

Индицирование двигателя. Определение мощности

Индикаторные диаграммы, снятые с соблюдением необходимых условий, позволяют определить индикаторную мощность и распределение ее по цилиндрам двигателя, исследовать газораспределение, работу форсунок, топливных насосов, а также определить максимальное давление цикла p_z , давление сжатия p_c и др.

Снятие индикаторных диаграмм производят после прогрева двигателя при установившемся тепловом режиме. После снятия каждой диаграммы индикатор должен быть отключен от цилиндра 3-ходовым краном индикатора и индикаторным клапаном на двигателе. Барабаны индикатора останавливают отключением шнура от привода. Периодически после снятия нескольких диаграмм поршень индикатора и его шток надо слегка смазывать. Не следует производить индицирование двигателя при волнении моря свыше 5 баллов. При снятии индикаторных диаграмм привод индикатора должен быть исправным, индикаторные краны полностью открыты. Диаграммы рекомендуется снимать одновременно со всех цилиндров; если последнее невозможно, то последовательное снятие их надо производить в возможно более короткий срок при постоянной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Перед индицированием необходимо проверить исправность индикатора и его привода. Поршень и втулка индикатора должны иметь полное прилегание; смазанный поршень при снятой пружине из верхнего положения должен опускаться в цилиндре медленно и равномерно под действием собственного веса. Поршень и втулку индикатора смазывают только цилиндрическим или моторным маслом, но не приборным, которое входит в комплект индикатора и предназначено для смазывания сочленений пишущего механизма и верхней части штока поршня. Пружину и гайку (колпачок), зажимающую пружину, надо завернуть полностью. Высота подъема пишущего штифта индикатора должна быть пропорциональна давлению газов в индицируемом цилиндре, а угол поворота барабана — пропорционален ходу поршня. Зазоры в шарнирных соединениях передаточного механизма должны быть небольшими, что проверяется легким покачиванием рычага при неподвижном поршне, а также должен отсутствовать мертвый ход. При сообщении индикатора с рабочей

полостью цилиндра при неподвижном барабане пишущий штифт индикатора должен чертить вертикальную прямую линию.

Индикатор связан с приводом либо специальным индикаторным шнуром, либо специальной стальной лентой размером 8 x 0,05 мм. Шнур для привода — льняной, плетеный; перед установкой новый шнур вытягивают в течение суток, подвешивая к нему груз массой 2 - 3 кг. При неудовлетворительном состоянии шнура получают значительные искажения индикаторной диаграммы. Стальную ленту применяют для двигателей с числом оборотов 500 об/мин и выше, а также если число оборотов меньше 500 об/мин, но соединение индикатора и привода имеет вид ломаной линии длиной 2 - 3 м. Пригодность шнура с точки зрения его вытяжки проверяют снятием диаграммы сжатия при выключенной подаче топлива. Если линия сжатия совпадает с линией расширения, то шнур пригоден к работе. Длину индикаторного шнура необходимо отрегулировать так, чтобы в крайних положениях барабан не доходил до упора. При коротком шнуре происходит его обрыв, при длинном — диаграмма имеет укороченный вид („обрезанный”), так как в конце хода поршня барабан будет неподвижен. Во время индицирования шнур должен быть постоянно в натянутом положении.

При проведении атмосферной линии необходимо следить за тем, чтобы она располагалась на расстоянии 12 мм от нижней кромки бумаги для индикаторов модели 50 и 9 мм — модели 30. В этом случае пишущий механизм будет работать в наиболее оптимальном диапазоне измерений и вести правильную запись линии всасывания под линией атмосферного давления. Длина диаграммы должна быть не более 90% наибольшего хода барабана.

Индикаторный шнур должен лежать в плоскости качания рычага индикаторного привода. В среднем положении рычага шнур должен быть перпендикулярен его оси. Индикатор следует установить так, чтобы шнур не задевал трубопроводы, машинные решетки и другие детали. Если же он задевает, и это не устраняется изменением положения индикатора, то устанавливают переходный ролик. При этом необходимо сохранить перпендикулярность шнура от ролика к оси рычага индикатора привода при среднем положении последнего. Нажим карандаша (пишущего штифта) должен быть отрегулирован так, чтобы он не рвал бумагу, а оставлял тонкий ясно видимый след. Медный штифт должен быть всегда хорошо заточен. Сильный нажим карандаша вызывает увеличение площади диаграмм. Бумага должна плотно прилегать к индикаторному барабану.

Перед установкой индикатора во избежание засорения каналов и поршня необходимо тщательно продуть индикаторный клапан двигателя. Перед снятием диаграммы продувку повторить через 3-ходовой кран индикатора. Перед индицированием двигателя индикатор должен быть хорошо прогрет. Невыполнение этого требования приводит к искажению индикаторных диаграмм. При установке и снятии индикатора нельзя пользоваться ударным инструментом при зажатии и отдаче накидной гайки. Для этого служит специальный ключ, входящий в комплект индикатора.

Индикаторы и индикаторные пружины не реже 1 раза в два года должны проверяться органами надзора и иметь свидетельство о годности. Состояние индикаторного привода проверяют на работающем двигателе снятием диаграмм сжатия при выключенной подаче топлива. При правильно отрегулированном индикаторном приводе линии сжатия и расширения должны совпадать. При обнаружении дефектов в механизме газораспределения в период анализа индикаторных диаграмм необходимо принять меры по их устранению. После исправления дефектов произвести повторное индицирование и обработку (анализ) индикаторных диаграмм.

Обычные индикаторные диаграммы для анализа изменения рабочего процесса двигателей, работающих с переменной нагрузкой. Снимают серией на непрерывной ленте, следуют одна за другой через установленный интервал.

Снятые индикаторные диаграммы перед обработкой анализируются, так как из-за недостатков регулировки двигателя или в связи с неисправностью индикатора, его привода или нарушением правил индицирования индикаторные диаграммы могут иметь различные искажения.

Планиметрирование.

Индикаторные диаграммы обрабатывают в такой последовательности: настраивают планиметр и планиметрируют все диаграммы; определяют их площади; замеряют длины всех диаграмм и значения ординат p_c и p_z , подсчитывают p_i для каждого цилиндра. Планиметр настраивают по площади круга, очерченного планкой, прилагаемой к планиметру. В случае отсутствия специальной планки показания планиметра проверяют по квадрату на миллиметровой бумаге. Планиметрирование производят на гладкой доске, покрытой листом бумаги. При установке планиметра его рычаги по отношению к

диаграмме располагают под углом 90° . При обводе диаграммы угол между рычагами планиметра должен составлять $60 - 120^\circ$.

Длину индикаторной диаграммы измеряют по атмосферной линии. Ход привода следует выбирать таким, чтобы длина диаграммы равнялась 70 и 90 - 120 мм для индикаторов моделей 30 и 50 соответственно.

При отсутствии планиметра среднее индикаторное давление p_i находится с достаточной точностью методом трапеции. Для этого диаграмму разбивают вертикальными линиями на 10 равных частей. Среднее индикаторное давление определяют по формуле

$$p_i = \Sigma h / (10m),$$

где Σh — сумма высот h_1, h_2, \dots, h_{10} ,

мм; m — масштаб индикаторной пружины, мм/МПа. Способ измерения ординат h , p_z и p_c показан на рис. 4.6. При снятии индикаторных диаграмм в каждом отдельном случае для сравнительной оценки распределения нагрузки по цилиндрам надо учитывать температуру отработавших газов.

Каждый участок делят пополам и посередине измеряют его высоту. При оформлении результатов индицирования на бланке снятой диаграммы дизеля необходимо

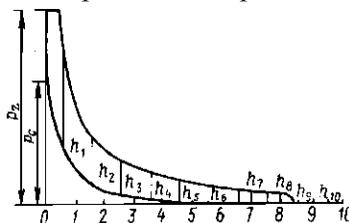


Рис. 4.6. Метод графического определения среднего индикаторного давления

указывать название судна, дату индицирования, марку дизеля, номер цилиндра, масштаб пружины, длину и площадь диаграммы, полученные параметры p_z , p_c , p_i , N_e , n . Обработанные индикаторные диаграммы каждого двигателя вклеивают в „Журнал индицирования” с соответствующим анализом результатов индицирования. В пояснительном тексте должны быть указаны выявленные недостатки регулировки двигателя и принятые меры по их устранению. По окончании рейса „Журнал индицирования” и комплект обработанных диаграмм надо представлять в МСС флота вместе с рейсовым машинным отчетом. При обработке диаграмм, снятых с высокооборотных дизелей, необходимо делать поправку на погрешность пишущего механизма индикатора, которая в отдельных случаях может достигать 0,02-0,04 МПа (прибавляется к основному значению).

Анализ процесса сгорания по диаграммам и осциллограммам

Индикаторная диаграмма – это графическое изображение зависимости давления в цилиндре от хода поршня.

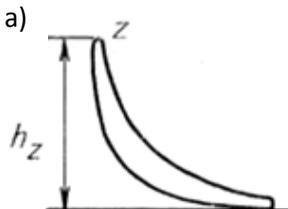
Способы получения(снятия) индикаторных диаграмм

Для получения индикаторных диаграмм используются механические индикаторы либо электронные системы измерения давления газов в цилиндре и топлива в процессе впрыскивания (MIP Calculator, pressure analyzer)(NK-5 "Аутроника" и CylDET ABB). Для получения полноценных индикаторных диаграмм с помощью механического индикатора двигатель д.б. оборудован индикаторным приводом.

Виды индикаторных диаграмм

С помощью механических индикаторов можно получить следующие виды индикаторных диаграмм: нормальные, смещенные, диаграммы-гребенки, сжатия, газообмена и развернутые.

Нормальные индикаторные диаграммы а) служат для определения среднего индикаторного давления и общего анализа характера протекания индикаторного процесса.



Смещенные диаграммы используют для анализа процесса сгорания, выявления недостатков в работе топливной аппаратуры, оценки правильности установки угла опережения подачи топлива, а также для определения максимального давления сгорания p_z и давления начала видимого сгорания p'_c которое обычно приравнивают к давлению сжатия p_c .

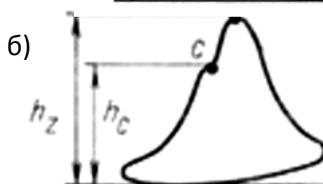


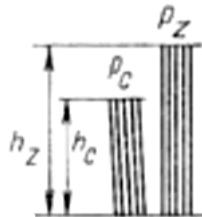
Рис. 1 Виды индикаторных диаграмм

Смещенную диаграмму снимают путем присоединения индикаторного шнура с приводом соседнего цилиндра, если его кривошип заклинен под углом 90 или 120°, или с помощью привода с поворотной головкой, или быстро поворачивая барабан индикатора за шнур рукой.

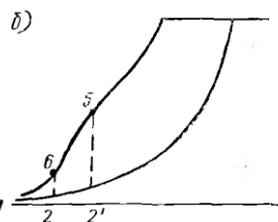
Диаграммы-гребенки служат для определения давления в конце сжатия p_c и максимального давления сгорания p_z на двигателях, не имеющих индикаторных приводов. При этом барабан индикатора при

помощи шнура поворачивают рукой. Для определения p_c диаграмму снимают при выключенной подаче топлива в цилиндр.

Диаграммы сжатия как указывалось, используются для проверки индикаторного привода. По ним можно также определить давление p_c и оценить герметичность поршневых колец по величине площадки между линией сжатия 1 и линией расширения 2.

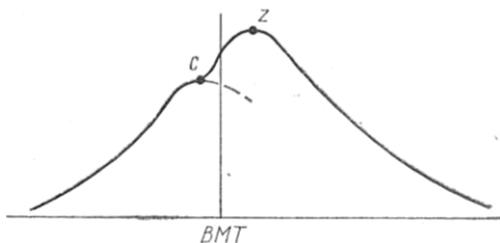


Диаграммы газообмена снимают обычным способом, но применяют слабые пружины с масштабом $1 \text{ кгс/см}^2 = 5 \text{ мм}$ (и более) и нормальный («паровой») поршень. По таким диаграммам анализируют процессы выпуска, продувки и наполнения цилиндра. Верхняя часть диаграммы ограничивается горизонтальной линией, так как поршень индикатора, находясь под воздействием слабой пружины, достигает крайнего верхнего положения и остается в нем до снижения давления в цилиндре до 5 кгс/см^2 .



Развернутые

диаграммы служат для анализа процесса сгорания в районе ВМТ, а также для определения p_c в двигателях, не имеющих индикаторного привода. Развернутые диаграммы снимают электрическим



или механическим индикатором с независимым от вала двигателя приводом (например, от часового механизма).

Для снятия всех вышеперечисленных диаграмм за исключением гребёнки требуется индикаторный привод

Искажения индикаторных диаграмм возникают чаще всего при заедании поршня индикатора (рис. 2, а), установке слабой (рис. 2, б) или жесткой пружины (рис. 2, в), ослаблении гайки крепления пружины индикатора, вытяжке индикаторного шнура (рис. 2, з) или большой его длине (рис. 2, д).



Рис. 2. Искажения индикаторных диаграмм

Обработка индикаторных диаграмм производится с целью определения по ним значений среднего индикаторного давления p_i , максимального давления сгорания p_z и давления в конце сжатия p_c . Наиболее просто определяются параметры p_z и p_c по диаграммам-гребенкам и смещенным диаграммам. Для этого масштабной линейкой с диаграммы снимают ординаты от атмосферной линии до соответствующих точек (см. рис. 1, б, в) или, при ее отсутствии, простой линейкой. В последнем случае значения p_z и p_c будут равны:

$$p_z = \frac{h_z}{m}; p_c = \frac{h_c}{m};$$

где m — масштаб пружины.

Максимальное давление сгорания можно определить также по нормальной индикаторной диаграмме, а давление, в конце сжатия — по диаграмме сжатия.

Среднее индикаторное давление определяют по нормальным или развернутым индикаторным диаграммам. По развернутым диаграммам p_i находят графоаналитическим способом, перестроением развернутой диаграммы в нормальную или при помощи специальной номограммы.

По нормальной индикаторной диаграмме значение p_i определяют по формуле

$$p_i = \frac{F_i}{ml} \quad (130)$$

где F_i — площадь индикаторной диаграммы, мм²;

m — масштаб пружины индикатора, мм/(кгс/см²);

l — длина диаграммы, мм.

Длину каждой индикаторной диаграммы измеряют между касательными к крайним точкам контура диаграммы, которые проводятся перпендикулярно атмосферной линии. Площадь диаграммы измеряют планиметром.

Следует отметить, что при определении среднего индикаторного давления p_i по индикаторной диаграмме погрешность измерения может достигать 10—15% и более. Вместе с тем в судовых малооборотных дизелях при нормальном техническом состоянии систем топливоподачи и наддува соотношения между давлениями p_i , p_c , p_z , индексом топливного насоса и цикловой подачей топлива g_u обычно сохраняются достаточно стабильными продолжительное время.

Поэтому любой из указанных параметров может быть выбран для оценки нагрузки цилиндра.

В связи с этим некоторые дизелестроительные заводы установку индикаторных приводов считают нецелесообразной, а в разработанной для этих двигателей системе диагностики для оценки нагрузки цилиндров используется величина p_z .

Поэтому наиболее распространёнными видами индикаторных диаграмм, снятых механическим индикатором являются гребёнки и развернутые «от руки».

Диаграмма-гребёнка позволяет определить давление конца сжатия (p_c) и максимальное давление цикла (p_z), причём для снятия p_c необходимо отключение подачи топлива на данный цилиндр. Отключение цилиндра приведёт к снижению мощности и оборотов двигателя, ГТН и давления наддува, что в свою очередь скажется на величине давления сжатия. Для измерения давления сжатия предпочтительнее диаграмма развёрнутая «от руки». Данная диаграмма при определённом навыке напоминает развернутую диаграмму снятую при помощи индикаторного привода, но связь между давлением и ходом поршня отсутствует.

Полученные значения p_c и p_z необходимо проанализировать. Для получения более точных выводов одновременно со снятием диаграммы необходимо записать следующие данные: температуры газов за цилиндрами, перед и после турбины, давление и температуру наддувочного воздуха, обороты двигателя и турбины, указатель нагрузки двигателя. Желательно знать расход топлива на момент снятия диаграммы.

Лучший способ анализа состояния двигателя – это сравнить замеренные величины с величинами полученными при заводских или ходовых испытаниях двигателя при той же нагрузке.

В случае отсутствия данных испытаний необходимо сравнить полученные значения со средним.

Например

Таблица 1

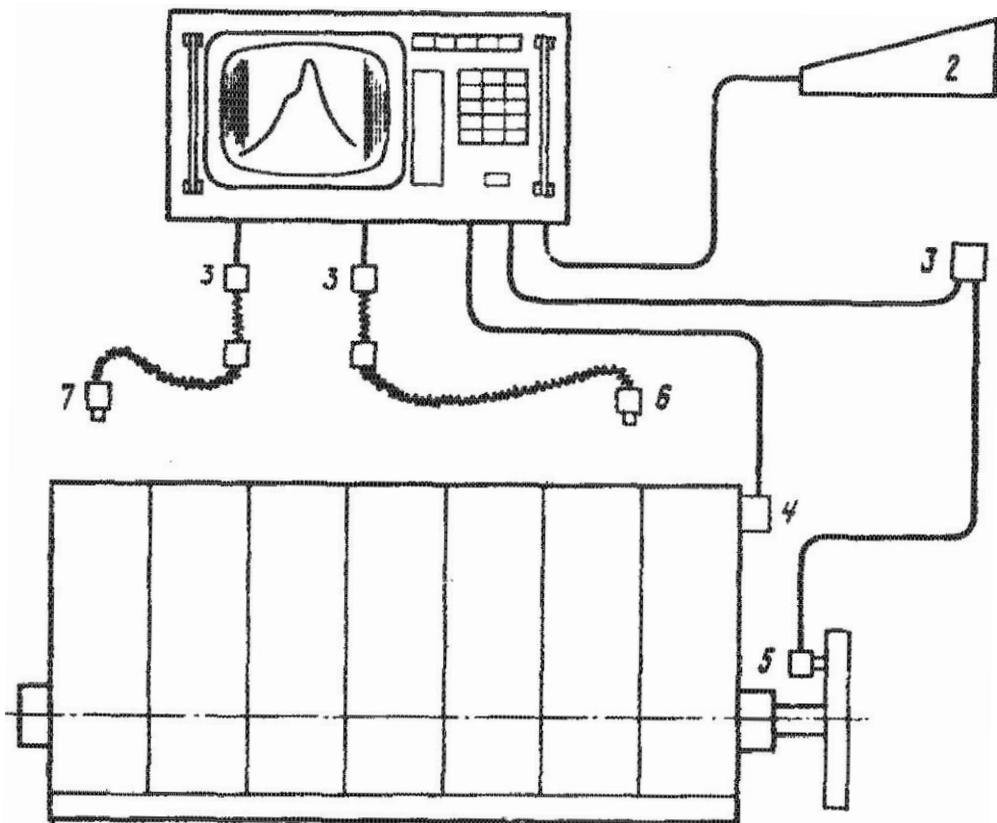
Дата					Дв-ль	ГНТ		Доп значения
Время		Нагрузка		Обороты			p_n	
Пар/№ц	1	2	3	4	5	6	ср.зн.	
p_z бар	165	156	167	156	175	164	163,8	
Δp_z	0,71%	-4,78%	1,93%	-4,78%	6,82%	0,10%		3,5%*
p_c бар	124	120	125	128	127	122	124,3	
Δp_c	-	-3,49%	0,54%	2,95%	2,14%	1,88%		2,5%*
T_2 °С	370	390	380	390	372	350	375,3	
ΔT_2	-	3,91%	1,24%	3,91%	0,89%	-6,75%		5,0%*
Индекс ТНВД	48	52	52	48	50	48		
Действие		Кольца, клапана	ТР↓	φ↑	φ↓	ТР↑		

*РД 31.21.30-97 Правила технической эксплуатации СТС и К стр. 99

p_z бар	↓	↓	↑	↑
T_2 °С	↓	↑	↓	↑
Действие	ТР↑	φ↑	φ↓	ТР↓

Комплекс НК-5 фирмы «Аутроника». С помощью комплекса (рис. 3) можно получить наиболее полную информацию о протекании рабочего процесса во всех цилиндрах двигателя и распознать возникающие в нем нарушения, в том числе в работе топливонпрыскивающей аппаратуры. С этой целью предусмотрен датчик 6 высокого давления, устанавливаемый на топливопроводе высокого давления у форсунки, а также датчики: 4 — давления наддува; 5 — ВМТ и угла поворота вала; 7 — давления газов (3 — промежуточные усилители сигналов датчиков). Результаты измерений в виде кривых давлений и цифровых значений измеренных параметров выводятся на цветной дисплей 1 и печатающее устройство 2. Встроенный в систему микропроцессор позволяет данные измерений

Рис. 3. Диагностический комплекс фирмы «Аутроника» НК-5



сохранять в памяти и в дальнейшем сопоставлять новые данные с

прежними или эталонными.

В качестве примера кривые давлений газов в цилиндре и в топливопроводе у форсунки (рис. 4) иллюстрируют типичные нарушения в протекании процессов. Эталонная кривая 1 отражает характер изменения давлений на рассматриваемом режиме работы двигателя при технически исправном состоянии, кривая 2 характеризует действительный процесс с теми или иными искажениями, вызванными неисправностями.

Подтекание иглы форсунки (рис. 4, а) в связи с ухудшением распыливания топлива приводит к небольшому увеличению угла φ_z , снижению давления p_z и значительному догоранию топлива на линии расширения. Кривая расширения идет более полого и выше эталонной. Увеличиваются температура выпускных газов t_r и давление p_{exp} на линии расширения на координате 36° после ВМТ.

При запаздывании впрыскивания топлива (рис. 4, б) смещаются вправо начало видимого сгорания и весь процесс сгорания топлива. Одновременно снижается давление p_z растет температура t_r и давление p_{exp} . Аналогичная картина наблюдается при износе плунжерной пары топливного насоса и потере плотности его всасывающего клапана. В последнем случае уменьшается цикловая подача топлива и соответственно несколько снижается давление p_i .

Вследствие ранней подачи топлива (рис. 4, в) весь процесс сгорания смещается влево в сторону опережения, уменьшается угол φ_r и растет давление p_z . Поскольку процесс становится более экономичным, несколько увеличивается p_i . Раннюю подачу подтверждает и кривая давлений топлива у форсунки (рис. 4, г).

Изменения в кривой давления топлива вследствие увеличения цикловой подачи (рис. 4, д) сопровождаются ростом величин $p_{\phi \max}$ и продолжительности подачи φ_{ϕ} .

Падение скорости нарастания давления топлива $\Delta p_{\phi}/\Delta \varphi$ на участке от начала его подъема до момента открытия иглы, а также общее падение давления впрыскивания (рис. 4, е) вызывает уменьшение угла опережения подачи $\varphi_{\text{нп}}$ и максимального давления $p_{\phi \max}$. Причина заключается в увеличении протечек топлива через плунжерную пару, пару игла—направляющая форсунки вследствие их износа или в потере плотности клапанов насоса, штуцерных соединений топливопровода. Закоксовывание сопловых отверстий или чрезмерное увеличение вязкости топлива (рис. 4, ж) приводит к росту давления впрыскивания вследствие роста сопротивления истечения топлива из отверстий.

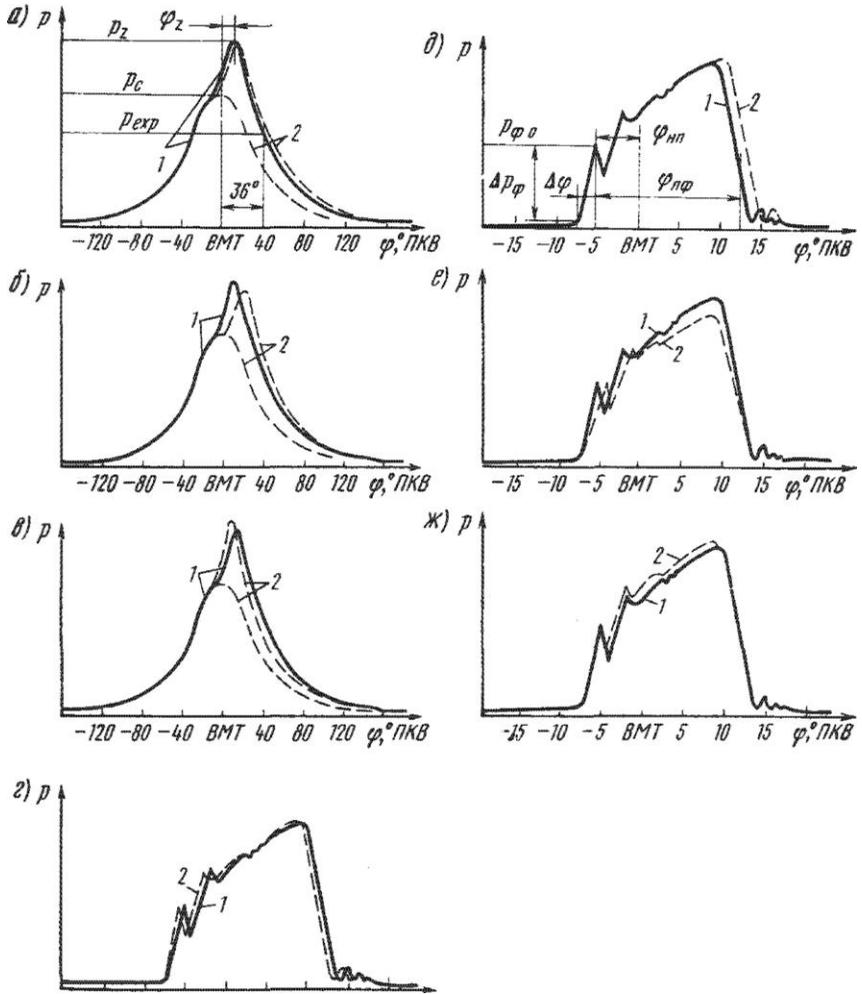


Рис.4. Давление газов в цилиндре и топлива в трубопроводе высокого давления

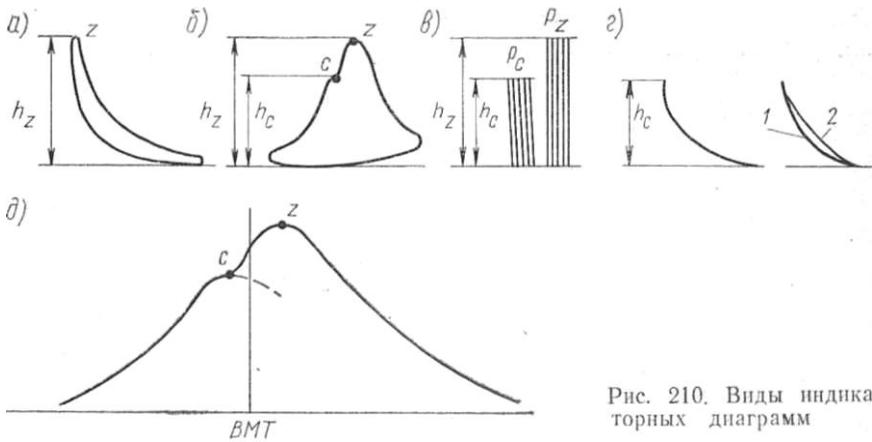
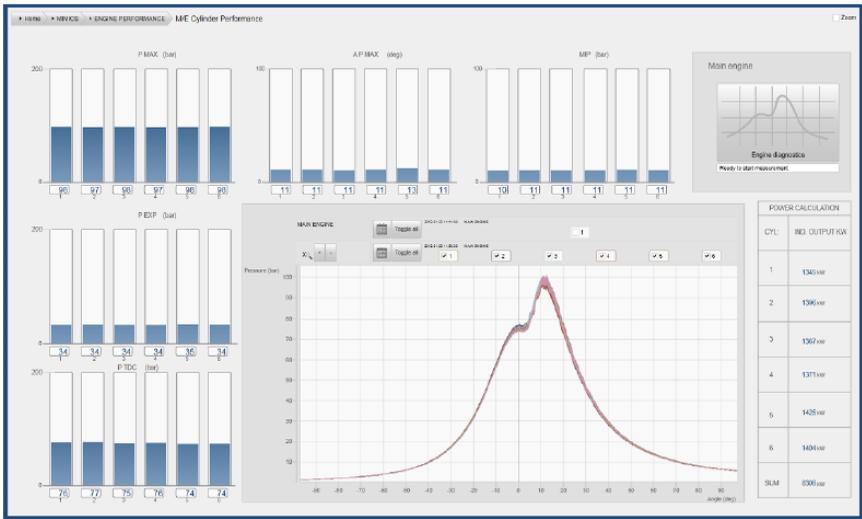


Рис. 210. Виды индикаторных диаграмм