

Доцент С. В. ГОЛАШЕВСКИЙ, асс. А. М. БУЗЫННИК, асс. Д. М. ЛЕВИН
и асс. Ю. Н. СОКОЛОВ.

К вопросу о применении искусственных жидких топлив в двигателях внутреннего сгорания.

I. ПРИМЕНЕНИЕ МАЗУТА ИЗ СМОЛЫ ПОЛУКОКСОВАНИЯ САПРОПЕЛИТОВ Ш БАРЗАССКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ ДИЗЕЛЯ *)

Часть III.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ САПРОПЕЛИТОВОГО МАЗУТА В БЕСКОМПРЕССОРНОМ ПРЕДКАМЕРНОМ ДВИГАТЕЛЕ.

I. Опытный двигатель и его установка.

Описываемые ниже, сравнительные испытания были проведены на двухтактном бескомпрессорном двигателе Дизеля с камерой предварительного сгорания Deutz PME.

Вертикальный разрез этого двигателя приводится на фиг. 26. Основные характеристики его сводятся к следующему:

Диаметр цилиндра $D = 200$ мм.

Ход поршня — $S = 300$ мм.

Норм. мощность — $Ne = 25$ л. с.

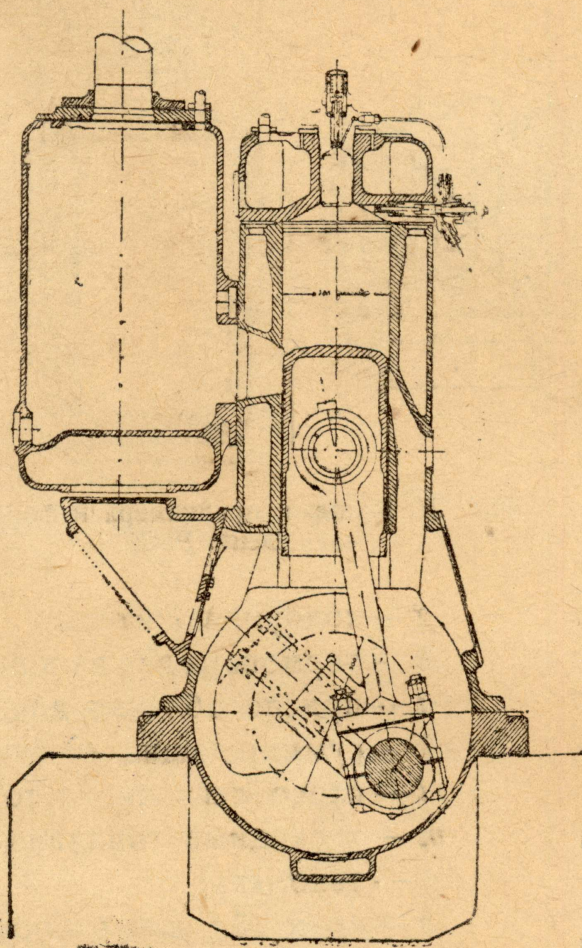
Норм. число обор. — $n = 435$ об/м.

Действительная степень сжатия (считая от момента закрытия выхл. окон), установленная заливкой камеры сгорания и точным измерением рабочего хода поршня $\epsilon = 11,4$; номинальная (считая по всему ходу поршня) $\epsilon' = 15,27$.

Объем камеры предварительного сгорания составляет 21,5% от полного объема камеры сжатия.

Топливный насос двигателя приводится в движение от конического кулака, насаженного на валу регулятора, перемещением которого вдоль оси и достигается регулировка.

Двигатель имеет две форсунки: рабочую — в крышке предка-

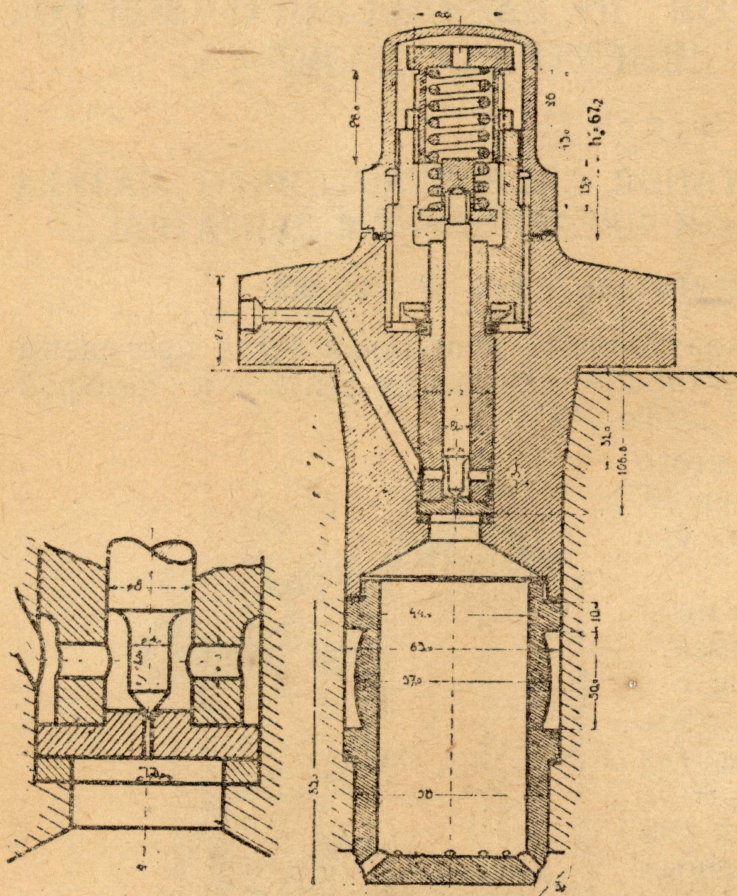


Фиг. 26. Вертикальный разрез двигателя Deutz PME.

*) Начало см. „Известия Сибирского Механико-Машиностроительного Института“, том I (53), вып. 1, Томск, 1933 г.

меры и пусковую, введенную непосредственно в главную камеру сгорания.

Разрез через головку двигателя, предкамеру и форсунку представлен на фиг. 27.



Фиг. 27. Головка, предкамера и форсунка д-ля Deutz PME.

Кривошипная камера двигателя, снабженная стальными пластинчатыми клапанами, служит продувочным насосом.

Пуск двигателя осуществляется при помощи сжатого до 35 ати воздуха, запасаемого в баллоне емкостью 120 л.

Общий вид установки описываемого двигателя со всеми применяемыми при испытаниях приборами представлен на фиг. 28.

Здесь: *a* — топливный насос двигателя;

b — манометр на топливном трубопроводе насоса — форсунки;

c — мерный бачок для топлива;

d — главный индикатор рабочего цилиндра;

e — индикатор кривошипной камеры;

f — индикатор для съемки диаграмм движения плунжера насоса;

g — ходоуменьшитель;

h — термopapa для измерения температуры выхлопных газов;

i — приспособление для изменения числа оборотов;

k — суммирующий счетчик оборотов;

l — плечo ленточного тормоза;

m — расходный топливный бак;

n — тахометр;

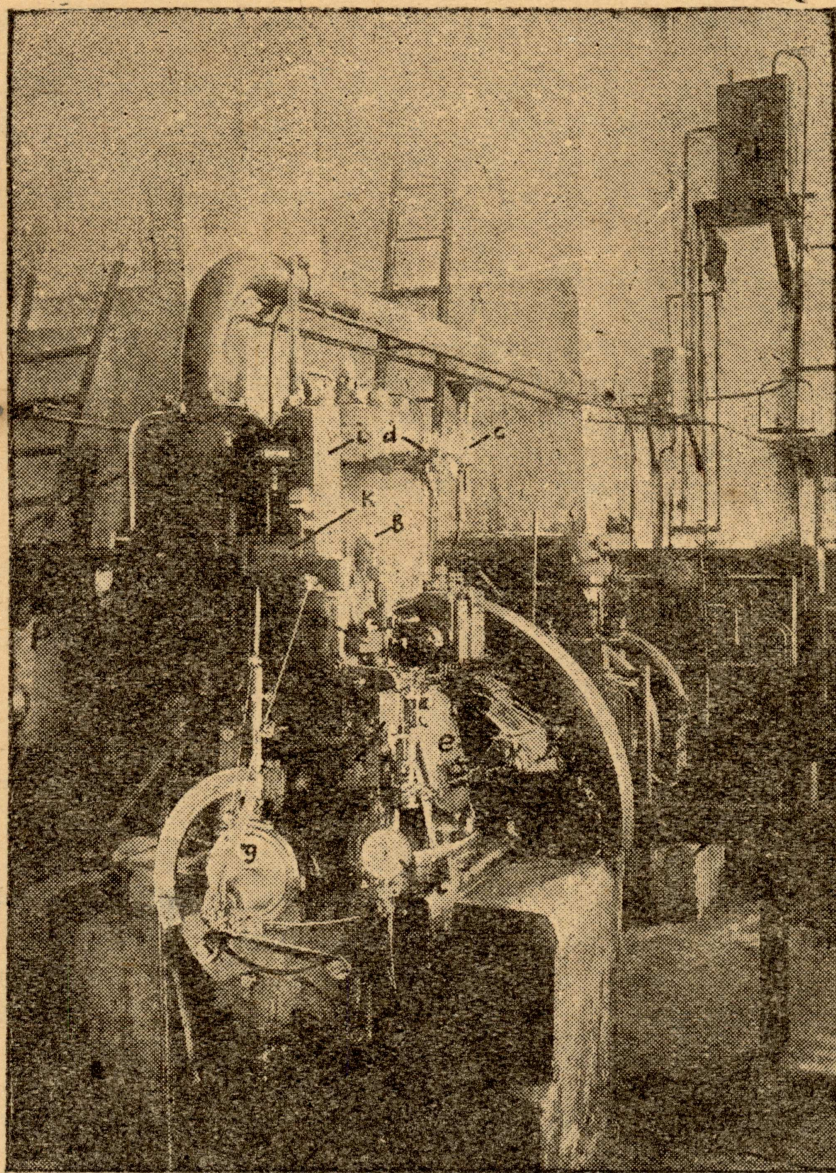
o — кран „А“ для отбора выхлопных газов при получении „диаграмм отложений“ (см. ниже „характеристики выхлопных газов“);

p — задвижка „В“ с приспособлением для той же цели.

Все применявшиеся при испытаниях приборы описаны ниже — в главе: „Методы измерений“.

II. Пуск двигателя на сапропелитовом мазуте, возможности и условия пуска.

Бескомпрессорный двигатель Deutz PME был впервые переведен на работу на сапропелитовом мазуте 5/1—32 г. Предварительно прочищенный и промытый двигатель был пущен на обычном нефтяном моторном топливе из верхнего расходного бака („т“ на фиг. 28), мерный же бачек „с“ был залит подогретым немного выше комнатной температуры сапропелитовым мазутом.



Фиг. 28. Установка опытного дв-ля Deutz PME в лаборатории Д.В.С.

После 20-ти минутной работы под 50% нагрузкой путем переключения тройного крана на топливопроводе двигатель без предварительной разгрузки был переведен на сапропелитовый мазут, при чем никаких видимых изменений в условиях его ра-

боты не наблюдалось. Снимаемые индикаторные диаграммы также не обнаружили ненормальностей. Двигатель работал вполне спокойно без пропусков вспышек и принимал любую нагрузку, вплоть до нормальной.

После часовой работы на сапропелитовом мазуте при полной нагрузке двигатель был переведен на нефть, а затем снова на сапропелитовый мазут, остуженный до $19-20^{\circ}\text{C}$.

И в этом случае ненормальностей в работе обнаружено не было. Через 2 часа двигатель был снова переведен на нефть и остановлен. Осмотр двигателя после остановки не обнаружил никаких ненормальностей.

Этот первый опыт доказал возможность работы двигателя на сапропелитовом мазуте, однако, не выяснил еще действительных условий этой работы, равно, как и не установил возможности пуска двигателя непосредственно на новом топливе и условий для этого необходимых.

В дальнейшем при проведении основных испытаний сапропелитовой серии неоднократные попытки пустить двигатель непосредственно на сапропелитовом мазуте не давали положительных результатов. Двигатель всякий раз приходилось предварительно пускать на обычном нефтяном топливе, а затем уже переводить на мазут. Перевод этот обычно проходил вполне успешно, даже в случае весьма непродолжительной предварительной работы на нефти без нагрузки.

Во время проведения основной серии опытов на сапропелитовом мазуте, при нагрузке в 75% от нормальной двигатель был случайно остановлен, а затем сейчас же пущен вновь непосредственно на сапропелитовом мазуте.

Пуск удался, но сопровождался несколькими, весьма интенсивными, вспышками. Таким образом, хорошо разогретый двигатель мог быть пущен и непосредственно на сапропелитовом мазуте.

С целью выяснения возможности и необходимых условий пуска двигателя непосредственно на сапропелитовом мазуте, по проведении основных испытаний были поставлены специальные опыты.

При возможно одинаковых и нормальных условиях (давление пускового воздуха, продолжительность пускового периода на сжатом воздухе, температура помещения и т. д.) был произведен ряд пробных пусков холодного двигателя через главную форсунку (т. наз. „пусковая форсунка“ не применялась, т. к. и на обычном топливе пуск с ее помощью без введения тлеющей бумажки не удавался ¹⁾). при постепенном повышении предварительного подогрева применяемого при пуске сапропелитового мазута. Подогретый мазут наливался в мерный бачок („с“—на фиг. 28), в котором и измерялась его температура— t_6 . При непосредственно предшествовавшей каждому пуску прокачке сапропелитового мазута через фор-

¹⁾ „Пусковая форсунка“ в последних моделях двигателей этого типа совершенно отсутствует.

сунку измерялась также температура его при сливе— t_{ϕ} , соответствующая приблизительно действительной температуре топлива, подводимого к форсунке. В момент пуска каждый раз непрерывно снимались индикаторные диаграммы.

Ряд пробных пусков, доведших предварительный подогрев сапропелитового мазута до 35°C при соответствующей т-ре его после заливки в бачок $t_0 = 28^{\circ}\text{C}$, а при сливе через форсунку $t_{\phi} = 20^{\circ}\text{C}$ не привел к положительным результатам: не было получено ни одной вспышки, однако, было обращено внимание на то, что, несмотря на незначительную длину топливопровода от бачка до насоса, т-ра сапропелитового мазута при сливе через форсунку (t_{ϕ}) была значительно ниже т-ры его в бачке (t_0), при чем предварительный подогрев сапропелитового мазута свыше 30°C уже почти не повышал наблюдаемой при прокачке величины t_{ϕ} . Это обстоятельство объясняется, очевидно, значительной теплоотдачей от сапропелитового мазута телу топливного насоса, частично — трубопроводам и главное — массивной головке двигателя при прохождении топлива через сверления в последней.

Чтобы повысить t_{ϕ} свыше предельных для холодного двигателя значений около 20°C , пришлось применить искусственный разогрев головки двигателя паяльной лампой. При этих условиях был снова проведен ряд пробных пусков, опять таки не удавшихся. Все же при некоторых опытах удавалось получить 1—2 вспышки, а при условиях:

пусковое давление— $p_n = 33$ ати;
т-ра сапропелит. мазута в баке— $t_0 = 21^{\circ}\text{C}$;
" " " " после форс.— $t_{\phi} = 29^{\circ}\text{C}$

было замечено уже не менее 5—6 вспышек, зафиксированных и индикатором, некоторые из которых были весьма интенсивны и сопровождались „выстрелом“ через предохранительный клапан. Двигатель, однако, и в этом случае не пошел.

После каждого из этих неудачных пусков снималась головка двигателя, а также вынималась и осматривалась предкамера. Последняя всякий раз оказывалась смоченной сапропелитовым мазутом, но холодной. На днище поршня также почти всякий раз замечались крупные капли топлива.

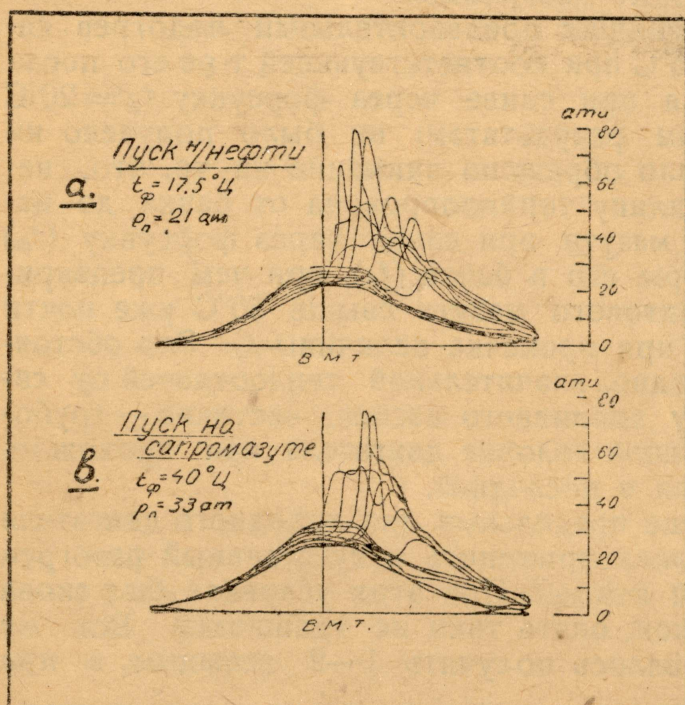
Наконец, помимо подогрева снятой головки был применен также и интенсивный разогрев предкамеры.

Разогретые предкамера и головка быстро ставились на место и сейчас же двигатель пускался. Лишь в этом случае при начальных условиях (обозначения см. выше)

$p_n = 33$ ати;
 $p_0 = 25^{\circ}\text{C}$
и $t_{\phi} = 40^{\circ}\text{C}$

пуск привел к положительным результатам—после нескольких ин-

тенсивных вспышек и „выстрелов“ через предохранит. клапан двигатель пошел спокойно. В момент переключения с сжатого воздуха на сапропелитовый мазут двигатель развивал около 200 об/мин., давление распыливания (по манометру при топл. насосе) было приблизительно 70 ати.



Фиг. 29. Пусковые диаграммы двигателя Deutz RME на нефти и на сапропелитовом мазуте.

давлением (до значений обычных для нормальной работы двигателя) и с явно выраженным продолжительным горением почти при постоянном давлении.

Все это указывает на то, что первые вспышки при пуске холодного двигателя на сапропелитовом мазуте удастся получить лишь с большими затруднениями, в то время, как пуск на нефтяном моторном топливе обычно происходит совершенно свободно даже при пониженном давлении пускового воздуха и при охлажденном до $+8-9^{\circ}\text{C}$ топливе.

Т. к. в эксплуатационных условиях предварительный разогрев крышки и предкамеры при необходимости снятия их с двигателя чрезвычайно неудобен, были поставлены опыты по выяснению возможности пуска двигателя без разборки для разогрева каких-либо деталей.

Здесь пуск удалось осуществить лишь после длительного (около 20 мин.) и весьма интенсивного наружного разогрева головки двигателя, топливного насоса и форсунки паяльной лампой. Начальные условия при этом были: $p_n = 36$ ати, $t_0 = 28^{\circ}\text{C}$ и $t_{\phi} = 58^{\circ}\text{C}$. Двигатель пошел сразу после незначительных „выстрелов“ через предохранит. клапан.

Полученная при этом пуске смещенная индикаторная диаграмма приводится на фиг. 29—b, на которой для сравнения помещена и обычная диаграмма пуска на нефтяном моторном топливе.

Сравнение этих диаграмм указывает на заметное увеличение запаздывания горения при первых вспышках сапропелитового мазута. Кроме того, на ряду с одинаковыми по интенсивности с нефтяным пуском вспышками, при пуске на сапропелитовом мазуте имеются и вспышки с пониженным максимальным

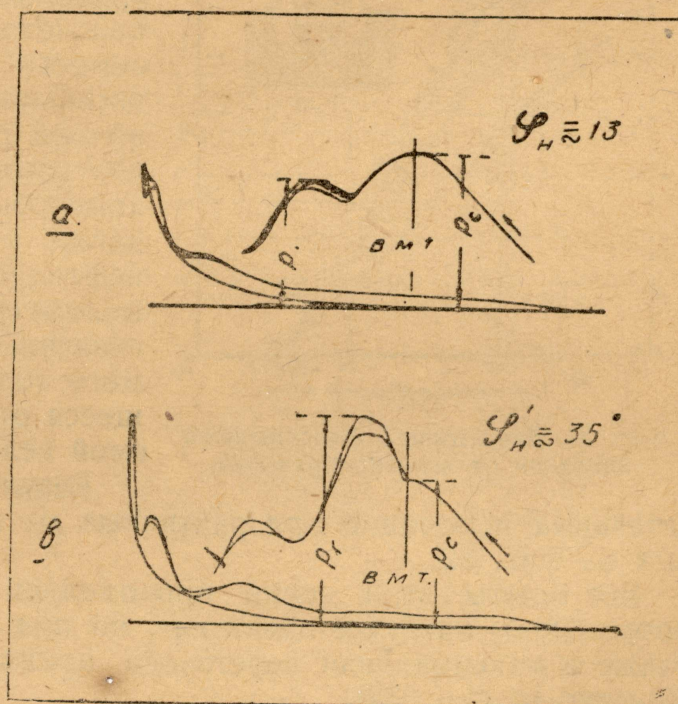
Таким образом, пуск совершенно холодного двигателя на сапропелитовом мазуте практически неосуществим. Непосредственный пуск на сапропелитовом мазуте возможен лишь после предварительного разогрева снятых с двигателя головки и предкамеры или после интенсивного внешнего обогрева головки двигателя, насоса и форсунки без какой-либо разборки деталей. Все это в эксплуатационных условиях чрезвычайно неудобно, вследствие чего лучше применять всякий раз предварительный пуск на нефтяном моторном топливе с переводом уже работающего двигателя на сапропелитовый мазут.

III. Сравнение работы двигателя на нефтяном моторном топливе и на сапропелитовом мазуте.

1. Выбор условий работы двигателя.

Помимо мощности и числа оборотов, режим работы двигателя данного типа определяется еще установкой момента начала подачи топлива (угол начала под'ема плунжера насоса — φ_n'), давлением его распыливания (форсуночное давление — p_{ϕ}), общим тепловым состоянием двигателя и др. Величины φ_n' и p_{ϕ} оказывают наибольшее влияние на условия работы двигателя и, прежде чем проводить сравнительные испытания, следовало установить нормальные значения этих величин и обосновать их выбор.

Первоначально установленный при монтаже двигателя, в соответствии с данными фирмы, угол начала под'ема плунжера около 13° до верхней мертвой точки оказался непригодным для нашего моторного топлива: двигатель не принимал нормальной нагрузки, а индикаторная диаграмма (см. фиг. 30-а) указывала явное запаздывание горения, при чем максимальное давление горения p_g было меньше давления сжатия p_c . Путем перестановки винтового зацепления между главным и регуляторным (он же несет кулак топливного насоса) валом угол начала под'ема плунжера насоса

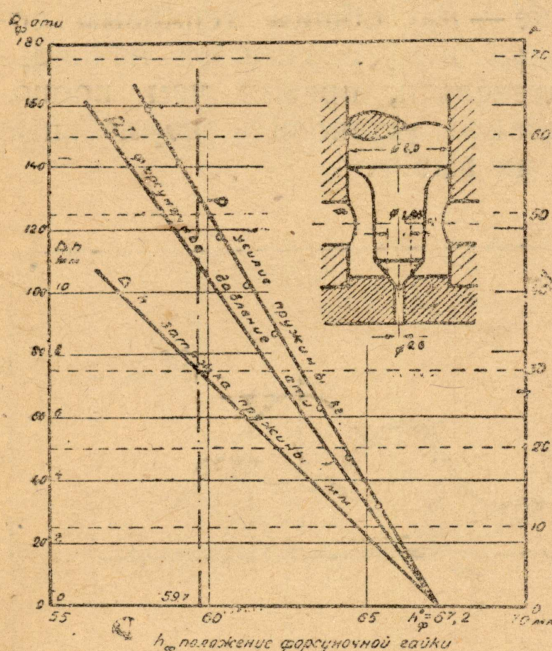


Фиг. 30. Изменение индикаторной диаграммы в зависимости от начала подачи топлива.

был доведен приблизительно до 35° до верхней мертвой точки, при чем горение начиналось в мертвой точке или даже немного ранее ее, а максимальное давление горения превышало давление сжатия в 1,4—1,5 раза. Двигатель при этом приобрел способность принимать нормальную нагрузку при заметном снижении расхода топлива. Получаемая при этом индикаторная диаграмма представлена на фиг. 30—b.

Угол начала под'ема плунжера в 35° до В.М.Т. следует признать нормальным для данного типа двигателя и топлива, т. к. начало горения и характер индикаторной диаграммы получаются при этом нормальными. Несколько преувеличенное значение максимальных давлений (в среднем около 55 ати) не должно являться противопоказанием выбору этой величины, т. к. начало подачи определяет прежде всего начало, а не скорость и характер процесса горения, от которого, главным образом, и зависит величина p_2 .

На значение величины p_2 , равно как и на весь процесс горения, значительное влияние оказывает давление распыливания топлива выбор которого, был произведен по результатам специальной вспомогательной серии кратковременных опытов.



Фиг. 31. Зависимость форсуночного давления от затяжки пружины.

Перед проведением этих опытов была протарирована форсуночная пружина и путем тщательных изменений было установлено положение форсуночной гайки (см. фиг. 27), соответствующее нулевой затяжке пружины. Далее, путем простых подсчетов была установлена зависимость теоретического давления распыливания от положения форсуночной гайки и составлена рабочая диаграмма (фиг. 31), которой и приходилось пользоваться при проведении опытов. Установленный на нефтепроводе от насоса к форсунке манометр позволял замерять и действительное давление распыливаемого топлива, несколько отличающееся от теоретически подсчитываемой величины.

Результаты упомянутых вспомогательных испытаний при различных p_{ϕ} представлены рядом кривых на фиг. 32.

Все опыты этой серии проводились при одинаковой (прибл. нормальной) нагрузке двигателя, но при каждом p_{ϕ} определялась также и максимальная перегрузка, принимаемая двигателем (кривая Не-макс. на фиг. 32).

Минимальное значение удельного расхода топлива соответствует значениям p_{ϕ} от 106 до 112 ати, однако, помимо этого, на первый взгляд решающего обстоятельства, при выборе p_{ϕ} следует

учитывать еще и значение получаемого максимального давления горения p_g , а также способность двигателя к перегрузке. Желательность получения не слишком больших значений p_g заставляет выбирать по возможности умеренные давления распыливания, однако, по характеру кривой p_g видно, что ощутимое понижение этой величины могло бы быть достигнуто лишь путем значительного снижения $p_{ф}$, что повлекло бы за собой значительное увеличение расхода топлива. Кроме того, при понижении $p_{ф}$ ниже 105 ати двигатель теряет уже способность принимать нормальную перегрузку, что видно по кривой максимальных мощностей на фиг. 32.

При учете изложенного нами было признано нормальным для нефтяного моторного топлива значение давления распыливания $p_{ф}=109$ ати, что соответствовало высоте форсуночной гайки $h_{ф}=59,7$ мм от заплевывающей головки двигателя (см. фиг. 2/).

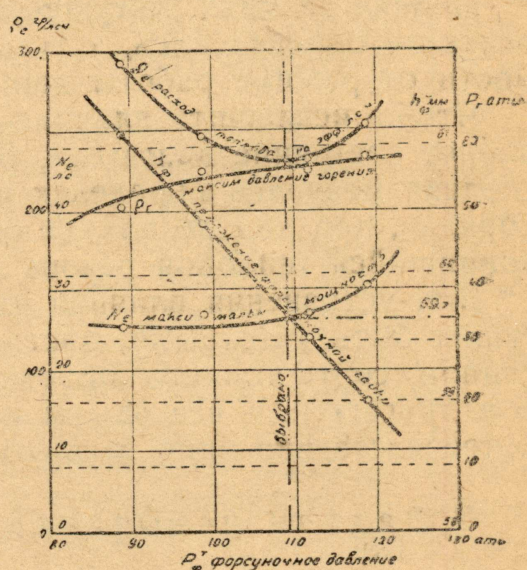
При постановке сравнительных испытаний можно было бы для каждого сорта топлива устанавливать свои наивыгоднейшие значения φ_n' и $p_{ф}$ и поддерживать их при основных опытах. Однако, ограниченное количество имевшегося для испытаний сапропелитового мазута не позволяло расходувать его на какие-либо дополнительные испытания, связанные с выбором наивыгоднейших условий работы двигателя. Кроме того, проведение сравнительных испытаний при тех же самых условиях, что и на нефтяном топливе представляло известный практический интерес, т. к. давало характеристику работы двигателя на новом топливе без каких-либо изменений и перестановок в органах распределения, вследствие чего нами и были приняты для работы на сапропелитовом мазуте те же самые значения φ_n' и $p_{ф}$, что и для нефтяного моторного топлива. Если бы при проведении испытаний на сапропелитовом мазуте при выбранных для нефти φ_n' и $p_{ф}$ были обнаружены значительные отступления от нормальных условий работы двигателя, следовало бы, разумеется, изменить значения этих величин, однако, как увидим ниже, необходимости в этом установлено не было.

Таким образом, для всех серий сравнительных испытаний были приняты следующие значения:

угол начала под'ема плунжера $\varphi_n' = 35^\circ$ до ВМТ

давление распыливания $p_{ф} = 109$ ати,

чему соответствовало положение форсуночной гайки — $h_{ф} = 59,7$ мм.



Фиг. 32. Результаты вспомогательных испытаний по выбору форсуночного давления.

Действительные значения p_{ϕ} несколько отличались от p_{ϕ}^m в сторону увеличения, при чем были различными для различных топлив и даже отдельных опытов, что объяснялось гидравлическими сопротивлениями в нефтепроводе и форсунке и изменением вязкости топлива в зависимости от теплового состояния двигателя (температуры топлива).

Число оборотов двигателя поддерживалось при всех опытах нормальным (около 435 об/мин.).

Мощность двигателя для каждого из сравниваемых топлив менялась по отдельным опытам в пределах от холостого хода до максимальной устойчивой перегрузки.

Прочие условия, могущие характеризовать работу двигателя, заранее не определялись, а устанавливались автоматически в зависимости от режима работы двигателя.

Чтобы исключить влияние предшествовавшего разогрева на тепловое состояние двигателя, соответствующее данной нагрузке, последняя менялась в пределах каждой серии опытов в возрастающем порядке, при чем до начала каждого опыта достигался вполне установившийся тепловой режим двигателя.

Для устранения влияния на работу двигателя побочных, не могущих быть учтенными, обстоятельств, каждая серия испытаний на данном сорте топлива проводилась на предварительно прочищенном двигателе и все опыты на отдельных нагрузках проводились непосредственно один за другим, без остановки двигателя.

2. Задачи испытаний и выбор характеристик.

Т. к. основной задачей проводившихся испытаний было выяснение пригодности сапропелитового мазута в качестве моторного топлива для бескомпрессорных предкамерных двигателей Дизеля, то при постановке опытов максимум внимания был уделен вопросам подачи топлива, его распыливания, образования рабочей смеси, характера и полноты сгорания и т. д.

Все полученные данные представляют интерес в сравнении с соответствующими характеристиками для нормального (нефтяного) моторного топлива, вследствие чего и было проведено две серии опытов—на нефтяном моторном топливе и на сапропелитовом мазуте, при чем результаты рассматривались совместно.

Недостаток специального оборудования не позволял глубоко осветить процессы образования рабочей смеси, однако, уже при существующих условиях оказалось возможным получить и ввести в рассмотрение некоторые добавочные характеристики, позволяющие так или иначе судить об интересующих вопросах.

Так, процессы подачи и распыливания топлива характеризовались условиями работы насоса (ход плунжера, углы начала и конца подачи при учете соответствующего положения муфты регулятора) и давлением распыливания (форсуночное давление P_{ϕ}), которое определялось по затяжке форсуночной пружины

и путем непосредственных измерений по манометру, присоединенному к топливопроводу насос—форсунки. Разница этих давлений позволяла судить о гидравлических сопротивлениях топливопровода и форсунки, зависящих помимо прочих условий от характера испытуемого топлива (его вязкость). Температура подаваемого насосом топлива также в значительной мере характеризовала условия подачи топлива и, как увидим ниже, оказывала существенное влияние на самый процесс горения.

О характере сгорания делались заключения по смещенным индикаторным диаграммам. Помимо обычной величины максимального давления горения определялся также угол в градусах угла поворота кривошипа от верхней мертвой точки до точки, соответствующей максимальному давлению. Этот угол в зависимости от сорта топлива и степени разогрева двигателя (нагрузка) менялся в значительных пределах.

Особый интерес представляло определение неполноты горения, как стоящей в непосредственной связи с условиями образования и вообще качеством рабочей смеси. Применить здесь какой-либо, претендующий на получение абсолютных данных метод в существующих условиях (особенно на 2-х тактной машине), не представлялось возможным. Тем не менее, являлось весьма важным получить хотя бы относительную характеристику этого явления. Суждение о полноте горения по цвету выхлопных газов не являлось достаточно надежным по субъективности определения самого понятия: „цвет“. Кроме того, при проведении длительных испытаний, начинавшихся обычно днем и заканчивавшихся в ночное время, наблюдение за цветом выхлопа становилось совершенно невозможным.

Чтобы ввести более или менее объективную характеристику неполноты горения, вернее присутствия несгоревших частиц в выхлопных газах, был применен чрезвычайно простой, но оказавшийся достаточно характерным метод.

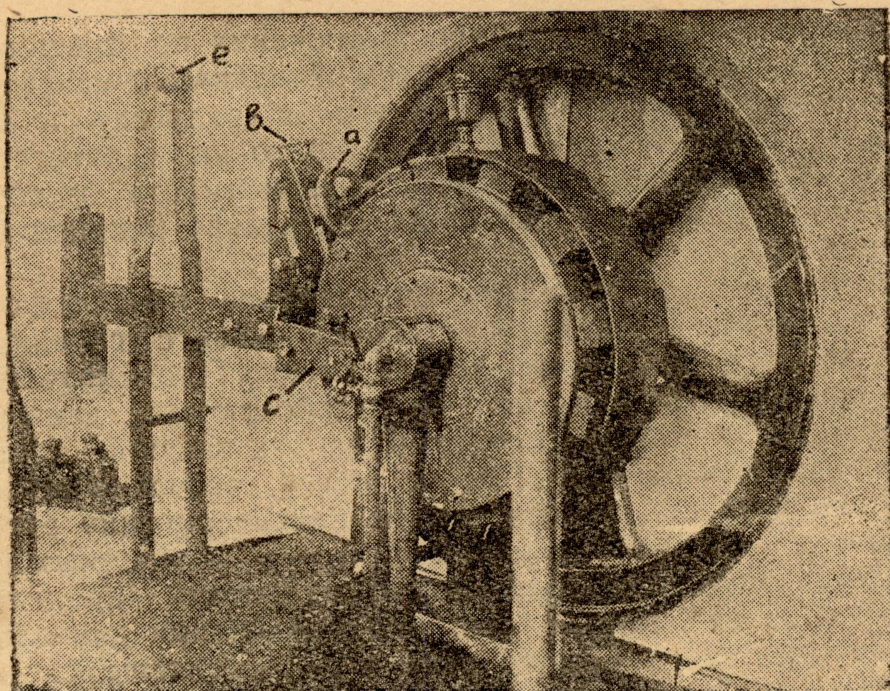
На определенном расстоянии от индикаторного крана, ввернутого в выхлопной горшок, устанавливался листок меловой бумаги. Кран открывался на определенное время и по интенсивности и характеру налета, получавшегося на бумажке, составлялось суждение о присутствии несгоревших частиц в выхлопных газах. Применение специальной шкалы позволило давать эту характеристику в условных, но определенных цифровых единицах.

Особое внимание было обращено также на характеристику отложений внутри камеры горения, суждение о которых составлялось путем внимательного внутреннего осмотра двигателя после его работы, фотографирования наиболее интересных деталей и взвешивания предкамеры до и после опытов.

Прочие, получаемые при постановке опытов характеристики являются обычными при всякого рода испытаниях двигателей внутреннего сгорания; их мы коснемся при описании методов измерений и при рассмотрении полученных результатов.

3. Методы измерений, приборы и тарировка их.

Эффективная мощность определялась при помощи колодного, саморегулирующегося тормоза системы Siemens'a¹⁾, зажимающего охлаждаемый чугуный шкив, насаженный на главном валу двигателя рядом с маховиком. Общий вид тормазной установки представлен на фиг. 33.



Фиг. 33. Общий вид тормазной установки двигателя Deutz PME.

При производстве опытов натяжением ленты (маховичек „а“) и перемещением камня (маховичек „в“) достигалась и поддерживалась такая регулировка тормоза, при которой плечо находилось в постоянном колебании, касаясь верхним или нижним ребром вилки с, неподвижной цапфы d. Ошибка от добавочного момента за счет реакции в цапфе d при этом практически сводилась к нулю.

Собственный вес тормоза был определен предварительно путем взвешивания на специальном уравновешенном деревянном диске с закрепленным на нем проточенным валом, опирающимся на установленные по уровню призмы. Установка тормоза при взвешивании представлена на фиг. 34.

Путем отдельных взвешиваний определялся вес, приведенный к точкам А (место подвески противовеса) на плече от оси вала $L_a = 1,003$ м и В — на плече (плечо основного груза Q_m) $L_b = 1,288$ м. Полученные приведенные веса $G_a = 17,15$ кг и $G_b = 13,35$ кг (с учетом чашки для гирь в точке В) при проверке по равенству

¹⁾ Тормаз был сконструирован асс. Ю. Н. Соколовым.

моментов $G_a \cdot L_a = G_b \cdot L_b$ дали полное совпадение. При нагрузках от 50% и выше противовес не употреблялся и рабочей формулой для подсчета мощности здесь служила:

$$Ne = 0,0018 (Q_m + 13,35) n \dots (12)$$

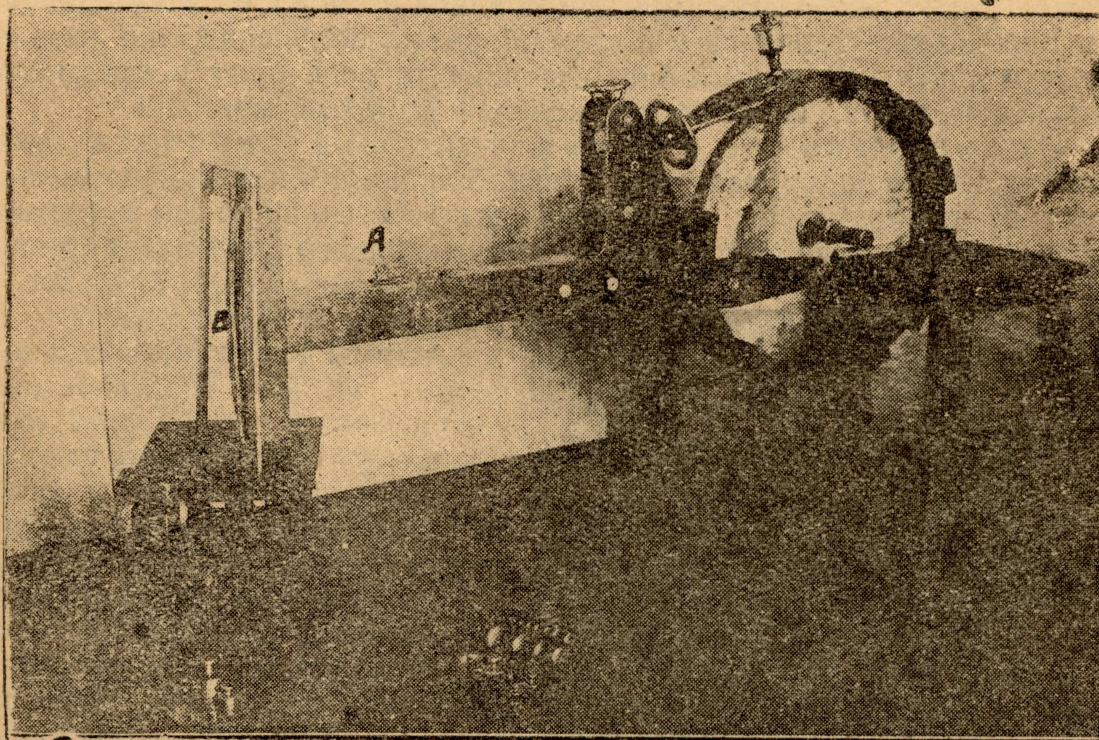
где:

0,0018 — коэффициент, полученный при учете длины плеча тормоза $L_b = 1,288$ м;

Q_m — нагрузка на чашке тормоза в кг;

13,35 = G_b — собственный вес тормоза, приведенный к точке В;

n — число оборотов двигателя в минуту.



Фиг. 34. Взвешивание тормоза при определении приведенного собственного веса.

При нагрузке в 25% чашка для гирь снималась, а в точке А укреплялся противовес, подвешенный на тросе перекинута через неподвижный блок e (фиг. 23), приведенный к точке А, вес которого равнялся $G_o = 4,75$ кг. Формулой для подсчета мощности при этом служила:

$$Ne = 0,0144 n \dots (13)$$

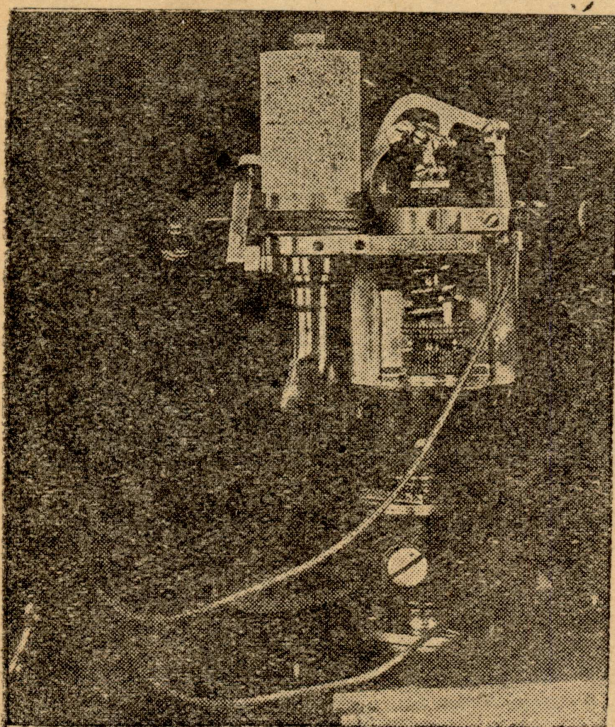
где: 0,0144 — коэффициент, учитывающий помимо обычных соотношений и плеча $L_a = 1,003$ м вес противовеса и приведенный к точке А собственный вес тормоза без чашки $G_a' = 15,035$ кг.

При проведении каждого из опытов тормазной груз Q_m (а, следовательно, и тормазной момент) оставались постоянными и эффективная мощность двигателя могла изменяться лишь в зависимости от числа оборотов.

Число оборотов двигателя определялось при помощи суммирующего анкерного счетчика, сцепленного с валиком масляного насоса (передаточное число от главного вала 1:3), а контролировалось и устанавливалось сначала по стационарному тахометру с цепной передачей от главного вала, а впоследствии по ручному, вставляемому в торец главного вала.

При проведении опытов, по секундомеру с двумя стрелками, фиксировалось по каждому отсчету (наблюдению) время от начала опыта одновременно с показанием счетчика. При обработке материала выводились средние числа оборотов за каждый интервал между двумя отсчетами, при чем среднее за опыт из этих средних по интервалам сверялось с числом оборотов, полученным по начальному и конечному показаниям счетчика за весь опыт и продолжительности опыта. Точность вычислений до 0,1 об/мин.

Индицирование и характеристика рабочего процесса. Получение удовлетворительной индикаторной диаграммы при быстроходной машине с давлениями вспышки до 50-ти ати представляло значительные затруднения. Первоначально получавшиеся при по-



Фиг. 35. Индикатор рабочего цилиндра
Dobbie Mc Innes Ltd.

мощи индикаторов Schaeffer & Budenberg и Maihak (Grösse 3) диаграммы (см., например, диаграммы на фиг. 30), благодаря инерционным колебаниям масс индикатора были явно неудовлетворительны. Получить пригодные для обработки диаграммы удалось лишь после установки быстроходного индикатора фирмы Dobbie Mc Innes Ltd (фиг. 35) с переделанным для высоких давлений поршеньком. Диаметр барабана этого индикатора 25 мм.

Тем не менее, удовлетворительный внешний вид индикаторных диаграмм (см. ниже фиг. 43 и 44) не дает еще права считать их достаточно точными, т. к. помимо влияния масс на начертание диаграммы, сказывались еще колебания и вытяжка достаточно длинного шнура, а также значительное трение в цилиндре, особенно ощущав-

шееся при опытах на сапропелитовом мазуте, когда имело место засмоление рабочей поверхности, заметное даже при протирании ее перед каждой с'емкой диаграммы. Вследствие этого полученные значения среднего индикаторного давления p_n следует признать не вполне достоверными. Индикаторная мощность, как не доста-

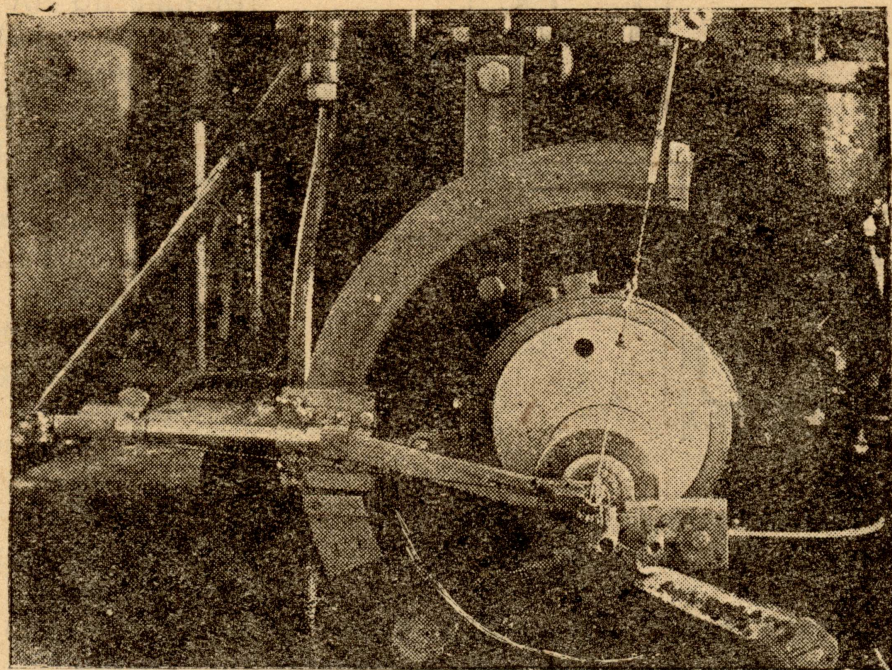
точно достоверная (достаточно указать, что при ориентировочных подсчетах были получены значения индикаторного коэффициента полезного действия, доходящие в отдельных случаях до 70% при неестественно пониженном механическом к.п.д.) совсем не определялась.

Несмотря на недостаточную достоверность значений p_u , полученные индикаторные диаграммы (особенно смещенные) представляют значительный интерес с точки зрения характеристики рабочего процесса, и здесь получившиеся результаты являются уже достаточно надежными. Как уже упоминалось выше, при обработке смещенных диаграмм устанавливались величины максимального давления p_z и угла от ВМТ до наступления p_z , условно обозначенного буквой $\varphi_{гор}$.

Вычислялись также значения степени повышения давления $\lambda = \frac{p_z}{p_c}$, как характеризующей интенсивность протекания процесса сгорания.

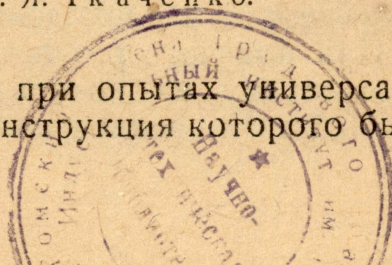
Индицирование кривошипной камеры производилось индикатором фирмы Schaeffer & Budenberg сист. Crosby с внутренней слабой пружиной ($m = 26 \text{ мм/ат}$).

Рабочие пружины обоих индикаторов перед проведением опытов были проверены в холодном состоянии на станке с грузами, при чем средний масштаб вычислялся по способу Mayer'a.



Фиг. 36. Индикаторный привод сист. А. Я. Ткаченко.

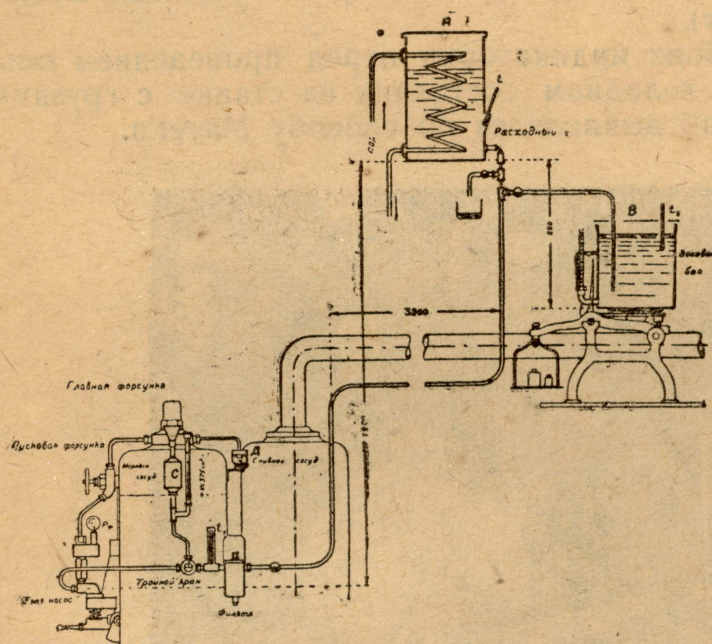
Представляет интерес применявшийся при опытах универсальный индикаторный привод (см. фиг. 36), конструкция которого была



разработана и осуществлена механиком лаборатории А. Я. Ткаченко.

Этот привод, благодаря передвигаемой по сектору направляющей штанги эксцентрикового механизма и выводу шнура от центра вала, позволяет снимать нормальную и смещенную на любой угол до 90° диаграмму без расцепления шнура, что представляет значительные удобства при массовой съемке различных диаграмм, с каковой и приходилось иметь дело при проведении опытов. Недостатком этого привода является неизбежность наличия длинного шнура, особенно нежелательная при быстроходном двигателе, однако, применением хорошо протянутого шнура, устранением тяжелых сцеплений (крючки) и помещением наиболее длинных участков шнура в направляющие его трубки удалось избежать ощутимого влияния этого недостатка.

Расход топлива. Измерение расхода топлива производилось весовым способом при помощи системы трубопроводов с сифоном, опущенным в бак уравнивающийся на весах. Схема топливопроводов и расположения основных, связанных с топливной системой приборов приведена на фиг. 37.



Фиг. 37. Схема топливопроводов и приборов для измерения расхода топлива дв-ля Deutz PME.

Дополнительный мерный бак С позволяет производить быстрое ориентировочное определение расхода топлива по объему, а, будучи заполняемым, нежели во всей прочей системе, топливом, дает возможность переводить работающий двигатель с одного топлива на другое.

Измерение расхода топлива во время основных испытаний производилось при помощи весового бака А. Перед началом опыта бак А почти уравнивался гирями и, когда по мере расхода

топлива, стрелка весов проходила через нуль, пускался секундомер. Далее, отсчеты по секундомеру производились после израсходования каждых 0,3 или 0,5 кг топлива, что позволяло судить о равномерности расходования топлива в течение опыта.

При подсчете результатов, часовой расход топлива определялся по каждому из интервалов времени, соответствующему расходу 0,3—0,5 кг и среднее из этих результатов сравнивалось с данными,

получаемыми по общему расходу топлива за весь опыт и времени, ему соответствующему, что позволяло контролировать правильность вычислений.

Т. к. при данной конструкции форсунки имелось налицо значительное просачивание топлива через уплотнения иглы, расход топлива из бака G_6 не представлял собой действительного расхода топлива двигателем. Просачивавшееся через уплотнения в форсунке топливо собиралось в специальном сосуде D (см. фиг. 37), подставляемом с момента начала опыта и взвешиваемом до и после наполнения. По весу просочившегося за время опыта топлива подсчитывался часовой слив топлива через форсунку $G_{сл}$ и разница

$$G = G_6 - G_{сл} \dots \dots \dots (14)$$

давала действительный часовой расход топлива на двигатель.

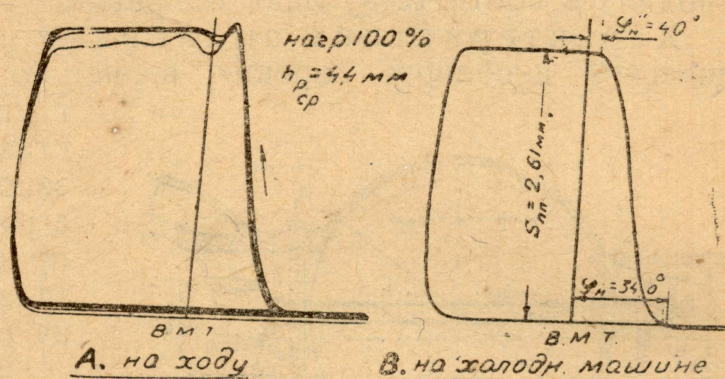
Характеристики работы насоса и форсунки. Ход плунжера насоса ($S_{пл}$) и кривошипные углы, соответствующие началу (φ_n') и концу (φ_n'') его движения определялись по диаграммам движения плунжера, снимаемым специально приспособленным индикатором, барабан которого приводился в движение от общего ходоуменьшителя, а шток без пружины на время с'емки диаграммы жестко сцеплялся с шариком, выточенным на ручке топливного насоса.

Движение плунжера яснее отображалось на смещенных на 90° диаграммах, типичные из которых для норм. нагрузки двигателя изображены на фиг. 38.

Первоначально предполагалось снимать диаграммы движения плунжера непосредственно во время проведения испытаний. Однако, оказалось, что, благодаря не вполне устойчивому положению муфты регулятора, диаграмма (косой кулак топливного насоса) получалась расплывчатой (см. фиг. 38-А), с'емка ее, благодаря быстроходности двигателя, была затруднительна и, кроме того, имелось налицо некоторое искажение диаграммы за счет инерционных колебаний и отставаний в соединениях всего механизма кулак—индикатор. Все это не давало возможности получать на ходу

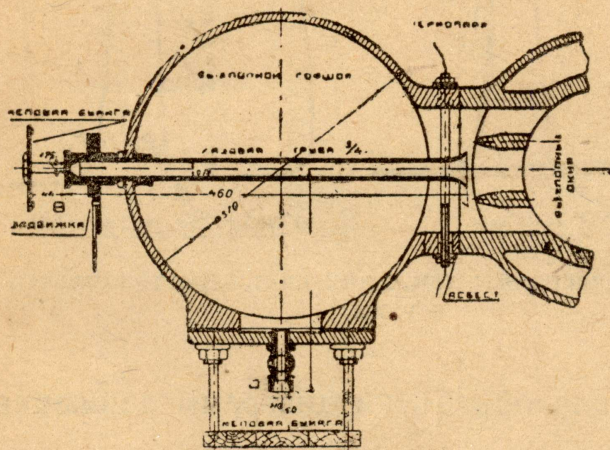
двигателя удовлетворительных, вполне пригодных для обработки диаграмм движения плунжера.

Чтобы получить точную диаграмму, соответствующую данной нагрузке двигателя (данной подаче топлива) во время испытаний по каждому отсчету (8 — 10 раз за время опыта) фиксировалось по-



Фиг. 38. Диаграммы движения плунжера топливного насоса.

Характеристика выхлопных газов. Суждение о механической неполноте горения, вернее—о наличии несгоревших ча-



Во время проведения основных испытаний прибор „В“, позволяющий улавливать газы и уносимые ими твердые и жидкие частицы непосредственно в выхлопных окнах не был еще изготовлен и „диаграммы отложений“ получались с помощью обыкновенного индикаторного крана и приспособ-

Фиг. 39. Приборы (А и В) для фиксации не-
сгоревших частиц в выхлопных газах и
установка термопары.

собления „А“. Меловая бумага накалывалась на доску, устанавливаемую на расстоянии 5 см от наружного края крана и последний открывался на 20 сек. (наиболее подходящее для получения „четких“ диаграмм время).

Полученные с помощью этого прибора диаграммы, показали значительное изменение характера отложений в зависимости от режима работы двигателя.

Для оценки степени неполноты сгорания была установлена условная шкала с десятью градациями (от 1 до 10).

Более высокий номер этой шкалы указывал на большую неполноту сгорания.

При сравнении с этой шкалой каждая диаграмма оценивалась определенным номером в зависимости от интенсивности затемненного поля.

Температура выхлопных газов измерялась двумя железо-константановыми термопарами, установленными, как показано на фиг. 39, с обеих сторон выхлопного канала.

Показания этих термопар специально поставленными опытами были сличены с показаниями эталонной термопары, на основании чего и вводилась соответствующая поправка.

Замер расхода охлаждающей воды производился непосредственным взвешиванием при сливе в железный бак, установленный на весах. Температура воды при выходе из головки поддерживалась по возможности постоянной ($50—55^{\circ}\text{C}$), расход же ее изменялся в соответствии с изменениями режима работы двигателя.

Температуры охлаждающей воды при входе и выходе, топлива в баке и перед насосом и окружающей среды измерялись обыкновенными ртутными термометрами, проверенными до проведения испытаний на 0° и 100°C .

4. Сравнительные испытания и их результаты.

С целью сравнения результатов применения сапропелитового мазута в качестве топлива для описанного выше типа бескомпрессорных дв-лей Дизеля с аналогичными результатами для нефтяного моторного топлива было проведено две серии опытов при различных нагрузках двигателя—на нефтяном моторном топливе (серия Н-Не) и на сапропелитовом мазуте (С-Не). Каждая из серий включала ряд 24—40 минутных опытов при нагрузках 0, 25, 50, 75, 100 и 110 процентов нормальной, а также кратковременного опыта при максимальной устойчивой перегрузке двигателя.

В течение каждого опыта по сигналу через 4 минуты производились наблюдения:

форсуночного давления	p_{ϕ}^m ати,
положения муфты регулятора	h_p мм,
т-ры охлад. воды при входе	t'_s $^{\circ}\text{C}$,
„ „ „ „ выходе	t''_s $^{\circ}\text{C}$,
число оборотов двигателя	n об/мин,
т-ры отходящих газов	$t_{ог}$ $^{\circ}\text{C}$,

а также снимались индикаторные диаграммы рабочего цилиндра (нормальная и смещенная), кривошипной камеры и диаграмма движения плунжера топливного насоса.

До и после каждого опыта наблюдались т-ра помещения— t_o , т-ра топлива в баке t_b и перед насосом t_m и барометрическое давление.

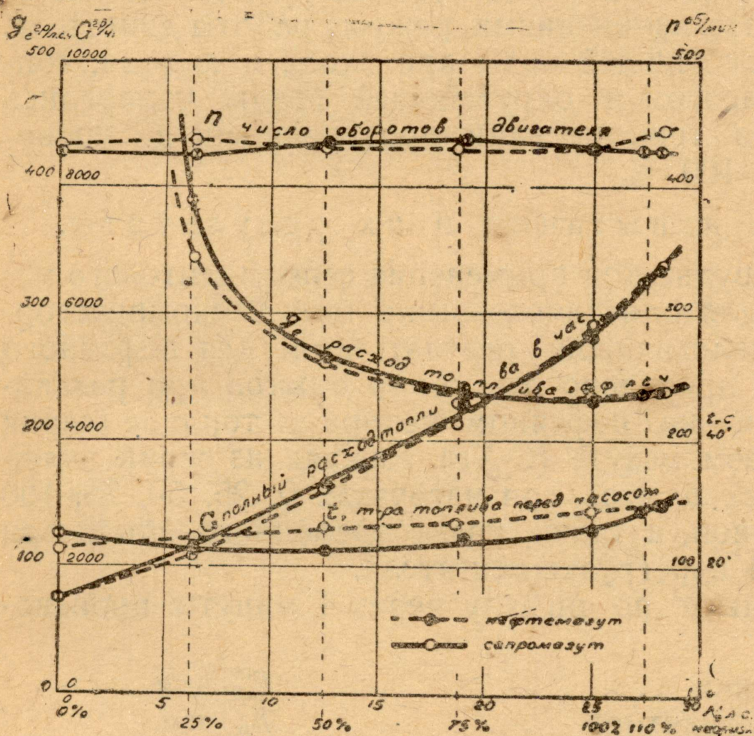
Расход топлива из бака G_b и слив его через форсунку определялся в течение всего опыта.

При переходе от одного опыта к другому (изменение режима работы двигателя) до начала наблюдений достигался вполне установившийся режим работы двигателя, наличие которого проверялось по данным расхода топлива, по характеру индикаторных диаграмм и по наличию несгоревших частиц в выхлопных газах („диаграммы отложений“).

Полученные при проведении опытов и после обработки их материалов результаты сведены в таблицу, а также представлены в виде ряда кривых на фиг. 40, 41, 42 и 45.

Анализируя этот материал, и, сравнивая работу двигателя на нефтяном моторном топливе и на сапропелитовом мазуте, можно сделать следующие заключения.

Расход топлива и тепла. Характер изменения полного часового расхода топлива и удельного на эфф. лош. силу в час (фиг. 40) в обоих случаях (нефт. моторное топливо и сапропелитовый мазут) одинаков и



Фиг. 40. Кривые расхода топлива.

сходен с обычными данными, получаемыми для двигателей рассматриваемого типа. Правильность полученных кривых и равномерное расположение точек подтверждают правильность и надежность полученных результатов.

При малых и средних нагрузках расход сапропелитового мазута (по весу) несколько больше, чем нефтяного моторного топлива, что объясняется, очевидно, ухудшенными условиями распыливания и горения (см. ниже), когда при незначительных

температурах всего двигателя топливо подводится к форсунке недостаточно подогретым, при чем сказывается повышенная вязкость

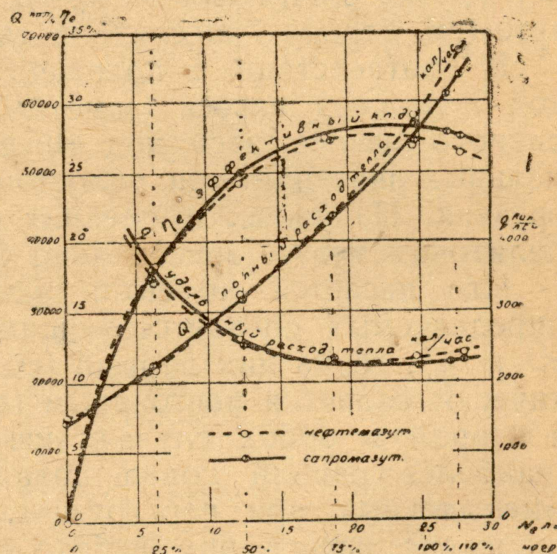
и увеличение коэффициента поверхностного натяжения сапропелитового мазута. При нагрузках около 80% кривые пересекаются (расход нефт. моторного топлива и сапропелитового мазута по весу одинаков), а далее—при полной нагрузке и перегрузке расход сапропелитового мазута становится меньше.

Заключение о влиянии на расход топлива температуры двигателя и топлива, подводимого к форсунке, подтверждается и кривыми температуры топлива перед насосом.

При работе на нефтяном моторном топливе искусственный подогрев его все же не применялся, повышение же t_m перед насосом с возрастанием нагрузки дв-ля объясняется нагреванием протекающего по нефтепроводу топлива от расположенной рядом выхлопной трубы (см. схему топливопроводов фиг. 37). При работе на сапропелитовом мазуте до начала всех опытов топливо в верхнем баке А (фиг. 37) было подогрето до 45—50° С, во время же проведения опытов дальнейший подогрев бака был прекращен, в связи с чем и наблюдается сначала падение t_m , а затем повышение (при нагрузках от 50% и выше) за счет нагрева от выхлопной трубы. Особенно сильно заметно повышение t_m сапропелитового мазута при перегрузках, чем, очевидно, и объясняется снижение его расхода при этих условиях.

Если принять во внимание, что проходя от насоса к форсунке по сверлениям в головке двигателя топливо еще более нагревается (см. выше: опыты с пуском), при чем влияние разогрева двигателя при значительных нагрузках здесь должно сказаться еще более, влияние теплового состояния двигателя на условия распыливания и горения, а, следовательно, и на расход топлива станет более очевидным.

При сравнении не весового расхода топлива, а расхода тепла, выделяемого при его сгорании, благодаря несколько меньшей теплотворной способности сапропелитового мазута (9520 кал/кг против 9960 кал/кг для нефтяного моторного топлива) повышение экономичности двигателя (см. фиг. 41) при работе его на сапропелитовом мазуте на больших нагрузках становится более заметным. Эффективный (экономический) коэффициент полезного действия на малых нагрузках практически одинаков, как при работе на нефтяном моторном топливе, так и на сапропелитовом мазуте. Начиная же с 75—80%, η_e при работе на сапропелитовом мазуте становится выше, при чем при 100%-ой нагрузке это повышение достигает 4% (принятый



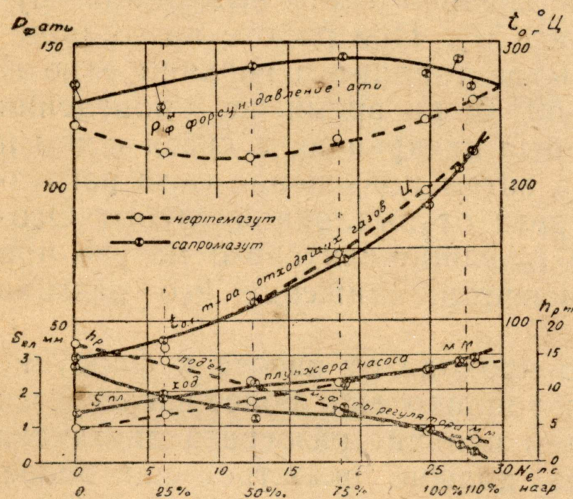
Фиг. 41. Расход тепла и эффективный к. п. д.

на нефт. мот. топливе за 100%, повышается с 27,5% до 28,6%) при соответственном снижении расхода тепла с 2300 до 2210 кал/э. л.с.ч. (непосредственные данные опытов несколько исправлены в соответствии с характером протекания кривых).

Работа насоса и условия распыливания. Условия работы топливного насоса определяются прежде всего положением муфты регулятора, которое в обоих случаях (нефтяное моторное топливо и сапропелитовый мазут) от наивысшего положения при холостом ходе снижается по мере возрастания нагрузки почти до нулевого при максимальной перегрузке, что вполне соответствует обычным условиям работы двигателя. Следует, однако, заметить,

что при малых и средних нагрузках двигателя положение муфты регулятора при работе на сапропелитовом мазуте значительно ниже (см. фиг. 42).

Это обстоятельство находится в непосредственной связи с повышенным расходом топлива при данных условиях. Начиная, приблизительно с 75% нагрузки, положение муфты регулятора практически одинаково, как для работы на нефтяном моторном топливе, так и на сапропелитовом мазуте. Расхождение в значениях $h_{рег}$ при перегрузках следует объяснить или случайностью, или же несколько большим



Фиг. 42. Характеристика работы топливного насоса и т-ра выхлопных газов.

значением преодолеваемого тормозного момента при максимальной перегрузке двигателя во время работы его на сапропелитовом мазуте (см. строку 7-ю сводной таблицы).

В соответствии с положением муфты регулятора изменяется и ход плунжера насоса (заметим, что при данной конструкции топливного насоса весь ход плунжера является полезным) от минимальных значений при холостом ходе до максимальных—при перегрузках. На малых и средних нагрузках $S_{пл}$ при работе на сапропелитовом мазуте значительно больше.

Что касается моментов начала и конца движения плунжера, определяемых соответствующими углами кривошипной окружности φ_n' и φ_n'' , то из них первый (см. строку 27 сводной таблицы) практически является постоянным (около 35° до верхн. мертвой точки), а второй в обоих случаях изменяется от максимальных значений (наиболее ранний конец подачи топлива) при холостом ходе до минимальных при перегрузках. В соответствии с большим ходом плунжера насоса при работе на сапропелитовом мазуте на малых и средних нагрузках значения φ_n'' здесь несколько меньше, что соответствует более позднему концу подачи топлива.

Продолжительность периода подачи топлива и средняя скорость плунжера насоса для наиболее характерных нагрузок обеих серий опытов приводится в нижеследующей таблице:

Таблица IX.

Род топлива		Нефт. мотор. топливо			Сапропелитовый мазут		
Прибл. нагрузка дв—ля		0	100%	Макс.	0	100%	Макс.
Период по- дачи топлива	В градусах крив. окр. $\phi'_H - \phi''_H$	20,7	31,5	35,0	24,0	30,0	33,0
	По времени τ -сек.	0,0080	0,0122	0,0131	0,0094	0,0116	0,0129
Ход плунжера $S_{пл}$ м.		0,00096	0,0026	0,00279	0,00139	0,00261	0,00292
Средняя скорость плун- жера $c = \frac{S_{пл}}{\tau}$ м/сек		0,120	0,213	0,213	0,148	0,225	0,226

Как видно из таблицы, средняя скорость плунжера при полной и максимальной нагрузке в обоих случаях значительно больше, чем при холостом ходе. Вообще же при работе дв-ля на сапропелитовом мазуте имеют место несколько большие скорости движения плунжера, чем при нефтяной серии.

Несмотря на одинаковую при всех опытах затяжку форсуночной пружины, действительно наблюдавшееся по манометру давление топлива в трубопроводе насос—форсунка p_{ϕ}^M изменялось в значительных пределах. Кривые изменения величины p_{ϕ}^M (фиг. 44) прежде всего указывают на значительно большие значения этой величины при работе на сапропелитовом мазуте, что объясняется, очевидно, большей вязкостью последнего. Различным получился и характер изменения p_{ϕ}^M в зависимости от нагрузки.

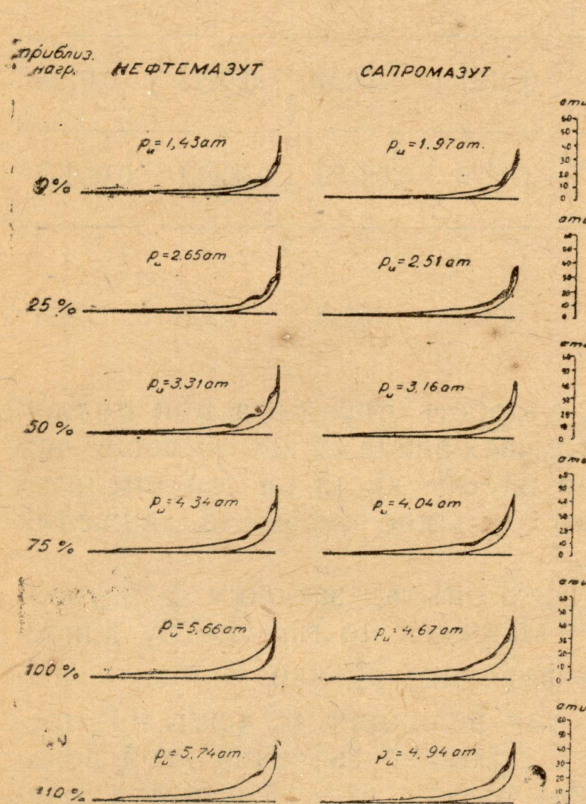
При работе на нефтяном моторном топливе возрастание нагрузки от нуля до 50% сопровождается падением величины p_{ϕ}^M за счет уменьшения вязкости (следовательно, и сопротивлений в топливопроводах) топлива по мере разогрева двигателя. В дальнейшем превалирующее значение оказывает уже повышение скорости протекания топлива и p_{ϕ}^M снова возрастает.

При работе на сапропелитовом мазуте на малых нагрузках сказывался еще предварительный подогрев топлива в верхнем баке и уже сразу при увеличении нагрузки p_{ϕ}^M повышается за счет возрастания скорости топлива. При переходе же от средней нагрузки к полной и максимальной за счет более интенсивного, чем при

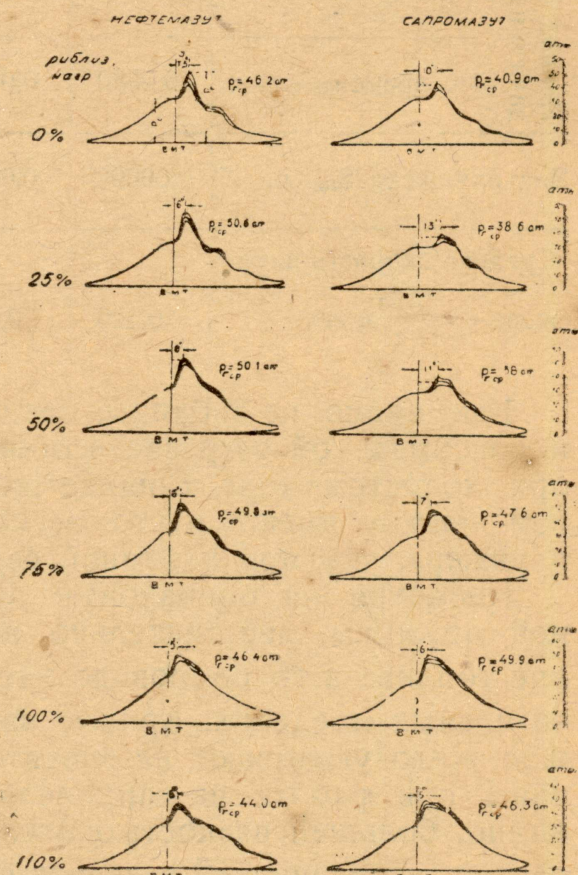
нефтяной серии возрастания температуры топлива (см. фиг. 41), а также за счет резкого изменения вязкости сапропелитового мазута с возрастанием температуры значение $p_{\text{ф}}^{\text{м}}$ снова уменьшается.

Вообще, следует отметить, что при работе двигателя на сапропелитовом мазуте особое влияние на процесс распыливания оказывает температура топлива, подводимого к форсунке, последняя же определяется, главным образом, степенью разогрева двигателя (теплопередача от выхлопной трубы и, особенно, от головки двигателя при прохождении топлива по сверлениям в ней).

Условия горения, характеристика выхлопа и отложений. На фиг. 43 и 44 приводятся характерные индикатор-



Фиг. 43. Нормальные индикаторные диаграммы двигателя Deutz PME.



Фиг. 44. Смещенные индикаторные диаграммы двигателя Deutz PME.

ные диаграммы для обеих серий опытов. Уже при беглом осмотре этих диаграмм (особенно смещенных) можно заметить, что процесс сгорания протекает в отдельных случаях далеко не одинаково.

В то время, как при нефтяной серии уже на малых нагрузках имеется налицо быстрый и интенсивный скачок давления, в сапропелитовой серии заметно постепенное нарастание быстроты и интенсивности горения по мере возрастания нагрузки.

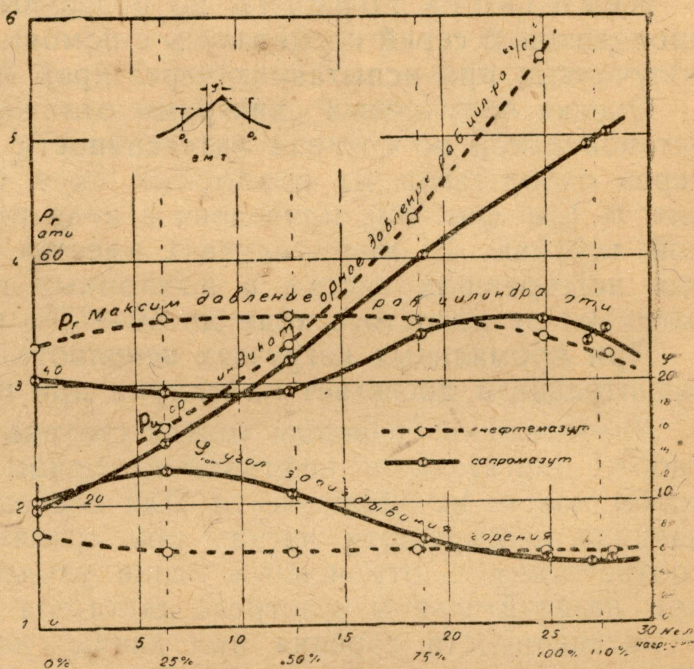
Обработка смещенных индикаторных диаграмм приводит к получению значений максимального давления горения p_z и величины

угла $\varphi_{гор}$, изменение которых, в зависимости от нагрузки двигателя, представлено в виде кривых на фиг. 45. Изменение значения $\varphi_{гор}$ при нефтяной серии, вообще говоря, незначительно. Лишь при холостом ходе запаздывание несколько больше обычной для остальных опытов величины в 6° после ВМТ, что становится вполне понятным, если принять во внимание малую степень разогрева двигателя при работе его вхолостую.

Совсем иная картина получается при работе двигателя на сапропелитовом мазуте. При холостом ходе значение $\varphi_{гор}$ понижено, очевидно, искусственно за счет предварительного подогрева сапропелитового мазута в верхнем баке. В дальнейшем $\varphi_{гор}$ постепенно падает за счет увеличения разогрева двигателя при возрастании его нагрузки и повышении при этом температуры топлива, поступающего в форсунку. При полной и максимальной нагрузках $\varphi_{гор}$ при работе на сапропелитовом мазуте становится даже несколько меньшим, чем это имело место при нефтяном топливе.

В полном соответствии с величиной $\varphi_{гор}$ изменяется и максимальное давление горения p_g , колебания которого в нефтяной серии незначительны. Здесь p_g несколько понижены при холостом ходе (холодная машина), почти одинаково при средних нагрузках и несколько понижается вновь при полной и максимальной нагрузках (очевидно, за счет понижения скорости горения при сильном обогащении смеси). При работе на сапропелитовом мазуте p_g сравнительно невелико при малых нагрузках (большее значение p_g при холостом ходе объясняется опять-таки влиянием предварительного подогрева топлива), затем быстро возрастает при увеличении разогрева двигателя и снова несколько понижается при переходе к перегрузкам (недостаточный избыток воздуха). Вообще максимальное давление горения при малых нагрузках значительно меньше при работе двигателя на сапропелитовом мазуте и наоборот—больше при полной и максимальных нагрузках.

Рассмотренные характеристики процесса горения по индикаторным диаграммам вполне подтверждают сделанное выше заключение



Фиг. 45. Характеристика индикаторных диаграмм.

ние о существенном влиянии на процесс распыливания и горения сапропелитового мазута степени разогрева двигателя и связанного с ним повышения температуры подводимого к форсунке топлива.

При обработке нормальных индикаторных диаграмм были получены также значения среднего индикаторного давления, изменение которого для обеих серий опытов представлено соответствующими кривыми на фиг. 45, однако, как уже было упомянуто выше, быстрходность двигателя и отсутствие специального индикатора не позволяли получить вполне надежные индикаторные диаграммы, в связи с чем полученные значения p_{ii} следует считать не вполне достоверными. Значительное расхождение между значениями p_{ii} нефтяной и сапропелитовой серии при больших нагрузках (а вместе с тем и разница в механическом коэффициенте полезного действия) не может быть признано правдоподобной и объясняется, очевидно, значительным трением поршенька индикатора.

Неполнота горения по отдельным опытам нефтяной и сапропелитовой серий оценивалась с помощью „диаграмм отложений“, полученных при испытаниях через кран А (см. схему фиг. 39).

Оценка полученных „диаграмм отложений“ по условной шкале, установленной по степени интенсивности отложений, получавшихся через отбор газов из выхлопных окон с помощью приспособления В (см. фиг. 39), приведена в виде ряда цифр строки 32 сводной таблицы. В обоих случаях имеется налицо возрастание наличия несгоревших частиц в выхлопных газах по мере увеличения нагрузки от холостого хода до 50—75% нормальной.

При нормальных нагрузках неполнота горения сравнительно незначительна и достигает максимума при перегрузке двигателя.

Значительной разницы между степенью неполноты горения при работе двигателя на нефтяном моторном топливе и на сапропелитовом мазуте не наблюдается. Для последнего заметное увеличение наличия несгоревших частиц при средних нагрузках находится в соответствии с отмеченным выше ухудшением условий сгорания при незначительном разогреве двигателя и с понижением скорости и интенсивности горения при данных нагрузках, характеризуемом индикаторными диаграммами (возрастание $\varphi_{гор}$ и падение p_g).

Изменение т-ры выхлопных газов для обоих случаев представлено соответствующими кривыми на фиг. 42.

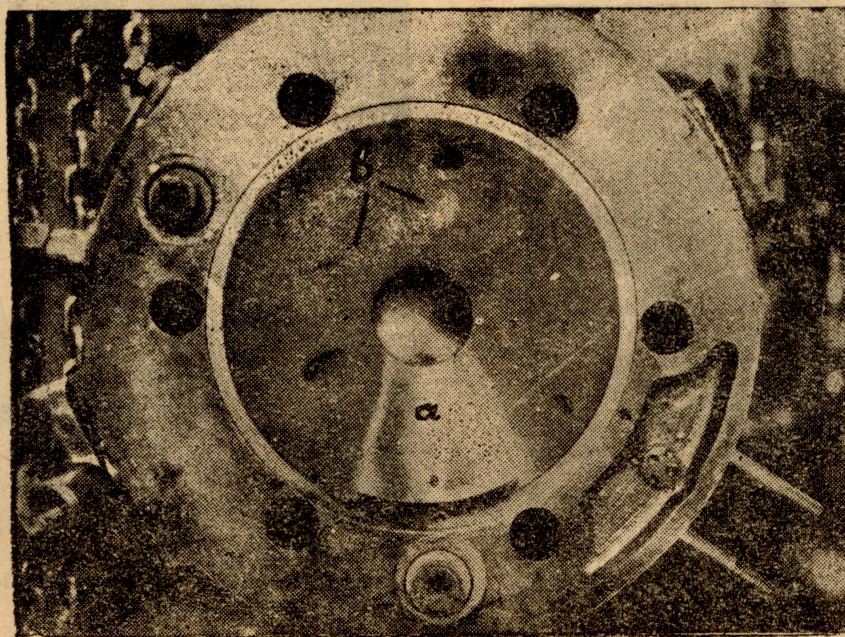
Заметной разницы между нефтяной и сапропелитовой сериями здесь не наблюдалось.

С точки зрения характеристики процессов сгорания интересны также результаты внутреннего осмотра двигателя, произведенного после 10 часовой работы его при разных нагрузках, как на нефтяном моторном топливе, так и на сапропелитовом мазуте и характер получившихся на поверхностях камеры сгорания отложений.

После работы на нефтяном моторном топливе этот осмотр дал следующие результаты.

Днище поршня покрыто тонким налетом сажи, выгоревшей в центре, где заметен характерный для отложений золы буроватый налет.

Крышка цилиндра (см. фиг. 46) равномерно покрыта тонким налетом сажи с заметными буроватыми пятнами „в“ с одного



Фиг. 46. Внутр. поверхность цилиндровой крышки после 10 ч. работы на нефтян. топливе при разных нагрузках.

бока, где против отверстий в предкамере сажа выгорела и остался лишь тонкий слой золы (видимые на фотографии светлые пятна „а“ значения не имеют, т. к. они образовались благодаря подтеканию нефти из форсуночного отверстия при разборке двигателя).

Рабочая поверхность цилиндра вполне чиста и покрыта тонким слоем смазки. Поршневые кольца не пригорели.

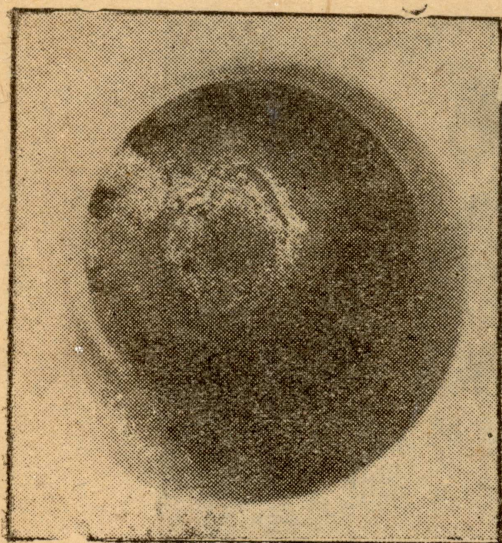
Предкамера с наружной стороны почти чиста, с едва заметным буроватым налетом. С внутренней стороны предкамеры заметны отложения золы, скопившейся особенно сильно на днище ее в виде кратерообразного отложения, расположенного несколько эксцентрично. Отложения в предкамере составляют 1,2 гр.

Головка (крышка предкамеры) с внутренней стороны покрыта тонким слоем сажи. Форсуночное сопло и прилежащая к нему часть головки покрыты крупинкообразными отложениями кокса (см. фиг. 48). Само форсуночное отверстие не закоксовано.

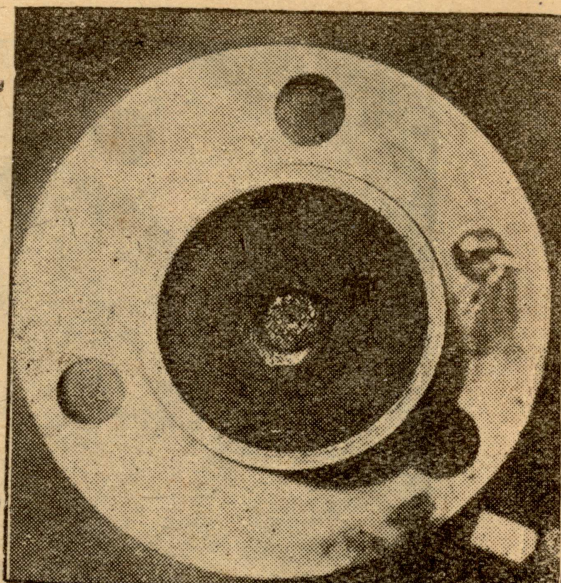
После 10 часовой работы на сапропелитовом мазуте осмотр днища поршня, крышки цилиндра и предкамеры дал точно такие же результаты, как и после работы на нефтяном топливе. Рабочая поверхность также оказалась вполне чистой и покрытой достаточным слоем смазки. Отложения золы на внутренней

поверхности предкамеры после сапропелитового мазута были, как по количеству, так и по характеру такими же, как и после нефтяного топлива.

Внутренняя поверхность головки оказалась закоксованной значительно сильнее. Помимо отложений кокса возле форсуночного

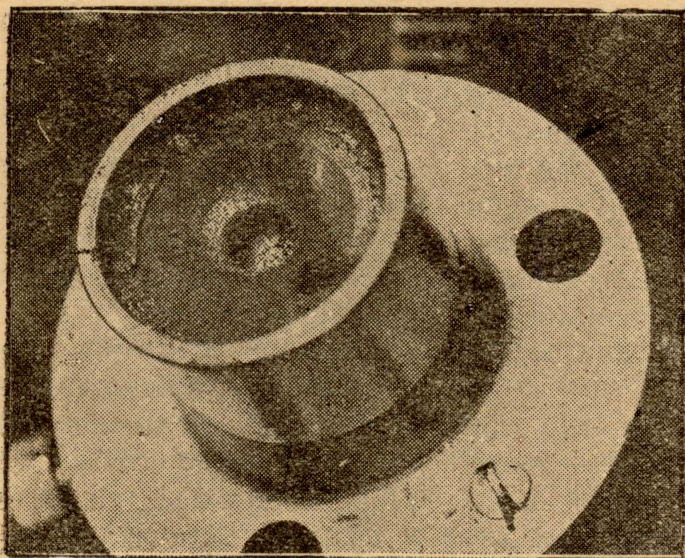


Фиг. 47. Внутренний вид дна предкамеры после 10 ч. работы на нефт. топливе.



Фиг. 48 Внутренняя поверхность головки после 10 ч. работы на нефтяном топливе.

отверстия, аналогичных таковым же и после работы на нефтяном топливе, здесь (см. фиг. 49) образовались значительные отложения кокса в месте перехода конической поверхности в цилиндрическую. Само форсуночное отверстие попрежнему оставалось чистым.

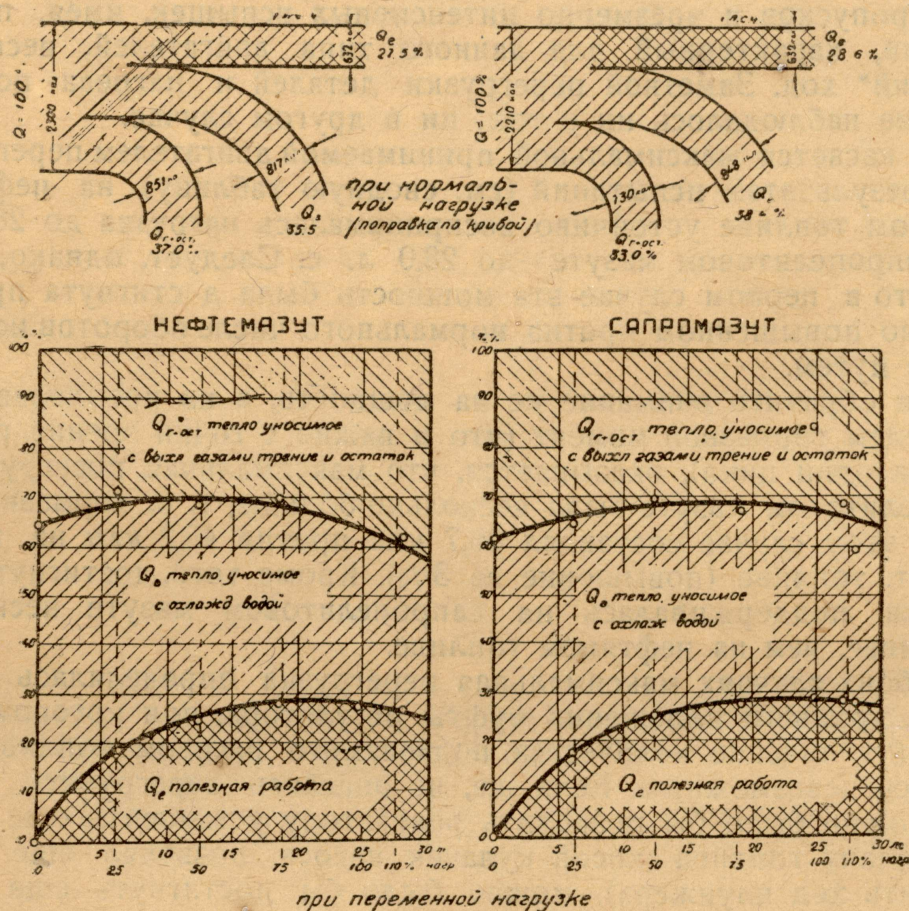


Фиг. 49. Вид головки предкамеры после 10 ч. работы на сапропелитовом мазуте.

Таким образом, результаты внутренних осмотров двигателя указывают, что отложения, имеющие место после работы на сапропелитовом мазуте, получаются в общем такими же, как и после работы на нормальном нефтяном топливе. Исключение представляют лишь значительные отложения кокса в мертвом угле между головкой и стаканом предкамеры, что не оказывает существенного влияния на работу двигателя.

Тепловой баланс двигателя.

На фиг. 50 представлены в виде диаграмм Sankey'a тепловые балансы двигателя при нормальной его нагрузке для случаев работы на нефтяном моторном топливе и на сапропелитовом мазуте, а также в виде развернутых диаграмм балансов при различных нагрузках.



Фиг. 50. Тепловые балансы двигателя Deutz PME.

Балансы при нормальной нагрузке составлены не непосредственно по данным соответствующих опытов, а в соответствии с протеканием усредняющих кривых, построенных по данным всех опытов данной серии.

Таким образом, расход тепла при нормальной нагрузке составляет для нефтяного моторного топлива 2300 кал/элсч, а для сапропелитового мазута 2210 кал/элсч.

В основном характер тепловых балансов для обоих случаев остается одинаковым. Заметен лишь для случая работы на сапропелитовом мазуте несколько повышенный при больших нагрузках расход тепла с охлаждающей водой и пониженный—с выхлопными газами.

Напряженность работы двигателя и способность его к перегрузке. В отношении общей, внешней характеристики работы двигателя на сапропелитовом мазуте и сравнении условий этой работы с таковыми на обычном нефтяном моторном топливе следует заметить, что существенной разницы между обоими случаями не наблюдалось. Как на нефтяном топливе, так и на сапропелитовом мазуте двигатель работал вполне спокойно без перебоев, пропусков и чрезмерно интенсивных вспышек, имея, правда, обычный, характерный для данного типа двигателей, несколько „жесткий“ ход. Заметной перегрузки деталей и нагрева подшипников не наблюдалось ни в том, ни в другом случае.

Что касается максимальной принимаемой двигателем перегрузки, то по результатам испытаний (см. сводную таблицу) на нефтяном моторном топливе устойчиво воспринималась нагрузка до 28,1 л. с., а на сапропелитовом мазуте—до 28,0 л. с. Следует, однако, отметить, что в первом случае эта мощность была достигнута при значительно повышенном против нормального числе оборотов искусственным путем.

Если обратить внимание не на мощность, а на преодолеваемый двигателем тормазной момент (что и важно с точки зрения работы газов за один цикл), оказывается, что максимальная перегрузка на сапропелитовом мазуте была несколько больше, т. к. тормазной момент в этом случае составлял 46,7 кгм против 45,2 кгм на нефтяном мот. топливе (повышение на 3%). Кроме того, достигнутая перегрузка поддерживалась на сапропелитовом мазуте несколько устойчивее, чем на нефтяном топливе.

В обоих случаях максимальная перегрузка определялась достижением крайнего положения муфты регулятора, при котором дальнейшее увеличение количества подаваемого насосом топлива становилось невозможным. Если же, не опасаясь перегрузить двигатель, можно было бы позволить регулятору установить еще большую подачу топлива (косой кулачек насоса позволял еще более увеличить ход плунжера), можно было бы достигнуть еще больших перегрузок, как на нефтяном топливе, так и на сапропелитовом мазуте до тех пор, пока недостаток воздуха не создал бы чрезмерно неблагоприятных условий для сгорания.

Т. к. сапропелитовый мазут, благодаря своему химическому составу, требует меньшего количества воздуха, следует ожидать, что применение его должно сделать возможным достижение больших, чем на нефтяном топливе, перегрузок.

Таким образом, в отношении принимаемой двигателем нагрузки работа на сапропелитовом мазуте дает не худшие, а даже несколько лучшие результаты.

Результаты сравнительных испытаний предкамерного дизеля Deutz PHE при работе на нефтяном моторном топливе и на сапропелитовом мазуте.

№ по пор.	Наименование величин.	Обозначение	Размерность	Серия Н — Ne					Серия С — Ne							
				Опыты (прибл. доля нагрузки)					Опыты (прибл. доля нагрузки)							
				0,0	0,25	0,50	0,75	1,0	макс.	0,0	0,25	0,50	0,75	1,0	1,1	макс.
1	Характеристика опыта	—	—	24/II—32 г.					11/II—32 г.							
2	Дата проведения опыта	—	час/мин.	17/50	19/00	20/53	21/40	23/10	25/1	11/30	14/10	14/55	16/52	18/05	19/03	19/40
3	Время начала опыта	—							0/10							
4	Продолжительность опыта	τ	' мин."/сек.	32'0"	32'0"	32'0"	32'0"	40'0"	24'0"	24'0"	24'0"	24'0"	24'0"	40'0"	24'0"	12'0"
5	Барометрическое давление	B	мм рт. ст.	745	745	745	745	745	745	759	759	759	759	759	759	759
6	Температура помещения	t ₀	°C	20,1	20,0	22,0	20,5	17,1	16,8	21,4	18,0	18,8	19,6	19,6	21,4	21,5
7	Работа	n	об/мин.	433,6	438,5	432,1	431,2	431,5	446,0	427,0	426,0	436,0	439,0	432,0	430,0	429,5
8		M	кгм.	0,0	13,0	20,6	30,9	41,1	45,2	0,0	13,0	20,6	30,9	41,1	45,2	46,7
		N _e	л. с.	0,0	6,32	12,39	18,54	24,75	28,10	0,0	6,13	12,51	18,90	24,82	27,09	28,00
9	Топливо	—	—	Нефт. моторное топливо					Сапропелитовый мазут							
10		Q _p ^в	кал/кг	10640					10060							
11		Q _p ^н	кал/кг	9960					9520							
12		G _b	гр/час.	1759	2345	3415	4451	5990	6945	1573	2360	3370	4648	5840	6548	6800
13		G _{сл}	гр/час.	254	163	164	178	145	158	85	24	42	57	82	92	73

№ по пор.	Наименование величин	Обозначение	Размерность	Серия Н — Ne						Серия С — Ne						
				Опыты (прибл. доля нагрузки)						Опыты (прибл. доля нагрузки)						
				0,0	0,25	0,50	0,75	1,0	макс	0,0	0,25	0,50	0,75	1,0	1,1	макс
14	Действит. часов. расход топлива	G	г/час.	1505	2182	3251	4273	5845	6787	1488	2336	3328	4591	5758	6456	6727
15	Расход т-ва на эфф. силу-час.	g_e	г/лсч. °C	∞	345,2	262,5	230,5	236,3	241,5	∞	381,0	266,5	243,2	232,0	238,2	240,0
16	Т-ра т-ва в расх. баке.	t_b	°C	комнатная ∞ 20 °C						33,3	32,6	28,2	26,1	24,3	24,3	24,3
17	Т-ра топлива перед насосом	t_m		22,7	24,7	26,3	27,8	28,8	30,0	25,2	22,7	22,7	24,6	26,1	29,2	29,2
18	Индикаторная диаграмма	P_c	атм	31,0	31,0	31,0	31,0	31,5	32,0	32,0	32,0	31,0	32,0	32,0	32,0	32,5
19		P_2	атм	46,2	50,6	50,1	49,8	46,4	44,0	40,9	38,6	38,8	47,6	49,9	46,3	48,2
20		$P_2 = P_c$	атм	1,520	1,665	1,650	1,637	1,505	1,405	1,307	1,236	1,284	1,517	1,590	1,477	1,513
21		$\varphi_{гор}$	°крив. окр.	7,7	6,15	5,9	6,0	5,8	5,6	10,3	12,7	10,7	6,9	5,4	4,8	5,2
22		P'_u	кг/см ²	1,43	2,65	3,31	4,34	5,66	—	1,97	2,51	3,18	4,4	4,67	4,94	5,03
23	Индикаторная диаграмма	P''_u	кг/см ²	0,139	0,135	0,139	0,127	0,138	—	0,082	0,083	0,126	0,132	0,125	0,104	0,113
24		P_u	кг/см ²	1,29	2,52	3,17	4,21	5,52	—	1,89	2,42	3,06	3,91	4,55	4,83	4,92
25	Насос и форсунка	h_p	мм	17,0	14,5	11,5	7,0	4,2	3,0	14,1	9,7	6,1	7,7	4,4	2,3	1,25
26		$S_{пл}$	мм	0,96	1,32	1,71	2,26	2,60	2,79	1,39	1,81	2,28	2,20	2,61	2,84	2,92
27		φ'_n	°крив. окр.	35,0	36,3	35,0	36,0	34,0	36,0	34,0	36,0	36,0	36,0	34,0	35,0	35,0
28		φ''_n	°крив. окр.	14,3	12,3	8,5	5,0	2,5	1,0	10,0	8,0	6,0	5,0	4,0	2,5	2,0
29	Давление По манометру	$P^m_{ф}$	атм	121	112	108	116	122,5	129	135	127,5	142	145	139	144	134
30	Распыливания. По затяж. пр.	$P^p_{ф}$	атм	109 = Const						109 = Const						

Часть IV.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ.

Анализ результатов исследований возможности применения мазута из смолы полукоксования сапропелитов III-го Барзасского месторождения в двигателях Дизеля позволяет сделать следующие выводы:

1. Применение данного сорта мазута в качестве моторного топлива для компрессорных двигателей Дизеля и бескомпрессорных предкамерных типа Deutz вполне возможно.

2. Работа машины с недогрузкой связана с перерасходом, достигающим при четвертной нагрузке до 14% для компрессорного и 10% для бескомпрессорного по сравнению с нефтяным моторным топливом.

3. При нормальной нагрузке расход сапропелитового мазута на компрессорный двигатель меньше на 3%, а на бескомпрессорный на 1,5%, при калорийности его на 4,4% меньшей, чем нефтяного моторного топлива.

4. Меньшее значение теоретически необходимого для сгорания количества воздуха позволяет работать с большими избытками воздуха на одинаковых нагрузках и дает возможность двигателю принимать большую длительную перегрузку.

5. Исследование процесса сгорания показывает, что для сапропелитового мазута при работе на всех нагрузках период запаздывания воспламенения получается меньшим.

Это указывает на то, что для сапропелитового мазута можно ожидать более низкую температуру появления холодного пламени и более низкую температуру самовоспламенения, чем для применявшегося нефтяного моторного топлива.

Более короткий период запаздывания воспламенения вызывает более мягкий ход машины, что наблюдалось в работе на обоих двигателях.

6. Пуск в ход компрессорного двигателя при температурах от +15 до +20°C осуществляется непосредственно на сапропелитовом мазуте.

Для пуска бескомпрессорного предкамерного при тех же температурах должно применяться, в качестве пускового, нефтяное моторное топливо.

7. При работе на сапропелитовом мазуте компрессорный двигатель имеет неравномерный ход на холостом ходу и четвертной нагрузке. Начиная с половинной нагрузки и до перегрузки в 20% наблюдается вполне устойчивая работа его.

Бескомпрессорный двигатель работает устойчиво и равномерно на всяких нагрузках.

8. Повышенное нагарообразование, более заметное в компрессорном двигателе, требует обратить внимание на необходимость снижения коксуемости до величины, даваемой нормами.

9. Малая продолжительность проведенных опытов не позволяет дать исчерпывающей оценки эксплуатационных качеств данного топлива, которые смогут быть выявлены, при проведении длительных наблюдений за работой двигателей в условиях эксплуатации.

10. Наряду с этим необходимо подвергнуть более глубокому изучению основные физико-химические свойства нового топлива (появление холодного пламени, температура самовоспламенения, теплосъемность, величина поверхностного натяжения, и др.) с целью подведения прочной научно-технической базы для рационального использования его и введения необходимых конструктивных изменений в существующих двигателях применительно к специфическим свойствам новых сортов горючего.

Исправление. В части II-ой настоящей работы надпись под фиг. 24 относится к фиг. 25, а надпись под фиг. 25—к фиг. 24.

г. Томск.

Лаборатория Двигателей Внутреннего Сгорания С.М.М.И.