

УДК 621.43

Л.А. Захаров, В.Л. Химич, И.Л. Захаров, А.Н. Тарасов, А.В. Дегтярев

**АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ
АТМОСФЕРНЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются и анализируются характеристики рядных четырехцилиндровых двигателей внутреннего сгорания первого, второго, третьего, четвертого и пятого поколений и тенденции развития их инженерных решений, обеспечивающих выполнение современных норм отечественных и зарубежных стандартов по энергетическим, экономическим и экологическим показателям.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, энергия рабочего тела, энергопреобразование, индикаторная диаграмма, рабочий цикл.

Рабочий цикл в рабочей камере цилиндра ПДВС протекает по-разному. Переменными являются термодинамические, индикаторные, эффективные и другие показатели ПДВС – его мощность, крутящий момент, часовой и удельный расходы топлива. Поэтому для грамотного выбора оптимальных режимов очень важно представлять, как изменяются эффективные показатели ПДВС в различных условиях. Что, например, определяет максимальную мощность ПДВС? Как и почему изменяются мощность и крутящий момент при различных скоростных режимах работы транспортной техники? Как правильно подобрать ПДВС для транспортного средства? Что определяет топливную экономичность ПДВС и путевой расход топлива? При этом возможна работа ПДВС при фиксированном положении органа (полное открытие дроссельной заслонки), регулирующего подачу топлива, но с переменной частотой вращения коленчатого вала из-за изменяющейся нагрузки (переменный профиль дороги). В этом случае изменяется скоростной режим работы ПДВС, а совокупности таких режимов называют *скоростными*.

Скоростные характеристики ПДВС определяют путем испытаний, осуществляемых на специализированных стендах, позволяющих воспроизводить все поле скоростных режимов работы ПДВС и оборудованных комплексом необходимой контрольно-измерительной аппаратуры. Типовые методы испытаний ПДВС, объем и условия их проведения регламентированы государственными стандартами (ГОСТ 14846-91 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний»). При однофакторном эксперименте независимые параметры (факторы) искусственно сохраняются постоянными на заданном уровне, и только один из них, влияние которого исследуется в данном эксперименте, подвергается изменению в определенных пределах. Однофакторный эксперимент сводится к определению зависимостей их эффективных показателей: мощности, крутящего момента, часового и удельного расхода топлива от одного из режимных факторов – частоты вращения коленчатого вала – *скоростные характеристики*.

ГОСТ 14846-91 устанавливает понятия «*мощность нетто*» и «*мощность брутто*».

Под мощностью нетто понимается мощность, снятая с фланца коленчатого вала ПДВС, изготовленного, отрегулированного и обкатанного в соответствии с техническими условиями на ПДВС, при укомплектованности ПДВС оборудованием в составе транспортного средства – радиатором, вентилятором подсистемы охлаждения, воздухоочистителем, нейтрализатором трехкомпонентным, резонатором, глушителем шума выпуска, выпускным трубопроводом. Таким образом, мощность нетто характеризует реальную энергоотдачу ПДВС в объективных условиях – учитывает все принципиальные устранимые потери энергии (15–17%).

Скоростные характеристики бензинового ПДВС

Быстроходный ПДВС может работать при различной частоте вращения коленчатого вала от минимальной до максимальной.

Максимальное допустимое число оборотов ограничивается: условиями качественного протекания рабочего цикла, инерционными усилиями в деталях КШМ, снижением коэффициента наполнения, термическими напряжениями в деталях КШМ.

Минимальное число оборотов ПДВС определяется условиями устойчивой работы ПДВС. На каждом скоростном режиме крутящий момент и мощность ПДВС изменяются от нуля до максимального значения, ограниченного одним из параметров, указанных ранее.

Графическая зависимость параметров ПДВС от числа оборотов довольно полно характеризуют работу ПДВС.

Мощность и крутящий момент ПДВС при данном числе оборотов устанавливаются путем настройки органа управления – *дрессельной заслонки*.

Если ПДВС используется в качестве силовой установки транспортной техники, то число оборотов пропорционально скорости движения. От скорости машины зависит сопротивление движению, а значит, и мощность ПДВС.

В соответствии с ГОСТ 14846-91 в число обязательных параметров, изображенных на скоростной характеристике, в функции от числа оборотов входят: максимальная мощность; максимальный крутящий момент; удельный расход топлива.

На графиках (рис. 3–9 и в табл. 1–5) приведены скоростные характеристики ПДВС от первого до пятого поколений на полной подаче топлива.

Графики и таблицы скоростных характеристик позволяют определить: максимальную мощность и крутящий момент; минимальную мощность; мощность и крутящий момент при любом числе оборотов на полной подаче топлива; часовой расход воздуха и топлива при данном режиме; выбрать наиболее экономичный режим; среднее эффективное давление; эффективный КПД; определить удельные литровую и цикловую мощности при любом числе оборотов на полной подаче топлива; сравнить ПДВС; подобрать потребитель мощности к ПДВС и приводной ПДВС к потребителю по его характеристике; определить режимы работы потребителя мощности и др.

В эксплуатационных условиях изменение скоростного режима работы ПДВС встречается так же часто, как и изменение нагрузки.

Число оборотов оказывает наиболее сильное влияние на параметры рабочего цикла и на основные показатели работы ПДВС. Повышение числа оборотов является одним из наиболее эффективных методов форсирования мощности ПДВС.

Вследствие этого знания закономерностей и причин, обуславливающих изменение основных параметров рабочего цикла и показателей работы ПДВС в функции числа оборотов, дает возможность определить наиболее эффективные способы улучшения его работы.

Скоростная характеристика может быть получена при следующих условиях: независимой переменной в функции, которой рассматривается изменение основных показателей работы ПДВС, является число оборотов; константой характеристики служит положение органов управления подачей воздуха и топлива.

Показатели работы ПДВС, которые чаще всего исследуются и являются зависимыми переменными скоростной характеристики, следующие: крутящий момент, эффективная мощность, часовой и удельный расходы топлива. По скоростной характеристике ГОСТ 14846-91 установлены характерные числа оборотов и их обозначения для ПДВС:

- максимальное число оборотов n_N – число оборотов коленчатого вала, соответствующее максимальной эффективной мощности по скоростной характеристике;

- число оборотов коленчатого вала, соответствующее максимальному значению крутящего момента ПДВС по скоростной характеристике при полном открытии дроссельной заслонки n_M ;
- число оборотов коленчатого вала, соответствующее минимальному удельному расходу топлива по скоростной характеристике при полном открытии дроссельной заслонки n_{ge} ;
- число оборотов коленчатого вала, соответствующее удельному расходу топлива на максимальной мощности по скоростной характеристике при полном открытии дроссельной заслонки $n_{N_{ge}}$.

Анализ графиков (рис. 3–9) и табл. 1–5 показывает, что показатели рабочего цикла и основные параметры ПДВС постоянно и планомерно повышались от ПДВС первого поколения до ПДВС пятого поколения. Однако представляет значительный интерес тенденция развития ПДВС, которые рассмотрены далее.

Бензиновые ПДВС работают по термодинамическому циклу Отто с постоянной массой рабочего тела, с подводом энергии к рабочему телу и отводом от него энергии, осуществляется при постоянном объеме.

Таблица 1

Двигатель М-20 – первое поколение

Обороты n , мин ⁻¹	1000	2000	3000	3800
Мощность N_e , кВт	11,31	25,13	35,50	35,14
Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м	108,00	120,00	113,00	88,30
Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч	286,5	255	262	294
Часовой расход топлива G_t , кг/ч	3,24	6,41	9,30	10,33
Эффективный КПД η_e	0,285	0,321	0,312	0,278
Коэффициент избытка воздуха, α	0,85	0,86	0,87	0,88
Коэффициент наполнения, η_n	0,476	0,476	0,466	0,414
Литровая мощность N_l , кВт/л	4,62	10,27	14,51	14,36
Цикловая мощность $N_{ц}$, кВт/л·ц	2,31	5,14	7,26	7,18

Таблица 2

Двигатель ЗМЗ-21А – второе поколение

Обороты n , мин ⁻¹	1000	2000	3000	4000
Мощность N_e , кВт	15,9	34,9	48,2	51,5
Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м	151,5	166,7	153,4	123
Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч	340	321,5	338,5	377
Часовой расход топлива G_t , кг/ч	5,4	11,22	16,31	19,42
Эффективный КПД η_e	0,241	0,254	0,242	0,217
Коэффициент избытка воздуха, α	0,85	0,86	0,87	0,88
Коэффициент наполнения, η_n	0,793	0,834	0,818	0,738
Литровая мощность N_l , кВт/л	6,49	14,27	19,69	21,05
Цикловая мощность $N_{ц}$, кВт/л·ц	3,24	7,14	9,85	10,53

Таблица 3

Двигатель ЗМЗ-24-01 – третье поколение

Обороты n , мин ⁻¹	1000	2000	3000	4000	4500
Мощность N_e , кВт	15,5	35,4	51	61,5	62,5
Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м	147,9	169	162,6	146,8	132,5
Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч	377	362,9	319,6	356,1	400,6
Часовой расход топлива G_T , кг/ч	5,84	12,77	15,75	21,89	25,04
Эффективный КПД η_e	0,217	0,225	0,256	0,230	0,204
Коэффициент избытка воздуха, α	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
Коэффициент наполнения, η_n	0,858	0,949	0,790	0,833	0,846
Литровая мощность N_l , кВт/л	6,33	14,39	20,14	25,14	25,55
Цикловая мощность $N_{ц}$, кВт/л·ц	3,17	7,19	10,07	12,57	12,77

Таблица 4

Двигатель ЗМЗ-21Д – четвертое поколение

Обороты n , мин ⁻¹	1000	2000	3000	4000
Мощность N_e , кВт	16,4	37	52,5	58,8
Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м	156,3	176,6	167	140,4
Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч	378,3	321,5	315,2	346,2
Часовой расход топлива G_T , кг/ч	6,2	11,89	16,54	20,36
Эффективный КПД η_e	0,216	0,254	0,259	0,236
Коэффициент избытка воздуха, α	0,85	0,86	0,87	0,88
Коэффициент наполнения, η_n	0,910	0,884	0,829	0,774
Литровая мощность N_l , кВт/л	6,69	15,12	21,45	24,04
Цикловая мощность $N_{ц}$, кВт/л·ц	3,34	7,56	10,72	12,02

Таблица 5

Двигатель ЗМЗ-4061.10 – пятое поколение

Обороты n , мин ⁻¹	1000	2000	3000	4000	5000	5200
Мощность N_e , кВт	14,07	34,14	56,10	74,22	80,63	80,59
Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м	134,40	163,00	178,60	177,20	154,00	148,00
Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч	296,3	276,3	275	299	308,7	303,9
Часовой расход топлива G_T , кг/ч	4,17	9,43	15,43	22,19	24,89	24,49
Эффективный КПД η_e	0,276	0,296	0,297	0,274	0,265	0,269
Коэффициент избытка воздуха, α	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	0,88
Коэффициент наполнения, η_n	0,613	0,701	0,774	0,844	0,757	0,717
Литровая мощность N_l , кВт/л	5,75	13,95	22,93	30,34	32,96	32,94
Цикловая мощность $N_{ц}$, кВт/л·ц	2,88	6,98	11,47	15,17	16,48	16,47

Максимальное количество внутренней энергии в рабочей камере цилиндра термодинамического ПДВС можно получить по формуле развернутой термодинамической мощности:

$$N_t = \frac{\pi D^2}{4} \cdot S \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \eta_H \cdot \rho \cdot \frac{1}{\alpha \cdot l_0} \cdot Q_H \cdot \eta_{tx} \cdot i \cdot \frac{1}{m} \cdot n \cdot \frac{1}{60}, \text{ Вт.} \quad (1)$$

Качество энергопреобразования в термодинамическом цикле оценивается термодинамическим КПД, равным отношению полезной работы $L_0 = Q_{1v} - Q_{2v}$ к подведенной энергии к рабочему телу Q_1 :

$$\eta_t = \frac{L_t}{Q_1} = \frac{Q_{1v} - Q_{2v}}{Q_1} = 1 - \frac{Q_{2v}}{Q_1} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{\delta^{k-1}}. \quad (2)$$

Таким образом, КПД цикла Отто, выполняемого с идеальным рабочим телом ($k=\text{const}$), зависит только от соотношения геометрических объемов, в пределах которых осуществляется термомодеформирование рабочего тела, численное равно степени сжатия и степени расширения.

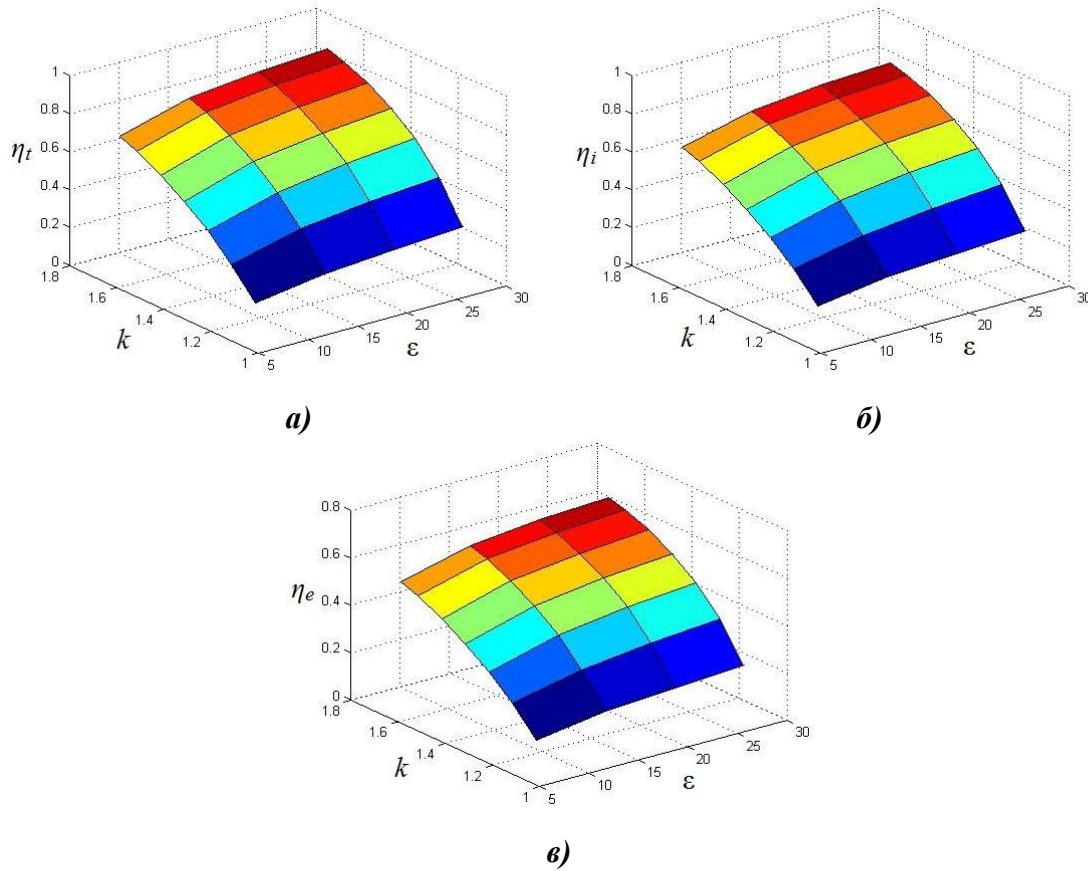


Рис. 1. Поверхности КПД:
 а – термодинамического; б – индикаторного; в – эффективного

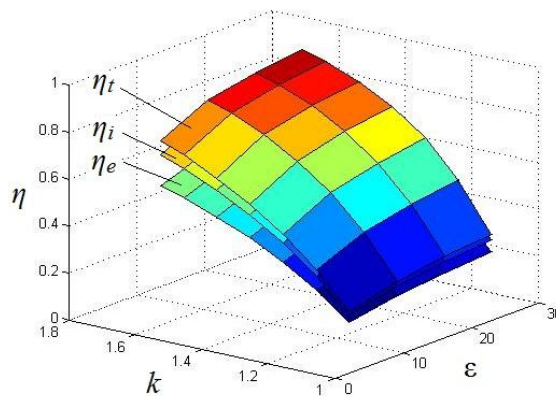


Рис. 2. Графики изменения КПД (термодинамического, индикаторного, эффективного) от степени сжатия ε и показателя адиабаты k цикла Отто поршневого ДВС

Физический смысл положительного влияния степени сжатия на КПД можно оценить синтезом, сравнивая изменение значений работы сжатия и расширения. Как следует из термодинамических зависимостей, удельная работа расширения 1 (одного) кг рабочего тела в адиабатическом процессе z - b может быть записана в виде:

$$l_p = \frac{RT_z}{k-1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \right), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad (3)$$

где $R = \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ – газовая постоянная; k – показатель адиабаты; $T_z = K$ – температура в точке z .

Одной из тенденций развития ПДВС является работа расширения при данной температуре T_z , определяемая степенью увеличения объема рабочей камеры цилиндра, численно равной степени сжатия (формула (3)). Чем больше степень сжатия, тем значительнее степень расширения и тем большая работа может быть совершена рабочим телом.

Однако вместе с увеличением положительной работы расширения возрастает работа, затрачиваемая на сжатие рабочего тела. Для удобства сравнения эту работу $l_{сж}$ можно представить в виде работы расширения рабочего тела из точки c , т.е.

$$l_{сж} = \frac{RT_c}{k-1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \right), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (4)$$

Разность между l_p и $l_{сж}$ представляет собой полезную работу термодинамического цикла:

$$l_t = l_p - l_{сж} = \frac{RT_c}{k-1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \right) \left(\frac{T_z}{T_c} - 1 \right), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (5)$$

Обозначим отношение температуры $\frac{T_z}{T_c} = \lambda$, что эквивалентно степени повышения давления при изохорическом подводе энергии. Тогда, поскольку первая часть формулы (5) представляет собой работу сжатия рабочего тела, можно записать:

$$l_t = l_{сж} (\lambda - 1). \quad (6)$$

Отсюда полезная работа цикла с ростом степени сжатия увеличивается в $(\lambda-1)$ раз по сравнению с $l_{сж}$, так как в этом случае работа расширения растет быстрее работы сжатия.

Таким образом, рассмотренные термодинамические принципы (тенденции) позволяют сделать вывод о том, что абсолютный эффект энергопреобразования в ПДВС обусловлен энергией, подводимой в цикле, являющейся *энергетическим потенциалом* преобразования. Однако при осуществлении цикла принципиально неустранимым является и отвод энергии Q_{2v} , т.е. потери энергии, обуславливающая КПД цикла. Эта потеря энергии имеет меньшее значение, а КПД – наибольшее при росте степени сжатия. Принципиальное значение также имеет закон подвода теплоты. Наилучшим с позиции уменьшения принципиально неустранимых тепловых потерь является подвод энергии при постоянном объеме рабочей камеры цилиндра.

В ПДВС осуществляется преобразование энергии, выделяющейся в результате сгорания энергоносителя, в работу, совершаемую расширяющимися от нагревания продуктами сгорания (рабочим телом). Результат этого преобразования зависит, прежде всего, от энергии экзотермической реакции окисления введенной в рабочую камеру цилиндра порции окислителя и энергоносителя. Назовем ее цикловой энергией ($Q_{ц}$, Дж). Цикловая энергия является тем энергетическим потенциалом, который может быть частично преобразован в работу расширения рабочего тела. Чем больше этот потенциал, тем большую работу можно получить в результате энергопреобразования. Полезная доля цикловой энергии $Q_{ц}$ оценивается специализированным коэффициентом (η_i), называемым индикаторным коэффициентом полезного действия (КПД).

Тогда полезная индикаторная работа цикла (l_i) может быть выражена зависимостью:

$$l_i = Q_{ц} \cdot \eta_i, \text{ Дж.} \quad (7)$$

Цикловая энергия определяется количеством окислителя и энергоносителя, поступающих в рабочую камеру, полный объем цилиндра ПДВС, за цикл – цикловой подачей энергоносителя ($g_{ц}$), и теплотой сгорания топлива (Q_H), выделяющейся при окислении единицы его массы (кг), т.е.:

$$Q_{ц} = g_{ц} \cdot Q_H \cdot \eta_i, \text{ Дж.} \quad (8)$$

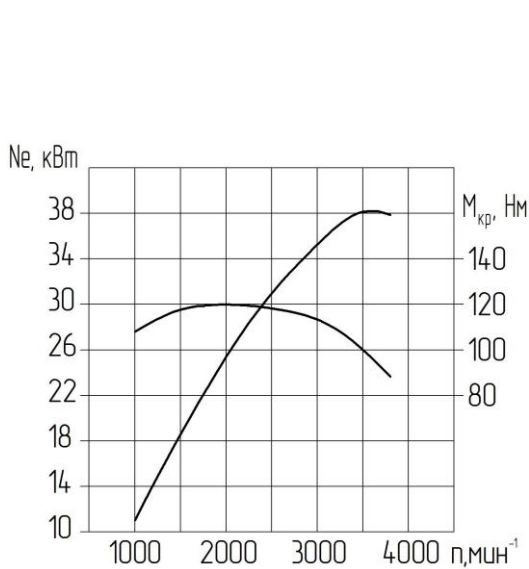


Рис. 3. Внешние характеристики двигателя М-20

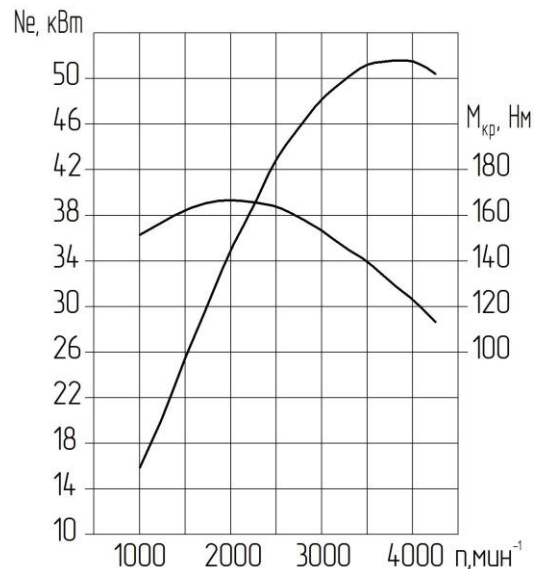


Рис. 4. Внешние характеристики двигателя ЗМЗ-21А

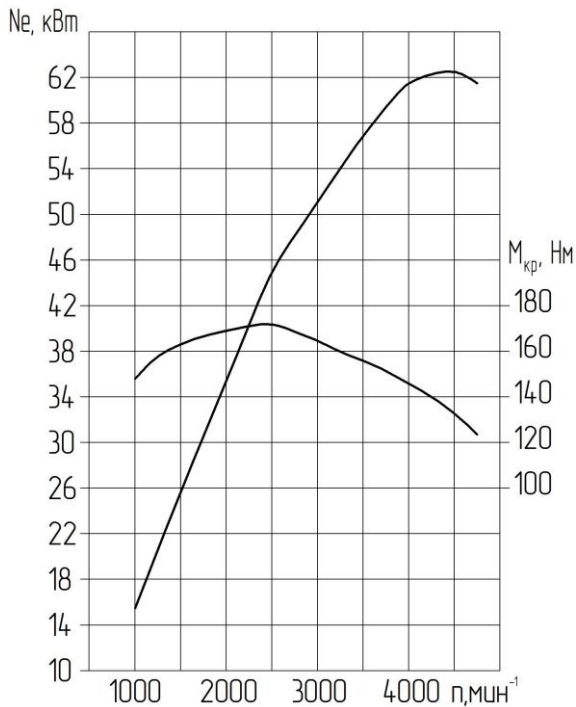


Рис. 5. Внешние характеристики двигателя ЗМЗ-24-01

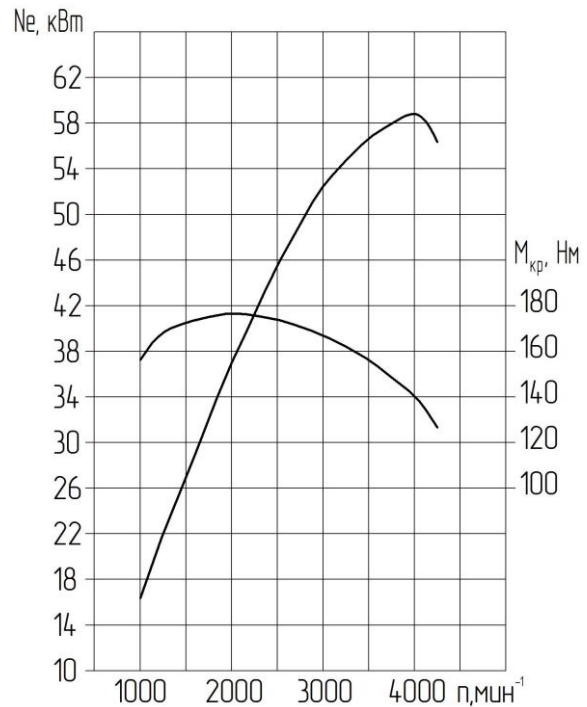


Рис. 6. Внешние характеристики двигателя ЗМЗ-21Д

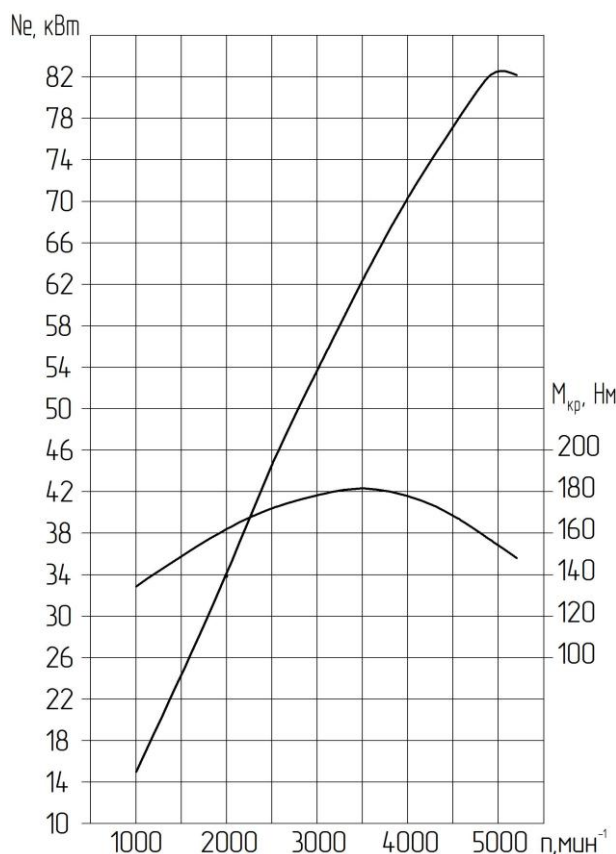


Рис. 7. Внешние характеристики двигателя ЗМЗ-4061.10

В свою очередь, цикловая подача топлива соотнесена с воздушным цикловым зарядом ($M_{в,ц}$). Качество смесеобразования оценивается коэффициентом избытка воздуха (α). Цикловая подача топлива может быть выражена:

$$g_{ц} = \frac{M_{в,ц}}{\alpha \cdot l_0}, \text{ кг/цикл}, \quad (9)$$

а цикловая энергия:

$$Q_{ц} = \frac{M_{в,ц} \cdot Q_H}{\alpha \cdot l_0}, \text{ Дж/цикл}. \quad (10)$$

Анализ последнего выражения показывает, что коэффициент избытка воздуха (α) по своему физическому смыслу отражает степень насыщения воздушного заряда топливом. При $\alpha=1$ получается нормальная теоретическая смесь для полного сгорания топлива (стехиометрическая).

Таким образом, цикловая энергия, как энергетический потенциал, который может быть использован для получения полезной работы, зависит только от воздушного циклового заряда ($M_{в,ц}$) и степени насыщения его энергоносителем (α). Качество процесса наполнения рабочей камеры цилиндра оценивается коэффициентом наполнения (η_n), тогда:

- воздушный цикловой заряд составит:

$$M_{в,ц} = V_S \cdot \eta_n \cdot \rho_v, \text{ кг/цикл}; \quad (11)$$

- индикаторная работа составит:

$$l_i = \frac{Q_H}{l_0} \cdot \frac{V_S \cdot \eta_n \cdot \rho_v}{\alpha} \cdot \eta_i, \text{ Дж/кг}. \quad (12)$$

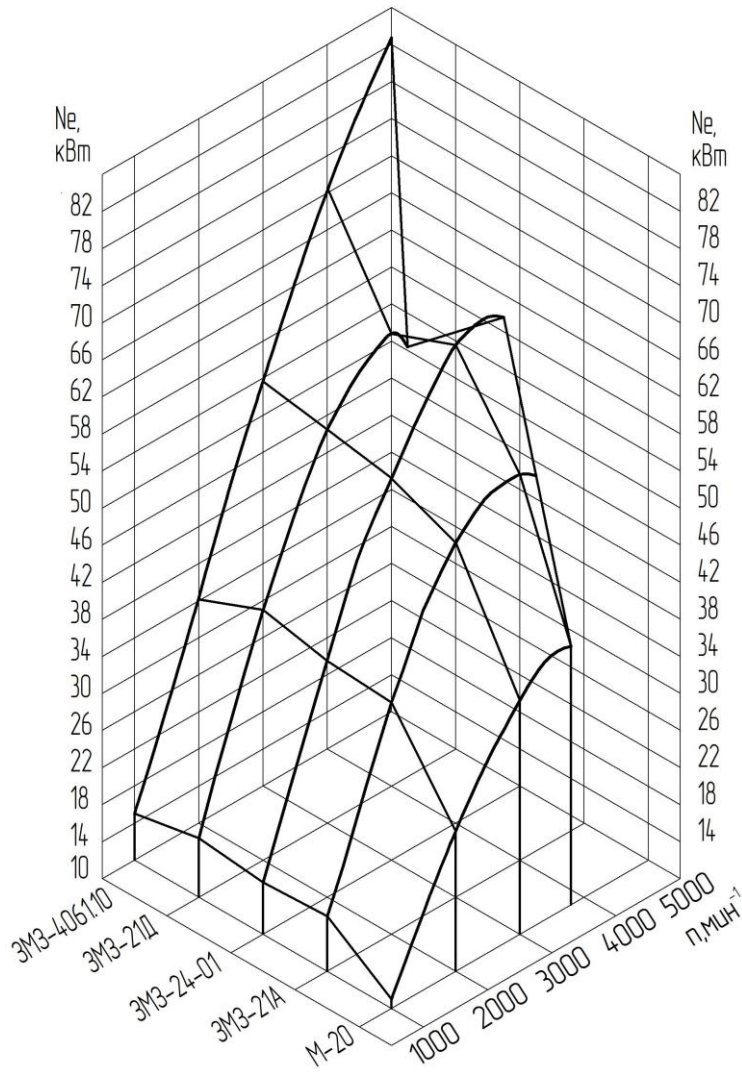


Рис. 8. График изменения мощности для пяти поколений двигателей

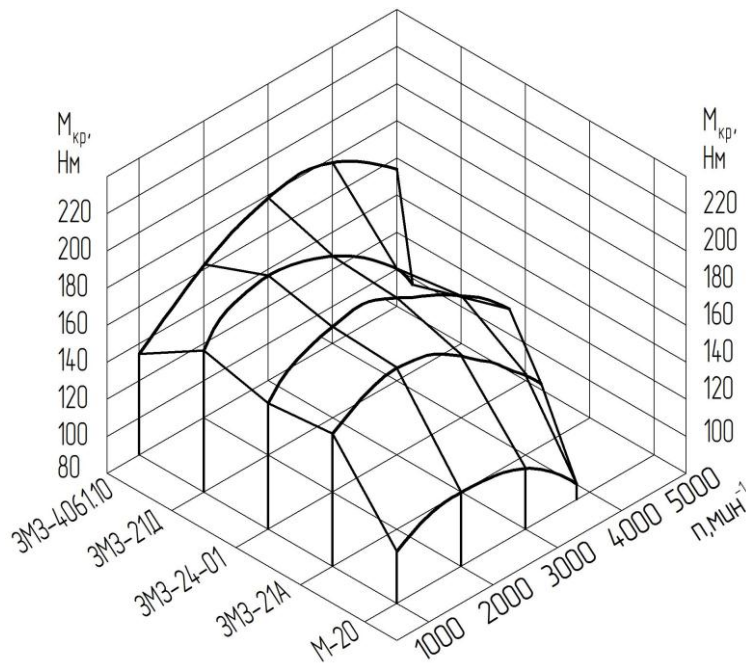


Рис. 9. График изменения крутящего момента для пяти поколений двигателей

Для оценки эффективности энергопреобразования полученную работу представим в виде удельной величины, приходящейся на единицу рабочего объема ПДВС $\left(\frac{H \cdot M}{M^3} = \frac{H}{M^2}\right)$, который называют средним индикаторным давлением:

$$p_i = \frac{Q_n}{l_0} \cdot \frac{\rho_g \cdot \eta_n}{\alpha} \cdot \eta_i, \text{ Па.} \quad (13)$$

Тяговая характеристика ПДВС обусловлена силовым фактором – крутящим моментом, равным:

$$M_{\text{ко}} = 9550 \frac{N_e}{n}, \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (14)$$

Для оценки степени использования рабочего объема ПДВС используют удельный показатель – литровую мощность, равную:

$$N_{\text{л}} = \frac{N_{eH}}{i \cdot V_s}, \text{ Вт/л.} \quad (15)$$

Анализ и синтез проведенных исследований показывает:

- Рядные четырехцилиндровые поршневые двигатели внутреннего сгорания Горьковского автомобильного и Заволжского моторного заводов, работающие на топливе с низким октановыми числами А-66, А-72, А-76, имели высокие энергетические и экономические показатели и отвечали требованиям государственным и отраслевым отечественным и европейским стандартам.
- Основные технические характеристики ПДВС от первого до пятого поколений постоянно и планомерно совершенствовались и отвечали требованиям транспортной стационарной техники.

К тенденциям развития атмосферных рядных четырехцилиндровых ПДВС от первого до пятого поколений, выпускаемых Горьковским автомобильным и Заволжским моторным заводами, по инженерным решениям следует отметить:

- в ПДВС освоен термодинамический цикл «Отто» с подводом и отводом энергии к рабочему телу при постоянном объеме с высокими термодинамическими показателями;
- отработаны до уровня современных ПДВС, кинематическая и динамическая схемы работы кривошипно-шатунного механизма, газораспределительного механизма и механизма уравнивания сил инерции второго порядка, освоены в реальных конструкциях современных ПДВС, выпускаемых Заволжским моторным заводом;
- выполнены инженерные решения органов впуска и выпуска подсистемы газообмена и продолжительность газообмена при их постоянном и планомерном совершенствовании получили признание на ПДВС пятого поколения;
- ПДВС от первого до пятого поколения имеют удельные энергетические, экономические, экологические и эксплуатационные показатели, отвечающие требованиям государственных и отраслевых отечественных и европейских стандартов.

Библиографический список

1. **Захаров, Л.А.** Метод оценки термодинамических показателей поршневого двигателя, работающего по циклу Отто на ранней стадии проектирования / Л.А. Захаров, И.Л. Захаров, А.Н. Тарасов // Журнал ААИ. 2011. №2(67). С. 42–47.
2. **Захаров, Л.А.** Повышение топливной экономичности дизельного двигателя за счет снижения механических потерь / Л.А. Захаров, И.Л. Захаров, А.В. Сеземин // Журнал ААИ. 2011. №3(68). С. 41–43.
3. **Захаров, Л.А.** Современный поршневой ДВС с перспективными энергетическими, экономическим и экологическими показателями, получаемыми за счет повышения внутренней энергии рабочего тела / Л.А. Захаров [и др.] // Журнал ААИ. 2013. №2(79). С. 14–20.

4. **Захаров, Л.А.** Совершенствование термодинамических показателей поршневого двигателя, работающего по гибриднему циклу/ Л.А. Захаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011. № 1 (86). С. 174–184.
5. Исследование и расчет термодинамических показателей поршневого двигателя внутреннего сгорания, работающего по циклу Отто, методом технической термодинамики: метод. указ. / сост.: Л.А. Захаров [и др.]; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2010. – 33 с.

*Дата поступления
в редакцию 12.12.2013*

L.A. Zakharov, V.L. Khimich, I.L. Zakharov, A.N. Tarasov, A.V. Degtyarev

PERFORMANCE ANALYSIS AND TRENDS OF ATMOSPHERIC INTERNAL COMBUSTION PISTON ENGINE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Discusses and analyzes the characteristics of in-line four-cylinder internal combustion engine of the first, second, third, fourth and fifth generations and trends of their engineering solutions that ensure compliance with modern standards of domestic and international standards on energy, economic and environmental indicators.

Conclusions: The analysis of the characteristics allows us to conclude that the duty cycle and the basic parameters of the internal combustion engine is constantly and steadily increased from the first to the fifth generation. The following trends in the development of ICE was identified: Otto thermodynamic cycle with inlet and outlet energy to the working fluid at constant volume with high thermodynamic parameters is mastered; kinematic and dynamic schemes of the crank mechanism, timing mechanism and balancing of inertia forces of second order are worked. engineering decisions of the intake and exhaust subsystem gas exchange and duration of gas exchange when used consistently and systematically improving gained recognition for reciprocating internal combustion engine of the fifth generation; energy, economic, environmental and operational performance of the engines from the first to the fifth generation meet the requirements of state and industry standards.

Key words: internal combustion engines, the energy of the working fluid energy conversion indicator diagram, the duty cycle.