

ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ В ЦИЛИНДРЕ, ОСНОВНЫЕ ВЛИЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ НА ИНДИКАТОРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ

**Мусабеков Закиржон Эргашевич (ТГТУ, доцент).
Равшанов Насимбек Қодир ўғли (ТГТУ, магистрант)**

АННОТАЦИЯ

Диаграмма изменения давления газов в цилиндре двигателя в зависимости от изменения объёма или угла поворота коленчатого вала, записанная индикатором, называется индикаторной диаграммой двигателя.

В эксплуатационных условиях автомобильный двигатель работает преимущественно на режимах неполной нагрузки. Для этих режимов анализ производится с целью определения условий, при которых достигается устойчивая работа двигателя при наибольшей экономичности на каждом скоростном режиме с наименьшей токсичностью. Значение каждого из эффективных показателей определяется значением соответствующего индикаторного показателя и механическим КПД.

Ключевые слова: *КПД, диаграмма четырёхтактного безнаддувного дизеля, Максимальные значения индикатор.*

ABSTRACT

The diagram of changes in the pressure of gases in the engine cylinder, depending on the change in the volume or angle of rotation of the crankshaft, recorded by the indicator, is called the engine indicator diagram.

Under operating conditions, an automobile engine operates primarily at partial load conditions. For these modes, the analysis is carried out in order to determine the conditions under which stable engine operation is achieved with the greatest efficiency at each speed mode with the lowest toxicity. The value of each of the effective indicators is determined by the value of the corresponding indicator indicator and mechanical efficiency.

Keywords: *efficiency, diagram of a four-stroke naturally aspirated diesel engine, maximum indicator values.*

ВВЕДЕНИЕ

Если давление газов p записано в функции объёма V , условимся называть её индикаторной диаграммой $p - V$, а если в функции угла поворота коленчатого вала α , то индикаторной диаграммой $p - \alpha$. Индикаторная

диаграмма даёт наглядное представление о протекании параметров состояния рабочего тела в течение цикла.

Площадь индикаторной « $p - V$ »-диаграммы пропорциональна работе цикла. Анализ и исследование индикаторных диаграмм позволяют получить разнообразный и ценный материал для суждения о качестве процессов, составляющих рабочий цикл, и о качестве цикла в целом.

Увеличение литровой мощности при неизменном числе оборотов можно достичь следующими способами:

- а) повышение ϵ ;
- б) улучшение коэффициента наполнения;
- в) увеличением массового заряда цилиндра;
- г) использованием энергии выпускных газов;
- д) применением комбинированных схем двигателя.

При повышении степени сжатия можно повысить среднее индикаторное давление. Однако при увеличении $\epsilon > 18$ прирост среднего индикаторного давления уменьшается, т.к. значительно быстрее возрастают механические потери в двигателе вследствие повышения. Следовательно, нецелесообразно увеличивать ϵ выше $18 \div 20$.

Применение высокооктановых топлив позволяет повысить двигателей с принудительным зажиганием до $10 \div 11$. При дальнейшем повышении значительно возрастает, что приводит к необходимости повышения прочности деталей двигателя и, соответственно, к его утяжелению.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Улучшение наполнения цилиндра дает возможность сжечь без образования дыма большее количество топлива, т.е. получить большую мощность в цилиндре данного объема и увеличить максимальное число оборотов коленвала без существенного снижения индикаторного давления.

Использование энергии выпускных газов в турбине повышает степень расширения газов и эффективную мощность двигателя. Выпускные газы двигателя перед турбиной, в зависимости от его форсирования, имеют температуру $370 - 6000$ С в двухтактных двигателях и $500 - 7000$ С – в четырехтактных. Количество выпускных газов, приходящихся на единицу массы сжигаемого топлива, зависит от коэффициента избытка воздуха и коэффициента продувки.

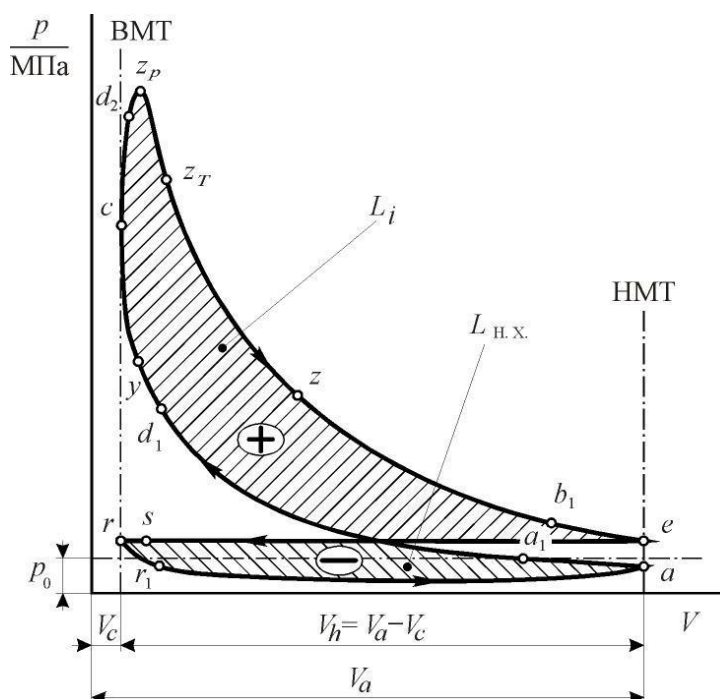


Рис.1 Индикаторная « $p - V$ » - диаграмма четырёхтактного безнаддувного дизеля

В двухтактных двигателях на единицу массы сжигаемого топлива требуется в 1,5-2 раза больше воздуха, чем в четырехтактных, что приводит к необходимости увеличивать размеры и производительность компрессора, и мощность его привода.

В двухтактных двигателях при давлении наддува более 1,5 кг/см² мощности турбины недостаточно для привода компрессора, поэтому часто применяют комбинированный привод. Первая ступень – компрессор (низкого давления) – приводится в движение турбиной, вторая ступень – компрессор (высокого давления) – от коленвала двигателя.

Стремление к существенному повышению агрегатной мощности двигателей приводит к необходимости принудительного увеличения весового заряда цилиндров воздухом посредством наддува. Степень повышения мощности двигателя при наддуве можно оценить по так называемой степени наддува, представляющей собой отношение среднего эффективного давления (мощности) двигателя при наддуве к среднему эффективному давлению двигателя без наддува.

Показатели работы двигателя подразделяются на индикаторные (внутренние), характеризующие совершенство рабочего цикла в цилиндре и учитывающие только тепловые потери в самом цилиндре, и эффективные (внешние), учитывающие помимо тепловых и механические потери, которые имеются при передаче энергии расширения газов через поршень и кривошипно-шатунный механизм на коленчатый вал двигателя [2,8,14].

Индикаторные показатели двигателей с искровым зажиганием и дизелей зависят от полноты и своевременности сгорания, а также от тепловых потерь в систему охлаждения и с отработавшими газами.

Увеличение степень сжатия является основным способом улучшения индикаторного процесса и повышения мощностью двигателя с искровым зажиганием, чем больше степень сжатия, тем выше требования к октановому числу топлива. Следует иметь в виду, что с повышением степень сжатия увеличиваются тепловые и механические нагрузки на детали двигателя, а также выброс NO_x и CH .

С увеличением диаметра цилиндра для обеспечения работы без детонации следует использовать топливо с более высоким октановым числом. Увеличение D при неизменной ϵ из-за снижения теплоотвода в стенки повышает индикаторные КПД.

Состав смеси существенно влияет на процесс сгорания и на индикаторные показатели. Максимальные значения индикаторные КПД η_i и среднее индикаторное давление p_i зависят от протекания процесса сгорания, конструкции двигателя, а также от частоты вращения и положения дроссельной заслонки.

Увеличение степени сжатия существенно повышает индикаторные показатели η_i и p_i улучшает условия воспламенения, что позволяет на частичных нагрузках обеднять смесь. С ростом ϵ уменьшается поверхность камеры сгорания, но возрастает температура в цилиндре, поэтому теплообмен между рабочим телом и стенками камеры сгорания может проходить более интенсивно. При увеличении ϵ растут механические и тепловые нагрузки на детали двигателя, выбросы NO_x и CH , повышаются требования к октановому числу топлива.

Угол опережения зажигания определяет положение процесса сгорания топлива относительно ВМТ. Каждому режиму работы двигателя (сочетанию степени открытия дроссельной заслонки, коэффициента избытка воздуха α и частоты вращения n) соответствует свое оптимальное значение угла $\phi_{0.3. \text{ опт}}$,

при котором одновременно достигают максимума индикаторные КПД η_i и среднее индикаторное давление p_i .

При $\varphi_{o.z.} > \varphi_{o.z.onm}$ (раннее зажигание) интенсивно увеличиваются максимальная температура T_z и давление цикла p_z . Это вызывает повышенные тепловые потери в систему охлаждения, а также утечки газов через поршневые кольца. При $\varphi_{o.z.} < \varphi_{o.z.onm}$ (позднее зажигание) сгорание переносится на линию расширения и выделившаяся теплота превращается в работу в течение меньшей части хода поршня, а тепловые потери с отработавшими газами и в систему охлаждения возрастают.

В зависимости от нагрузки система питания двигателя формирует состав смеси. На средних нагрузках η_i достигает наибольшего значения при

$\alpha_{эк} = 1,1 \dots 1,3$. Максимум p_i получают при полностью открытой дроссельной заслонке при $\alpha_m = 0,8 \dots 0,95$. По мере прикрытия заслонки количество свежей смеси уменьшается (количественное регулирование нагрузки) и p_i снижается.

Увеличение p интенсифицирует движение заряда и его сгорание в цилиндре. Однако в связи с сокращением времени, в течение которого совершается весь цикл, продолжительность сгорания в градусах несколько увеличивается, а это требует соответствующего увеличения $\varphi_{o.z.}$, которое достигают центробежным регулятором опережения зажигания или управлением микропроцессорной системой.

Скорость движения заряда должна иметь на каждом режиме работы двигателя определенное оптимальное значение. Для этого используются профилированные (тангенциальные или вихревые) впускные каналы, а также специальные заслонки, изменяющие направление потока. Если скорость заряда превышает оптимальную, то из-за увеличения теплоотдачи в стенки η_i уменьшается.

Индикаторная диаграмма четырёхтактного дизеля в системе координат $p - V$ (рис.1). Для дизелей номинальная степень сжатия ϵ чаще всего находится в пределах 14...18. Такты рабочего цикла отображаются следующими линиями индикаторной диаграммы: $r - r_1 - a$ – такт впуска; $a - a_1 - d_1 - y - c$ – такт сжатия; $c - d_2 - z_p - z_m - z - b_1 - e$ – такт расширения (рабочий ход); $e - r$ – такт выпуска.

Индикаторная диаграмма в системе координат $p - \alpha$ показана на рис 2. Фазы газораспределения: $\alpha_{Вп}$ – угол опережения открытия впускного клапана; $\beta_{Вп}$ – угол запаздывания закрытия впускного клапана; $\alpha_{Вып}$ – угол

опережения открытия выпускного клапана; $\beta_{\text{Вып}}$ – угол запаздывания закрытия выпускного клапана. Обозначения на рис. 2: φ_c – период задержки самовоспламенения топлива; Θ – угол опережения воспламенения топлива;

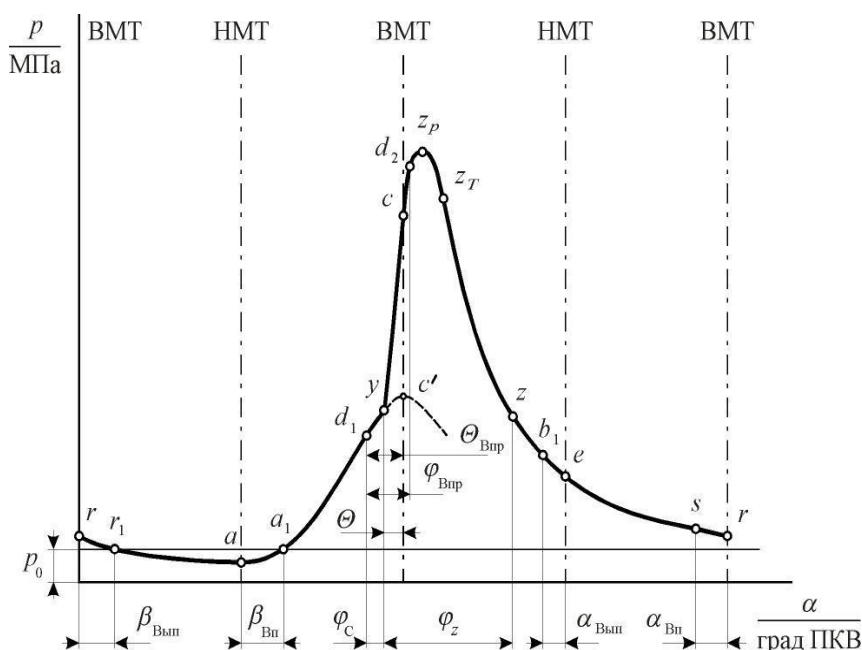
$\Theta_{\text{Впр}}$ – угол опережения впрыска топлива; $\varphi_{\text{Впр}}$ – продолжительность впрыскивания; φ_z – условная продолжительность сгорания.

Линии индикаторной диаграммы отображают следующие процессы, составляющие рабочий цикл: $s - r - a - a_1$ – процесс впуска; $a - a_1 - d_1 - y - c$ – процесс сжатия; $y - c - d_2 - z_p - z_m - z$ – процесс сгорания; $c - d_2 - z_p - z_m - z - b_1 - e$ – процесс расширения (рабочий ход); $b_1 - e - r - r_1$ – процесс выпуска, причём $b_1 - e$ – свободный выпуск, а $e - r$ – принудительный выпуск.

Участки индикаторной диаграммы $d_1 - y - c - d_2$ и $d_1 - y - c - d_2 - z_p - z_m - z$ соответствуют процессам впрыскивания и смесеобразования. Точками на диаграмме отмечены характерные моменты цикла: y – момент воспламенения (точка отрыва линии сгорания от линии сжатия индикаторной диаграммы); z_p – момент достижения $p_{\text{макс}}$; z_m – момент, соответствующий $T_{\text{макс}}$; s – открытие впускного клапана и т. д.

Среднее давление механических потерь можно уменьшить следующим образом [2,7,8,9]:

– правильным выбором теплового режима работы двигателя и



поддержанием этого режима в процессе эксплуатации;

– оптимальным конструированием двигателя и его агрегатов. Правильный выбор конструкции и размеров впускной и выпускной систем делает

Рис. 2 Индикаторная «р – α» - диаграмма четырехтактного безнаддувного дизеля

минимальными потери на газообмен. В эксплуатации сопротивления систем не должны изменяться;

– рациональным выбором материалов и технологии изготовления деталей, что улучшает смазку трущихся пар и снижает потери на трение;

– правильным выбором смазочного масла. При этом стремятся использовать масло с минимальной вязкостью, при которой обеспечиваются надежное жидкостное трение, длительная работа всех узлов двигателя при максимально возможных сроках смены и минимальном угаре масла;

– использованием в дизелях однополостных камер сгорания вместо разделенных. Этим достигается снижение механических потерь в результате исключения практических потерь на перетекание заряда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От технического состояния двигателя сильно зависят механические потери и механический КПД. С износом поршневых колец и зеркала цилиндра, особенно в верхней части, увеличивается зазор между стенками цилиндра и поршня. Это приводит к увеличению количества прорывающихся газов из под поршневого пространства и снятию масляной пленки со стенок цилиндра. ухудшение технического состояния двигателя - одна из основных причин повышения механических потерь общего снижения параметров рабочего цикла и показателей двигателя

REFERENCES

1. Ismatov J., Ergashev O. Processes of mixture formation, ignition and combustion of a diesel engine. E3S Web of Conferences 264, 04062 (2021). *CONMECHYDRO – 2021*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404062>
2. Kadyrov S.M., Musabekov Z.E., 2001 Arc deposition: Restoration of crankshaft of the diesel D-144 (Article) *Avtomobil'naya Promyshlennost* Issue 9 Page 25
3. Kadyrov S.M., Musabekov Z.E., Khakimov A.M., 2005 Crankshafts of engines of 'Tico' and 'Nexia' types, their operational defects (Article) *Avtomobil'naya Promyshlennost*. Issue 11 Pages 30-31
4. Kukharenok G.M.: Snizheniye vybrosov vrednykh veshchestv dizel'nykh dvigateley / G.M. Kukharenok, A.N. Petruchenko, V.I. Berezun. – M.: Novoye znaniye, 2014
5. Matmurodov F.M., Yunusov B.A., Khakimov J.O., Daminov O.O. “Mathematical modeling and numerical determination of kinetic and power parameters of loaded power mechanisms of a combined machine”. «1st International Conference on

Problems and Perspectives of Modern Science (ICPPMS-2021)». (Ташкент, 10-11 июня 2021 г.)

6. Z.E.Musabekov, J.O. Khakimov, B. Ergashev Differential equations for calculating gas exchange in an internal combustion engine. E3S Web of Conferences 264, 01003 (2021). The International Scientific Conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering (CONMECHYDRO 2021)”. 1-3 April 2021. Published online: 02 June 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126401003>

7. Двигатели внутреннего сгорания. Под редакцией В.Н. Луканина. –М.: Высшая школа, 1985г. 311с.

8. Двигатели внутреннего строения / Под ред. Орлина А.С. и Круглова М.Г., тт. I, II, III, IV, М.; Машиностроение, 1981-1984 гг.

9. Дизели: справочник / под. Общей ред. В.А. Ваншейдта. М и Л.: Машиностроение, 2004. 600 с.: ил.

10. Драганов, М.Г. Круглов, В.С. Обухова – Киев: Вища шк. Головное изд-во, 2007. – 175 с.

11. Индикаторные и эффективные показатели двигателя. <https://mybiblioteka.su/3-53466.html>. 9. Влияние различных факторов на индикаторные, эффективные и экологические показатели судовых дизелей. <https://infopedia.su/16x7947.html>.

12. Луканин В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учеб. / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; [под ред. В.Н. Луканина]. – М.: Высш. шк., 2005. – 368 с.

13. Симсон А.Э. Газотурбинный наддув дизелей / А.Э. Симсон. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 2004. 248 с.

14. Тепловые двигатели внутреннего сгорания / Симсон А.Э. и др, М.: Транспорт, 1987г.

15. Турбонаддув высокооборотных дизелей / А.Е. Симсон [и др.]. М.: Машиностроение, 2016. 288 с.