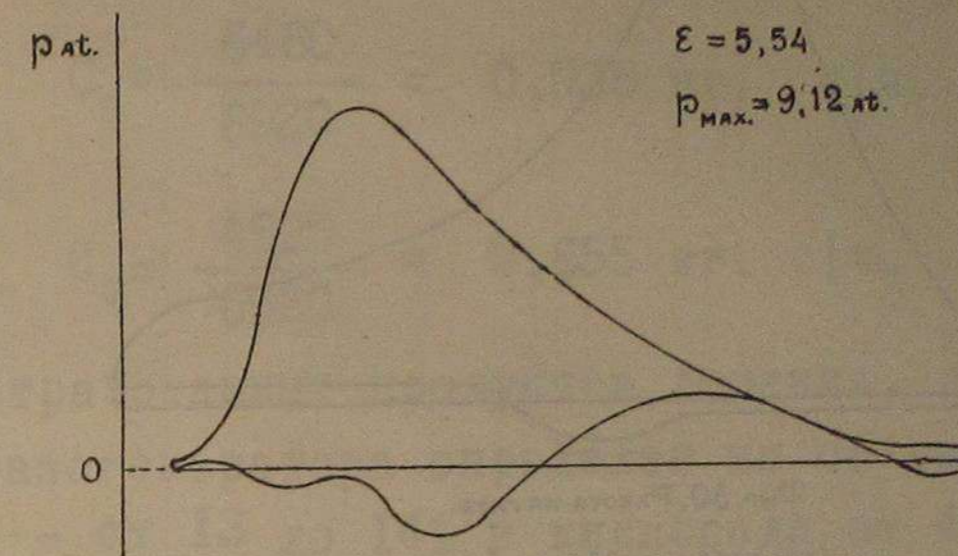
Переходя к последующим испытаниям, не лишним будет указать, что за отсутствием аппаратуры нельзя было изме-

ритель количество потребляемого воздуха, генераторного газа, поддувочного отработанного газа и проч.

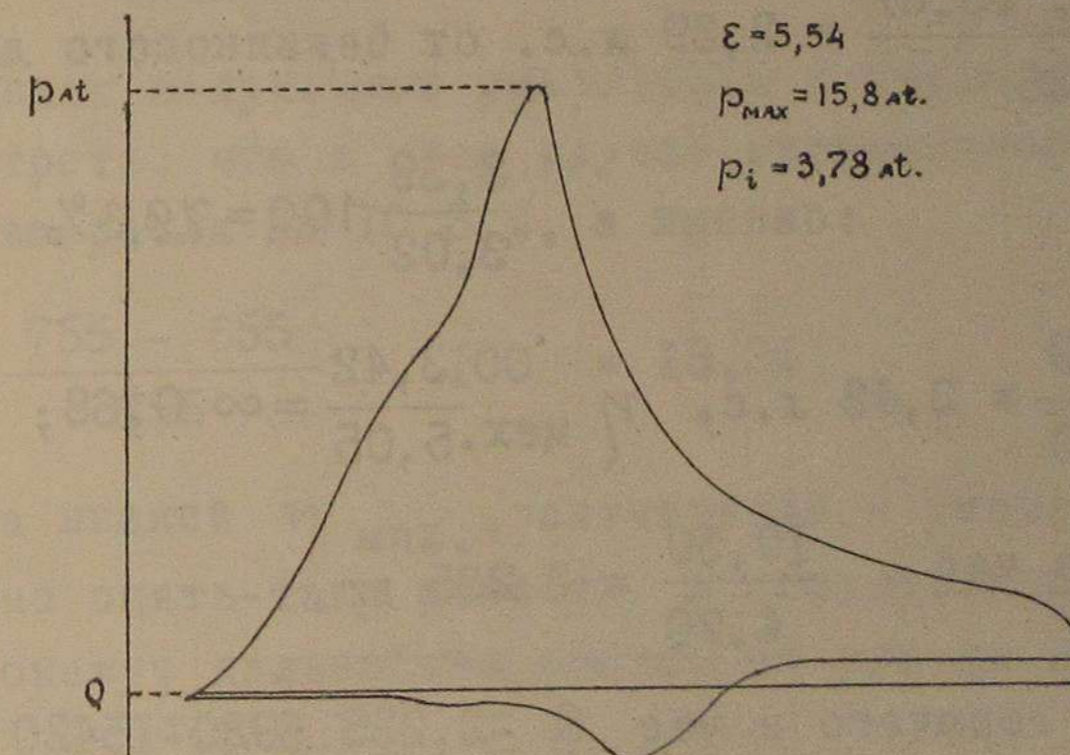
Т а б л и ц а 9.

Агрегат "Penta" нагенераторном газе /слабоводородный с поддувкой отработанных продуктов горения двигателя). Фиг. 28, 29 и 30 - $\epsilon = 5,54$.

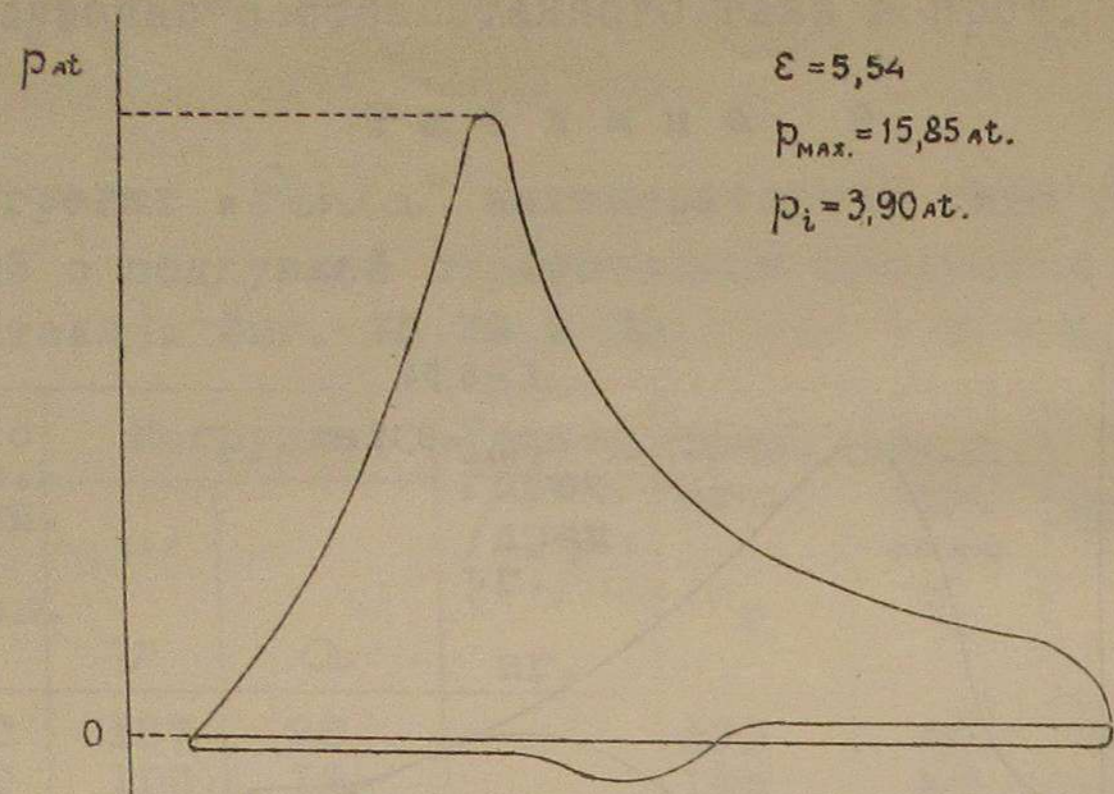
№	Число обор. в мин. по тахом. n	Нагрузка.		Расход горюч. /древ. уг. / кг.	Темп. газа $^{\circ}\text{C}$	Темп. отх. воды $^{\circ}\text{C}$	ПРИМЕЧАНИЕ.
		ν	a				
1.	1000	107	20	Расход угля 10,50 кг.	123	50	Исследование начато в 6 ч. 18 м., окончено - 11 ч. Продолж. 4,6 ч.
2.	1030	100	18		132	50	
3.	1040	108	17		138	50	
4.	1060	114	17		141	50	
5.	1050	110	17		150	50	
6.	1050	111	16		155	50	
7.	1050	112	16		156	51	
8.	1010	106	15		158	50	
9.	1050	110	15		160	50	
10.	1040	110	15		160	51	
11.	1030	110	15,5		161	51	
12.	1030	110	15		164	51	
13.	1050	112	15,5		164	51	
14.	1045	111	15		164	51	
15.	1040	110	15		161	52	
16.	1060	114	16		157	52	
17.	1060	110	16		155	50	
18.	1045	112	15		160	50	
19.	1045	110	16		161	51	
20.	1050	111	15,5		153	48	
21.	1070	116	16		151	51	
22.	1045	113	16		148	52	
23.	1010	109	15		155	47	
24.	1050	111	15,5		150	50	
25.	1000	108	14,5		153	47	
26.	1060	118	15		156	46	
Ср.	1041	110,50	15,87		153	50	



Фиг. 28. Зажигание выключено.



Фиг. 29. Работа на газе. (ввз пара с поддувкой).



Фиг. 30. Работа на газе.
(без пара с поддувкой).

p_i среднее = 3,84 ат.

$$N_i = \frac{57,0 \cdot 10,3 \cdot 3,84 \cdot 1041,2}{2 \cdot 60 \cdot 75} = 5,05 \text{ л.с.}$$

$$N_a = \frac{110,5 \cdot 15,87}{736} = 2,39 \text{ л.с. от бензинового двигателя}$$

$$\frac{2,39}{3,02} \cdot 100 = 79,3\%$$

$$N_e = \frac{2,39}{0,70} = 3,42 \text{ л.с.} \quad \eta_{\text{мех}} = \frac{3,42}{5,05} = 0,68;$$

расход угля в час $\frac{10,50}{4,70} = 2,235 \text{ кг.}$

расход тепла горючего в час $Q = 2,235 \cdot 6920 = 15420 \text{ кал.}$

$$q_i = \frac{15420}{5,05} = 3060 \text{ кал.} \quad \eta_i = \frac{632}{3060} = 0,206$$

$$q_a = \frac{15420}{2,39} = 6460 \text{ к.} \quad \eta_a = \frac{632}{6460} = 0,098$$

$$q_e = \frac{15420}{3,42} = 4520 \text{ кал.} \quad \eta_e = \frac{632}{4520} = 0,14.$$

$$C_i = \frac{3060}{6920} = 0,443 \text{ кг. на с|ч.}$$

$$C_a = \frac{6460}{6920} = 0,935 \text{ кг. с|ч.}$$

$$C_e = \frac{4520}{6920} = 0,655 \text{ кг. с|ч.}$$

Состав отработанных продуктов горения, вдуваемых в топливник газогенератора определен по объему: в процентах: CO_2 --- от 13 до 14% и кислорода от 4 до 5%

Состав генераторного газа:

H_2 - 5,53% CO - 21,6% CH_4 - 5,28%

CO_2 - 4,8% O_2 - 0,8% N - 62,51%

$H'_u \approx 1148 \text{ кал.}$

Сопоставляя полученные результаты с предыдущими можно легко усмотреть, что в этом случае экономичность работы агрегата возрасла на 10,3%, а именно:

$$\frac{755 - 655}{755} \cdot 100 = 13,3\%$$

несмотря на низкий $\eta_{\text{макс.}}$, значительное уменьшение которого нужно опять-таки отнести к недостаткам смазки, ибо, как покажут дальнейшие опыты, он все-же должен быть более 0,70.

В целях проверки полученных результатов было поставлено еще два подобных же исследования, причем в последнем случае поддувка газа была уменьшена, что, конечно, сейчас же сказалось на понижении экономичности работы агрегата.

Т а б л и ц а 10.

Агрегат "Penta" на генераторном газе (слабоводородный с поддувкой) E = 5,54.

№	Число обор. в мин. по тахом. n	Нагрузка .		Расход горюч. /др. уг./ кг.	Темп. газа °C	Темп. отх. воды °C	ПРИМЕЧАНИЕ.
		v	α				
1.	1035	110	16	Расход угля 9,630 кг.	154	50	Исследование начато в 4 ч., окончено в 8 ч.15 м. Продолж. - 4,25 ч.
2.	1050	112	16		146	50	
3.	1040	110	16		149	50	
4.	1050	110	16		154	50	
5.	1060	113	16		150	52	
6.	1050	114	16		150	52	
7.	1070	115	16		146	50	
8.	1065	114	16		149	50	
9.	1070	116	16		147	51	
10.	1070	115	16		148	50	
11.	1050	112	16		150	52	
12.	1050	112	15,5		152	52	
13.	1065	114	16		151	50	
14.	1050	110	15,5		154	51	
15.	1070	114	16		157	50	
16.	1050	110	16		157	50	
17.	1070	115	16		157	55	
18.	1050	110	15,5		147	55	
19.	1050	110	15		151	50	
20.	1060	111	15,5		156	52	
21.	1075	111	15,5		152	48	
22.	1080	113	16		149	60	
23.	1090	117	16		156	52	
24.	1090	117	16		156	52	
25.	1080	112	16		170	50	
ор.	1061	112,68	15,85		152	51,4	

$$N_a = \frac{112,68 \cdot 15,85}{736} = 2,42 \text{ л.с., т.е. от бензинового двигателя } \frac{2,42 \cdot 100}{3,02} = \approx 80 \%$$

$$\text{Расход угля в час } \frac{9,630}{4,25} = 2,27 \text{ кг.}$$

$$\text{Расход тепла горючего в час } Q = 2,27 \cdot 6920 = 15700 \text{ кал.}$$

$$N_{эф.} = \frac{2,42}{0,70} = 3,46 \text{ л.с.}$$

$$q_a = \frac{15700}{2,42} = 6480 \text{ кал. } \eta_a = \frac{632}{6480} = 0,0976$$

$$q_z = \frac{15700}{3,46} = 4540 \text{ кал. } \eta_z = \frac{632}{4540} = 0,139$$

$$C_a = \frac{6480}{6920} = 0,947 \text{ кг. с/ч.}$$

$$C_z = \frac{4540}{6920} = 0,656 \text{ кг. с/ч.}$$

Состав выхлопных газов или поддувочного газа:

$$CO_2 \text{ от 17 - 15\% } O_2 \text{ от 2,5 - 4 \%.}$$

Сопоставляя с предыдущим нетрудно видеть, что экономия на угле почти та же:

$$\frac{755 - 656}{755} \cdot 100 = 13,1 \%$$

$$N_{agr.} = \frac{114,8 \cdot 16,2}{736} = 2,53 \text{ HP}$$

$$\text{от бензинового двигателя } \frac{2,53}{3,02} \cdot 100 \approx 84 \%$$

$$N_z = \frac{2,53}{0,70} = 3,62 \text{ л.с.}$$

$$\text{расход угля в час } \frac{10,5}{4,333} = 2,43 \text{ кг.}$$

Т а б л и ц а II.

Агрегат "Penta" на генераторном газе /слабоводородный с уменьшенной поддувкой/. E = 5,54.

№	Число обор. в мин. по тахом. n	Нагрузка.		Расх. горючего (древ. уг.) кг.	Темп. газа °С	Темп. воды.	ПРИМЕЧАНИЕ.
		v	a				
1	1080	114	16	10,495 кг.	151	48	Исследование начато - I ч. 30 м., кончено - 5 ч. 50 м. продолж. - 4,323 ч.
2	1070	117	16		151	51	
3	1080	115	16		151	51	
4	1050	115	16		151	51	
5	1075	115	16		147	49	
6	1080	116	16		147	53	
7	1075	116	16		152	51	
8	1070	115	16		150	51	
9	1080	116	16		152	52	
10	1080	115	16		151	51	
11	1070	115	16		151	51	
12	1070	114	16		149	55	
13	1060	112	16		148	47	
14	1060	113	16		152	46	
15	1070	114	16		147	52	
16	1040	112	16		146	51	
17	1055	114	16		152	51	
18	1080	115	16		156	51	
19	1050	114	16		152	51	
20	1090	118	16		152	54	
21	1090	116	17		156	54	
22	1070	114	16		153	48	
23	1090	116	17		155	50	
24	1090	117	18		157	54	
25	1080	112	17		161	50	
Ср.	1072	114,8	16,2		151,5	51	

Q = 2,43 6920 = 16800 кал.

$q_a = \frac{16800}{2,53} = 6640$ кал. $\eta_a = \frac{632}{6640} = 0,0954$

$q_z = \frac{16800}{3,52} = 4640$ к $\eta_z = \frac{632}{4640} = 0,136$

$C_a = \frac{6640}{6920} = 0,960$ кг. с/ч.

$C_z = \frac{4640}{6920} = 0,671$ кг. с/ч.

Экономия на угле по сравнению с паровоздушным газом меньше, чем в предыдущих случаях:

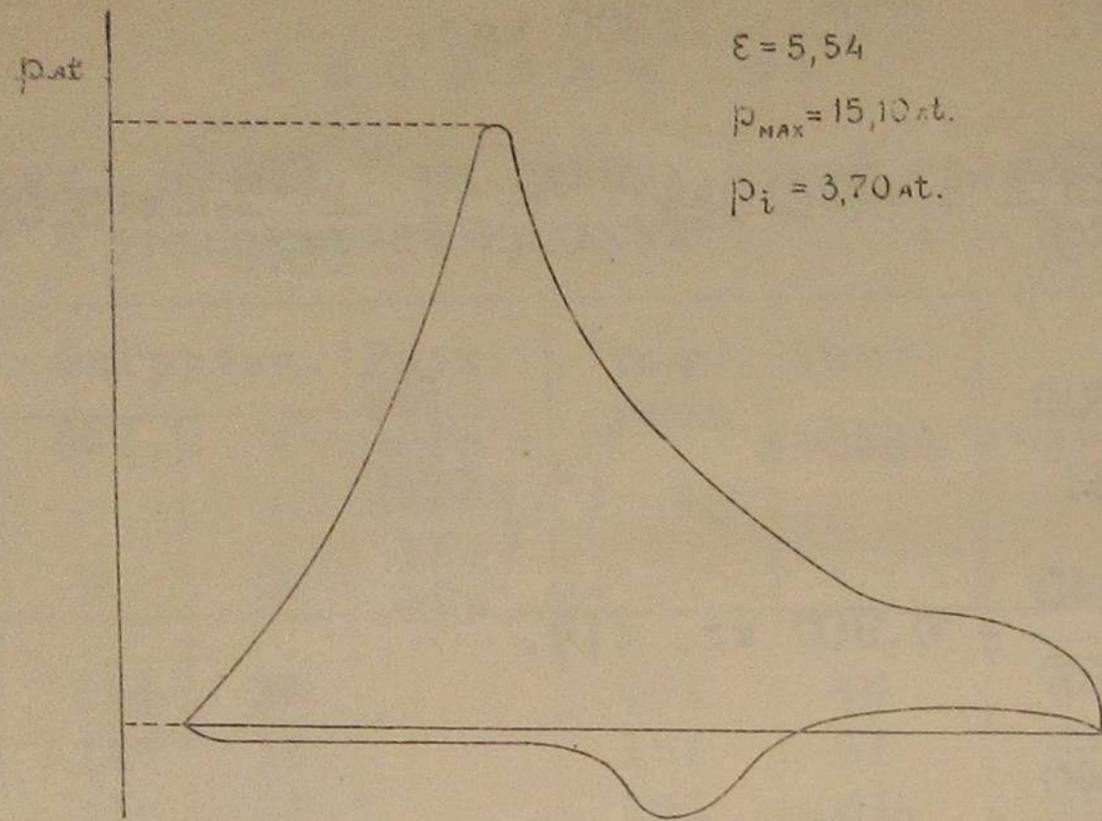
$\frac{755 - 671}{755} \cdot 100 = 11,13 \%$

Для получения сравнительных данных экономичности работы с поддувкой, по отношению к работе без поддувки, при E = 5,54, был поставлен и этот опыт, причем обнаружено, что стоимость единицы силы в случае E = 5,54 без поддувки отработанного газа равна стоимости единицы силы при E = 4,66 при паровоздушном газе, что указывает на то, что поддувка дает возможность при малых сравнительно степенях сжатия получить такую экономию, которую вряд-ли можно компенсировать дальнейшим повышением E.

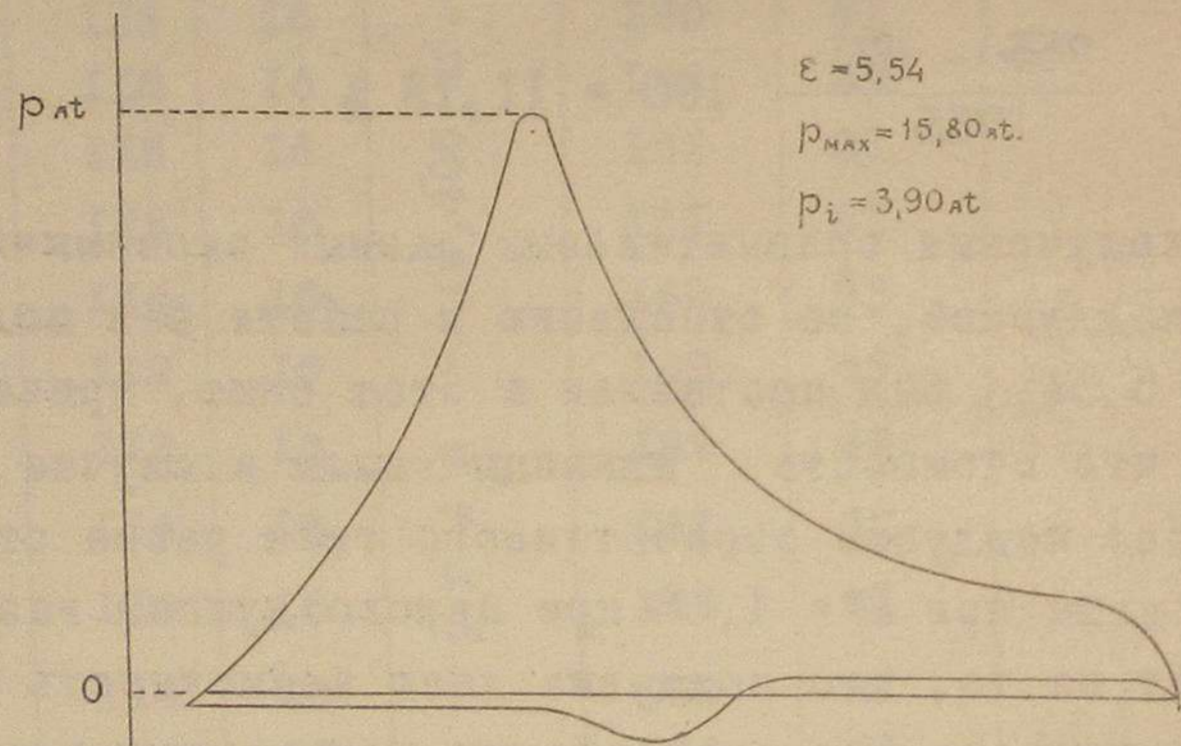
P_i среднее = 3,80 атм.

$N_i = \frac{57,0,10 \cdot 3,80 \cdot 1072,62 \cdot 2}{2 \cdot 60 \cdot 75} = 5,17$ л. с.

$N_a = \frac{115,8 \cdot 16,48}{736} = 2,59$ л. с.



Фиг. 31. Работа на газе.
(БЕЗ ПАРА И БЕЗ ПОДДУВКИ).



Фиг. 32. Работа на газе.
(БЕЗ ПАРА И БЕЗ ПОДДУВКИ).

от бензинового двигателя $\frac{2,59 \cdot 100}{3,02} = \approx 86 \%$

$N_e = \frac{2,59}{0,70} = 3,70$ л.с. $\eta_{мех} = \frac{3,70}{5,17} = 0,715$
расход угля в час $\frac{10,175}{3,65} = 2,79$ кг.

расход тепла горючего $Q = 2,79 \cdot 6920 = 19300$ кал.

Т а б л и ц а 12 .

Агрегат «Penta» на генераторном газе /слабоводо-
родный без поддувки и без пара/. $\epsilon = 5,54$.

Фиг. 31 и 32.

№ №	Числа обор. в мин. по тахом. <i>n</i>	Нагрузка .		Расход горюч. /древ. уг./ кг.	Темп. газа °C	Темп. отх. воды °C	ПРИМЕЧАНИЕ.
		<i>v</i>	<i>a</i>				
1	1080	117	15	10,175 кг.	142	51	Исследование начато 10 ч. 43 м. Кончено 2 ч. 22 м. Продолж. - 3,65 часа.
2	1040	112	15,5		151	50	
3	1050	115	16		153	50	
4	1080	117	16		157	52	
5	1080	117	16		157	52	
6	1060	114	16		156	54	
7	1080	115	17		156	51	
8	1080	116	16		157	53	
9	1090	116	17		155	52	
10	1070	116	17		153	54	
11	1075	116	17		147	51	
12	1080	116	16,5		144	52	
13	1075	116	16		142	58	
14	1070	114	16		144	43	
15	1080	117	17		141	51	
16	1075	115	17		140	52	
17	1080	115	17		140	51	
18	1070	114	16,5		145	51	
19	1090	116	17		140	57	
20	1080	116	17		148	52	
21	1080	114	16,5		157	48	
Ср.	1072,62	115,8	16,48		148,8	51,6	

$$q_i = \frac{19300}{5,17} = 3740 \text{ кал. } \eta_i = \frac{632}{3740} = 0,169$$

$$q_a = \frac{19300}{2,59} = 7450 \text{ кал. } \eta_a = \frac{632}{7450} = 0,085$$

$$q_e = \frac{19300}{3,70} = 5220 \text{ кал. } \eta_e = \frac{632}{5220} = 0,121.$$

$$C_i = \frac{3740}{6920} = 0,54 \text{ кг. с/ч.}$$

$$C_a = \frac{7450}{6920} = 1,08 \text{ кг. с/ч.}$$

$$C_e = \frac{5220}{6920} = 0,755 \text{ кг. с/ч.}$$

Состав отработанных продуктов горения в среднем дал такие величины:

$$CO_2 - \text{От } 17 - 17,7\%, \quad O_2 \text{ от } 1,4 \text{ до } -3\%$$

что нужно признать весьма удовлетворительным.

Анализ генераторного газа дал следующие результаты:

$$H_2 - 8,78\%; \quad CO - 21,16\%; \quad CH_4 - 3,07\%$$

$$O_2 - 1\%. \quad CO_2 - 7\% \quad N - 58,99\%$$

$$H'_u \approx 1040 \text{ кал./м}^3$$

Из сопоставления с предыдущими результатами видно, что экономия в этом случае естественно свелась к нулю, так как и H'_u - понизилось, несмотря на то, что $\eta_{\text{мех.}}$ несколько выше.

В целях выяснения степеней сжатия, при которых начнется детонация слабоводородной смеси особенно с поддувкой отработанных продуктов горения двигателя, был вложен еще

один медный вкладыш между пяткой шатуна и верхними подшипниками колена вала, причем получено $E = 6,16$.

Агрегат пущен в ход обычным способом и работал в течение двух часов, N_a - осталась при прежнем значении, но двигатель получил большую устойчивость в работе, напоминающую его работу на бензине. Температура газа оставалась в пределах $120 - 150^\circ C$. Вспышки газа следовали одна за другой вполне отчетливо, детонации не наблюдалось. Испытания не удалось провести полностью вследствие независящих от нас обстоятельств. Пришлось вообще отказаться от дальнейшей работы на агрегате "Penta", так как автоматические клапана, большие выработки вала и цилиндров, примитивная смазка и проч. порождали массу хлопот, отнимая много времени на подготовку двигателя к пуску.

Таким образом нужно полагать, что $E \approx 6,16$ в данных температурных условиях находится весьма близко к тому пределу, при котором дальнейшее сжатие может вызвать детонацию, конечно, это обстоятельство нуждается в более тщательной проверке в последующих испытаниях, не могущих войти в настоящий труд.

Если сделать хотя-бы грубую прикидку на те же, что и ранее температурные условия, то в этом случае при $E = 5,54$, получим:

$$\lg \frac{T_c}{T_a} = 0,35 \lg 5,54; \quad T_o = 400^\circ \text{ абс.}$$

$$T_c = 400 \cdot 1,82 \approx 725^\circ \text{ абс.} > 723 \text{ | теоретиче-}$$

ских |, а при $E = 6,16$.

$$\lg \frac{T_o}{T_a} = 0,35 \lg 6,16 = \lg 1,89.$$

$$T_c = 400 \cdot 1,89 = 765 \text{ абс.} > 723.$$

Таким образом, нужно считать, что предел повышения E весьма близок к 6.

Кроме всего изложенного необходимо указать, что расход воды при ведении паровоздушного процесса на 1 л. с/ч. составлял около 0,750 кг.^{х)} количество пыли, осаждаемой в очистителе за 5 часов работы двигателя, выражалось в количестве 82 гр.; при этих условиях агрегат "Penta" работал с очистителем принятой конструкции без остановок, совершенно не реагируя на засорение в течение 8 часов.

Как уже упоминалось, четырехцилиндровый агрегат Britton номинальной мощностью - 8 л. с. был пущен в ход на генераторном газе лишь в виде иллюстрации, ибо он, вследствие неприспособленности к изменению степени сжатия не представлял особого интереса в рамках настоящего исследования.

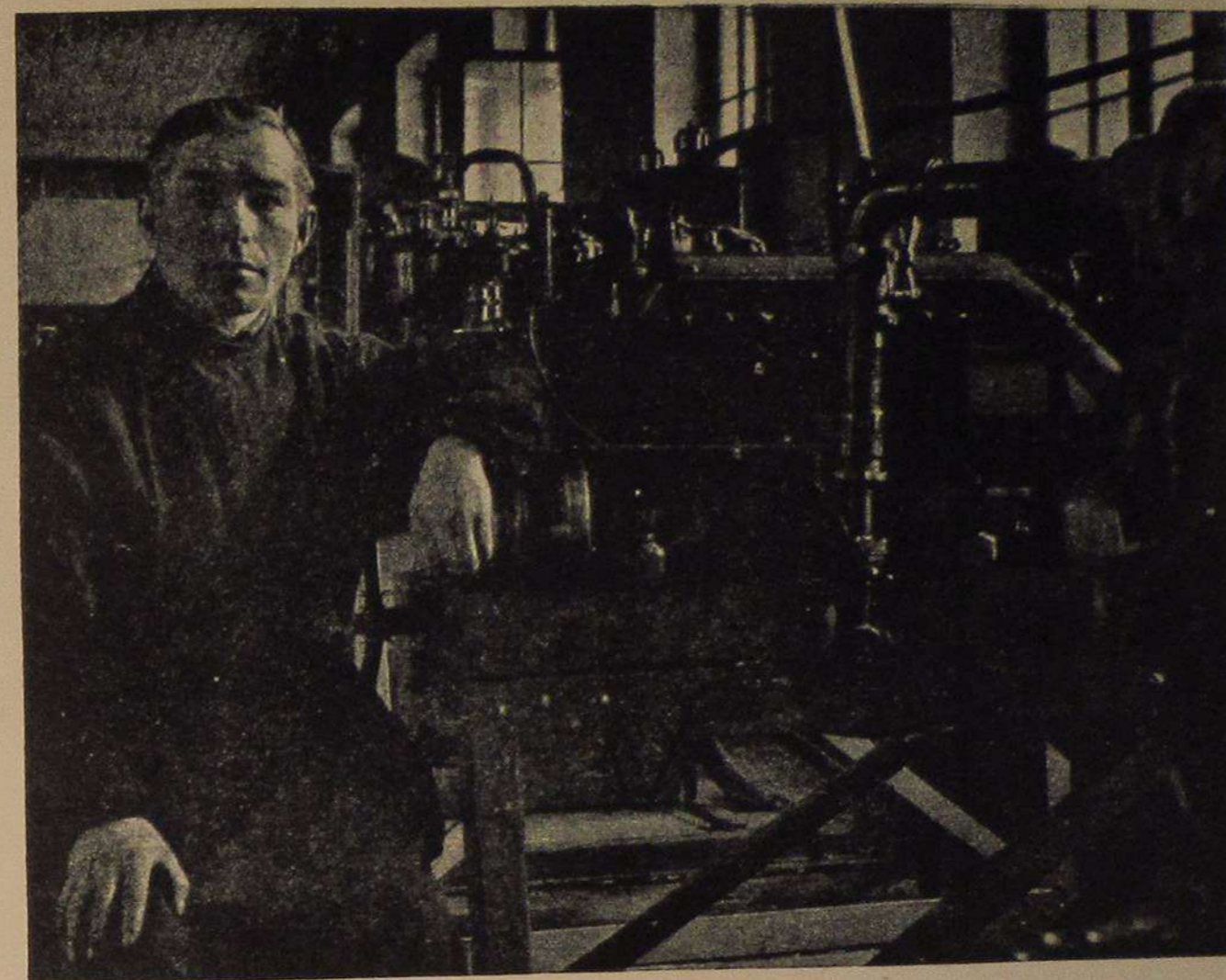
При его испытании, вследствие легкого запуска [двигатель переходил с бензина на газ через 3 минуты и легко пускался на газе после кратких минутных остановок], чему, конечно, в большой мере способствовали приводные всасывающие клапана, намечалось, главным образом, производство анализов генераторного газа - паровоздушного и слабодородного без впуска пара и без поддувки с закладкой первичного очистителя катализатора С - как указывалось ранее [Фиг.7].

Общий вид установки и подвода газа изображен на фиг. 33 и 34.

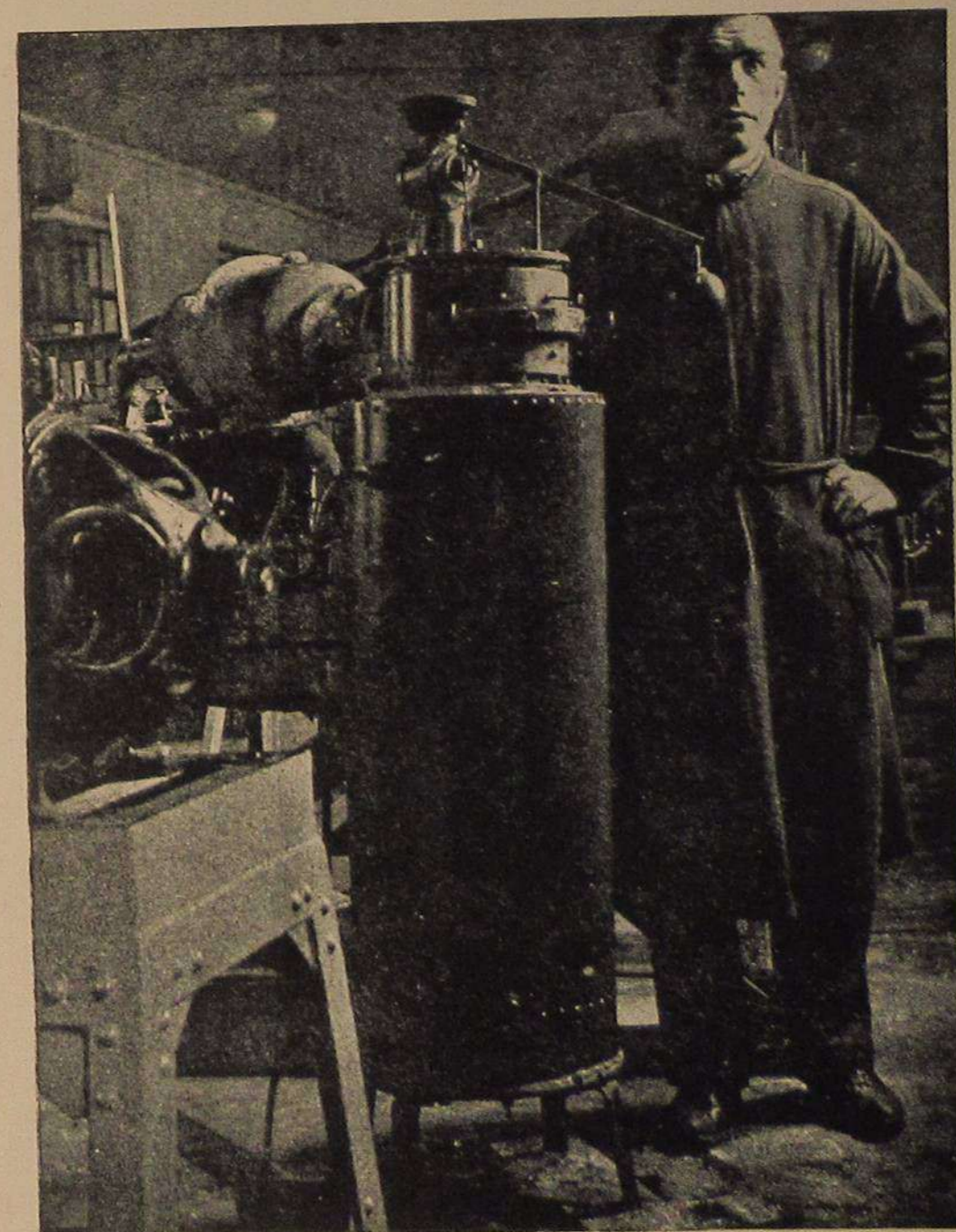
Агрегат был пущен в ход на бензине, а затем, без особого труда, через 3 минуты переведен на газ.

Нагрузка осуществлялась от динамометра в 6.50 к. в. на ламповый реостат, причем оказалось, что без каких бы то ни было изменений в отношении степени сжатия, агрегат развивал на газе от 75- 78 % от мощности его на бензине, а временами, особенно после шуровок, давал мощность, равную бензиновому двигателю, которая затем медленно спадала

х) *Guldner* расход воды определяет от 0,75 до 1,5 кг. на 1 кг. угля, тогда при расходе угля 0,755 кг. на о/ч. расход воды должен составить от 0,54 до 1,1 кг. на о/ч.



Фиг. 33.



Фиг. 34.

до прежнего соотношения.

Анализ проб генераторного газа, взятых в различных условиях в смысле присутствия или отсутствия дополнительного катализатора - очистителя C_i [первичным катализатором надо считать железную сдвижную шахту], а также при подаче пара в топливник газогенератора или без него, дали следующие результаты:

1. Паровоздушный газ без катализатора C_i

H_2 - 16,02 %; CO - 23,9 %, CH_4 - 5,8 %

O_2 - 1 %, CO_2 - 6,8 %; N - 46,48 %

$H_u^1 \approx 1500$ кал./м³

2. Паровоздушный газ с дополнительным катализатором C_i

H_2 - 18,1%, CO - 19%; CH_4 - 7,55 %

CO_2 - 5,2 % O_2 - 1 %, N - 49,15 %.

$H_u^1 \approx 1550$ кал./м³

3. Слабоводородный газ без впуска пара и без катализатора C_i -

H_2 - 8,65%, CO - 22,65%, CH_4 - 3,2 %

O_2 - 1%; CO_2 - 6,8 %, N - 57,70.

$H_u^1 \approx 1088$ кал.

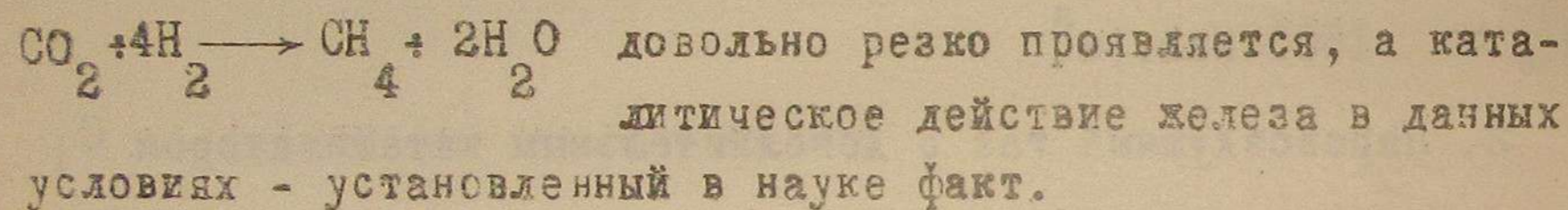
4. Слабоводородный газ с катализатором C_i без впуска пара.

H_2 - 10%, CO - 20% , CH_4 - 6,7 %

CO₂ - 7,8%, O₂ - 1%, N - 54,5 %

H₂ ∞ 1320 кал.

Отсюда, думается, можно вынести такое суждение, что усиление каталитического действия шахты газогенератора путем помещения добавочного очистителя-катализатора C_i полезно в отношении выхода метана, особенно при слабо-водородном газе, т.е. при ведении процесса без пара. Конечно указанных опытов не достаточно для вывода каких-либо количественных соотношений, но, во всяком случае, нужно полагать, что влияние катализатора C_i в отношении облегчения хода реакции -



В целях выявления общей картины в отношении результатов, добытых исследованиями при испытании агрегатов "Penta" и "Briton", а также удобств общего их сопоставления, все полученные данные сведены в таблицы 13, 14 и 15.

Просматривая графы таблицы 13-й, можно легко заметить следующее обстоятельство, что случай под № 3 оказался наиболее выгодным в отношении расхода топлива, несмотря на довольно низкий η_{мех.}; последний случай дал наибольшую мощность, несмотря на то, что газ имелся худшего состава, нежели в предыдущем случае. Разница в N_i для третьего и четвертого практической роли не играет, ибо лежит в пределах ошибок планиметра, объяснение же в отношении большей N₃ надо искать в лучшем η_{мех.}, вследствие чего число оборотов было несколько больше, а следовательно динамомашинка работала с лучшей отдачей, таким образом, в последнем случае повышение N₀ шло, как вследствие лучшего η_{мех.} так и η_{дин.}

Т а б л и ц а 13.

Агрегат "Penta" 4-5 л.о.	N _i л.о.	N ₃ л.с.	N ₀ л.о.	η _i	η ₃	η ₀	η _{мех}	C _i кг.	C ₃ кг.	C ₀ кг.	ПРИМЕ- ЧАНИЕ.
1. На бензи- не E=4	5,26	4,32	3,02	0,22	0,18	0,126	0,62	0,288	0,250	0,500	100
2. На паро- возд. га- зе E=	4,44	3,45	2,41	0,154	0,121	0,085	0,78	0,593	0,755	1,057	80
3. На слабо- водородн. газе с поддувк. E=5,54	5,05	3,46 3,42 3,63	2,42 2,39 2,53	0,206	0,139 0,14 0,125	0,0975 0,098 0,0954	0,68	0,443	0,656 0,658 0,671	0,947 0,935 0,960	79-84
4. На слабо- водор. га- зе без поддувки E=5,54	5,17	3,70	2,59	0,169	0,121	0,085	0,715	0,540	0,755	1,08	86

Но в конце концов и не в этом суть дело, ибо если даже допустить, что в условиях опыта 3-го имеет место некоторое уменьшение мощности то тогда, при сравнении с 4-м опытом, окажется что с понижением отдачи агрегатом энергии в сеть имеет место понижение расхода горючего на единицу силы, т.е. явная нелепость, ибо в обычных условиях явление происходит в обратном смысле.

Объяснение в отношении некоторой разницы $N_э$, $N_а$ и $\eta_{мех.}$ лежит главным образом опять-таки в дефектах смазки агрегата „Penta“, которые неотступно преследовали во все время испытаний, при сильном пропуске колен приходилось весьма экономить масло, так как малейший его избыток проникал на днище поршней, попадал на свечи и зажигание отказывало, - очевидно, в четвертом случае были лучшие условия, что также можно видеть из таблиц испытаний - 9, 10, 11 и 12 в графе „n“ (числа оборотов); в то время, как в первых трех, особенно в 9, имеют место внезапные падения числа оборотов до 1010 и даже 1000, в последнем случае имеется единственный раз минимум 1040; подобные явления несколько раз срывали работу, причем обнаруживался всегда нагрев вала или подшипников.

Но все-же, несмотря на такие крайне неблагоприятные обстоятельства, несмотря на худшую отдачу, худший $\eta_{мех.}$ и проч., единица силы для третьего случая табл. 13 обходится дешевле, нежели для 2-го и 4-го на 13-14%; нужно полагать, что при лучшей смазке эта экономия выразится еще ярче, а может быть окажется и больше. В некоторых случаях удавалось получать и более высокие ее значения во время испытаний, но эти величины здесь не приводятся, так как требуют еще детальной проверки.

Расширяя несколько вопрос смазки вообще, для бензинового двигателя, работающего на генераторном газе, нужно отметить, что плохая смазка при работе на слабодородном газе, особенно при температурах более 100°C, сильно понижает $\eta_{мех.}$, ибо имеет место, так сказать, подсушивание смазки.

При работе на бензине и даже на газе, сравнительно богатым водородом, вследствие образующихся паров в цилиндрах двигателя от сгорания их смесей с воздухом - такое подсушивание смазки не будет иметь место или если частично и будет происходить при паровоздушном газе, то, во всяком случае, в меньшей степени.

Кроме того, из последней графы таблицы 13-й можно видеть, что при повышенных степенях сжатия, даже при неблагоприятных температурных условиях (газ $t = 150^\circ C$), оказалось возможным получить до 86% мощности от мощности агрегата на бензине. При нормальной температуре газа, очевидно эта цифра должна значительно приблизиться к 100%, т.е. к мощности бензинового двигателя и может быть при всей благоприятной совокупности прочих обстоятельств, а именно: холодном газе, повышенной степени сжатия, приводных всасывающих клапанах и некоторыми приемами увеличения теплотворной способности генераторного газа на куб.метр (устройство, напр.-катализатора для увеличения выхода метана и т.п.), удастся приравнять или почти уравнивать эти мощности. Этот взгляд, конечно, пока лишь тенденция, но все-же нужно отметить, что первые факторы этой тенденции в наших руках, а последний подает надежды, правда пока еще как будто совсем определенные, но во всяком случае имеющие под собою реальную и научную под'основу. Что касается расхода угля, то, как видно из табл. 13, минимальная его величина для третьего случая составляет 655 гр. на эф.с|ч, что эта величина действительно невелика можно отчасти судить из сопоставления хотя бы с данными *Guldner's* для двигателей, работающих на антраците $H_u = 8000$ кал.; при этих условиях он дает такие величины расхода:

35-70 л.с.	при полной нагрузке	450 гр. с ч.
20-35 л.с.	- - -	500 гр. с ч.
15-20 л.с.	- - -	580 гр. с ч.
10-15 л.с.	- - -	650 гр. с ч.

и если идти таким образом далее, то для двигателя 3-4 л.с. таковой расход для антрацита:

$H'_m = 8000$ кал. должен составить

750 - 770 гр. с/ч., т.е. как раз то, что мы имеем при паровоздушном газе при менее благоприятных условиях, ибо древесный уголь дает всего лишь 6920-7000 кал./кг.-

Таким образом, в отношении расхода угля при поддувке отработанных продуктов горения и с этой стороны, т.е. со стороны конкретных данных практики имеется подтверждение в том, что расход в 757 гр. на с/ч. при паровоздушном газе для двигателя в 4-5 л.с. не только не преувеличен, а скорее преуменьшен, а с другой стороны - полученный расход при поддувке в 655 гр. на с/ч. в обычных условиях паровоздушного процесса при антраците - 8000 кал. относится к двигателям номинальной мощностью 10-15 л.с., а не к 3-4 л.с., таким образом нужно ожидать, что двигатели большей мощности должны работать при поддувке еще экономичнее.

Перейдем теперь к оценке результатов газовых анализов, полученных при испытании сначала агрегата „Penta“, а затем агрегата „Briton“ (табл. 14 и 15).

Таблица 14 показывает, что первый состав газа весьма слаб, явление, которое вполне объясняется условиями работы агрегата, ибо мощность развиваемая им мала, а следовательно газогенератор шел недогруженным.

Второй и третий составы газа вполне удовлетворительны и для паровоздушного газа совпадают с данными практики.

Остановливаясь на рассмотрении 4-5 случая нельзя не заметить, что газ с поддувкой отработанных продуктов горения двигателя имеет лучший состав по сравнению с слабыводородным газом без поддувки, что объясняется большим выходом метана.

Нужно полагать с одной стороны, что температурные условия при поддувке весьма благоприятствуют реакции $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ в присутствии катализаторов с способности (железная внутренняя труба) и, конечно, при определенном количестве водорода, ибо избыток его

Таблица 14.

Наименование газа	Состав газа в объемных % в условиях опыта							ПРИМЕЧАНИЕ.
	H ₂	CO	CH ₄	O ₂	CO ₂	N	H' _m	
1. Паровоздушный (малая нагрузка)	12,4	19	2,2	1,6	9,8	55	966	
2. Паровоздушный	20,5	23	0,14	0,8	6,8	48,76	1136	
3. т о ж е	15,3	20	4,48	1,4	8,6	50,22	1171	
4. Слабоводородн. с поддувкой	5,53	21,6	5,26	0,8	4,8	62,51	1149	
5. Слабоводородный без поддувки.	8,78	21,16	3,07	0,8	5	61,19	1039	

может повести к разжижению образовавшейся порции CH_4 на каждый куб.мт. газа, с другой же стороны наблюдаемое уменьшение CO_2 , несмотря на вдувание его с продуктами горения указывает, что помимо этой реакции идет раскисление CO_2 до CO , также как и в нормальных условиях. Во всяком случае, как упоминалось в теоретической части, при фактической проверке оказалось, что разжижение генераторного газа, по крайней мере в данных условиях, как результат поддувки не имеет места, и подобное заключение является лишь продуктом чисто теоретических рассуждений.

В условиях опыта оказалось, что газ под отметкой 4 - не хуже по теплотворной способности паровоздушного газа.

Для выяснения каталитического действия железа в газогенераторном процессе при испытании агрегата „Briton“ был введен дополнительный очиститель - катализатор C_1 (фиг.7), при котором слабоводородный газ даже без поддувки дал прекрасную теплотворную способность на куб.мт.

К сожалению, при испытании агрегата „Briton“ не было устроено поддувки для проверки и получения более яркой картины в этом отношении, так как замечено, что в условиях принятой конструкции газогенератора, именно при поддувке, имеет место наибольший выход метана.

Данные таблицы 15 определенно указывают и на то, что газогенератор при работе аггр. „Briton“ находился в лучших условиях в отношении нагрузки, нежели при работе с агрегатом „Penta“, чем и объясняется вообще более богатый выход газа, нежели полученный ранее [табл.14].

Не лишним будет отметить, что во Франции также учтен факт явлений детонации генераторного газа, с сравнительно богатым содержанием водорода (от 12% и выше), как обстоятельство, являющееся помехой к осуществлению повышенных степеней сжатия, поэтому там пользуются таким составом генераторного газа:

H_2 - от 4,7 - 11,2%. CO - от 27,5 - 32,8 %.

O_2 - 0 до 0,8 %. CO_2 от 1,3 до 4 %.

Таким образом в этих условиях обогащение газа идет за счет CO , т.е. за счет повышенного расхода углерода, кроме того часть тепла процесса не используется, а следовательно и газогенератор работает менее экономично [расходует от 700 до 800 гр. на с|ч. |^{x)} для мощностей близких к 20 л.с.

Т а б л и ц а 15.

Название газа	Объемный состав газа в % в услов. опыта.						ПРИМЕЧАНИЕ.
	H_2	CO	CH_4	O_2	CO_2	$\text{H}'_{\text{с}} \text{ кал.}$	
1. Паровоздушный	16,02	23,9	5,8	1	6,8	46,48	1500
2. Паровозд. с катализат. C_1	18,1	19	7,55	1	5,2	49,15	1550
3. Слабоводородный	8,65	22,65	3,2	1	6,80	57,7	1088
4. Слабоводородный с катализат. C_1	10	20	6,7	1	7,80	54,5	1320

Оглядываясь назад, и отмечая весь путь, по которому следовала работа, не лишним будет подытожить полученные результаты, а также остановиться на тех надеждах, которые можно возложить на будущее, наметив принципиальные возможности при принятых начальных положениях. Действительно, исходя из совершенно обоснованных научных пред-

x) Le Génie Civil T XC p 5.

Auto-Technik - Die neuzeitliche Entwicklung der Sauggas-Kraftfahrzeuge Nr 10,8.

посылок в отношении частичного использования отработанных продуктов горения двигателя в газогенераторном процессе, облегчая этим всю аппаратуру газогенераторного устройства - мы себе открыли новый путь повышения экономичности всей установки в целом, возможностью дальнейшего повышения степени сжатия горючей смеси. Полученная таким путем большая экономичность установки была освещена экспериментальным исследованием. Это же экспериментальное исследование в довольно неблагоприятных условиях в отношении температур газа, питающего установку все же дало до 86 % мощности от мощности этой установки на бензине.

Нужно полагать, что в условиях опыта [автоматические клапана аггр. „Penta“] этот высокий процент получен отчасти, благодаря сравнительно богатому составу генераторного газа с усиленным выходом метана, чему способствовала принятая конструкция газогенератора. Идя теперь по этому пути далее, присоединяя газогенератор к большей мощности, нежели исследованные, охлаждая генераторный газ до пределов возможного, методами допустимыми в легкой установке, увеличивая выход метана при поддувке отработанных продуктов горения двигателя путем, напр. введения дополнительного катализатора и, наконец, повышая степень сжатия, имеются все основания для получения еще лучших результатов.

И только тогда, когда двигатель, идущий на генераторном газе по своей мощности приблизится к мощности его на бензине так, что разницей между ними практически можно будет пренебречь, только тогда, нужно полагать, явится полный смысл приступить к исследованию вопросов, связанных с удовлетворением особых, специфических требований, предъявляемых к двигателю автомобилем, как механической повозкой.

Останавливая внимание читателя на тех или иных подмеченных фактах, даже в наших сравнительно ничтожных слу-

чаях, мы не устанавливали непреложности того или иного явления, абсолютная значимость которого обусловлена обстановкой опыта, ибо всегда имелось в виду, что в глубоких тайниках природы хранится еще многое, пока что, недоступное человеческому разуму.

Заканчивая этот труд, хочется думать, что, помимо возможных конкретных достижений, затронутая область представляет некоторый чисто научный интерес.

В. Карпов.

19 II 28 г.
У I