

УДК 621.43

Л.А. Захаров<sup>1</sup>, А.Н. Тарасов<sup>1,2</sup>, А.В. Дегтярев<sup>1,3</sup>  
**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОРШНЕВОГО ДВС ЗА СЧЕТ ВЫБОРА  
НАИВЫГОДНЕЙШЕЙ ГЕОМЕТРИИ ВПУСКНОГО КАНАЛА**

1 – Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
2 – Горьковский автомобильный завод  
3 – ОАО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева»

Рассматриваются современная методика повышения энергетических и экономических показателей бензинового поршневого вертикального четырехтактного двигателя рабочим объемом  $V_n=2,445$  дм<sup>3</sup>. Предложены рациональные инженерные решения органов впуска подсистемы газообмена и основные способы их расчета «методом вычислительного эксперимента», обеспечивавшие заданные технико-экономические показатели модернизированного бензинового двигателя модели ЗМЗ-4021.10.

*Ключевые слова:* поршневой ДВС, впускной канал, САПР ДВС.

Основой транспортной и стационарной энергетики в настоящее время и в ближайшей перспективе являются поршневые двигатели внутреннего сгорания (ПДВС), резервы дальнейшего развития которых далеко не исчерпаны. Современные исследования в сфере совершенствования рабочих циклов ПДВС опираются на новейшие методы исследования и проектирования. Один из путей получения перспективных показателей ПДВС является совершенствование органов впуска и выпуска подсистемы газообмена.

Энергетические показатели оцениваются по развернутой формуле эффективной мощности

$$N_e = \frac{\pi D^2}{4} \cdot S \cdot \eta_n \cdot \rho_v \cdot \frac{1}{\alpha \cdot l_o} \cdot Q_n \cdot \eta_e \cdot i \cdot \frac{1}{m} \cdot n \cdot \frac{1}{60}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

Масса циклового воздушного заряда определяет его энергетический потенциал, поскольку от него зависит количество топлива, способного полностью и своевременно сгореть при полном использовании кислорода в рабочей камере цилиндра. Поэтому в современных бензиновых двигателях этой проблеме уделяется значительное внимание. Обеднение горючей смеси, а также использование нейтрализаторов и дожигателей, уменьшающих выброс токсичных и вредных веществ, неизбежно привело к снижению удельных показателей бензиновых двигателей. В связи с этим, актуализируется вопрос увеличения величины массы циклового воздушного заряда, в основном, как средства компенсации уменьшения мощности энергетических силовых установок.

Наиболее кардинально увеличение величины массы воздушного циклового заряда может быть достигнуто за счет применения наддува, т.е. подачи принудительно в рабочую камеру цилиндра предварительно сжатого воздуха или горючей смеси. Однако наддув бензиновых двигателей, имея большие потенциальные резервы, пока не используется в практике с полной отдачей. Препятствием этому является повышение требований к октановому числу топлива или необходимостью снижения геометрической степени сжатия, увеличения выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$  при форсировании рабочего цикла некоторое ухудшение работы на переходных режимах и вероятность сокращения ресурса двигателей. В связи с этим в последние годы получило заметное развитие направление инженерного решения увеличения величины массы воздушного циклового заряда за счет увеличения определяющего проходного сечения впускного отверстия и «время-сечение» закрываемого впускным клапаном. Применение наиболее выгодного инженерного решения по впускному отверстию и трубопроводу позволяет

увеличить их проходные сечения на 25...30%, что существенно улучшает очистку камеры предварительного сжатия цилиндра от остаточных газов и его наполнение свежим зарядом, что позволяет компенсировать потери энергии в средствах нейтрализации отработавших газов и повысить мощность и экономичность двигателя в области средних частот вращения коленчатого вала на 10...15%, а на номинальном режиме – на 16...23%.

Обычно качество процесса наполнения рабочей камеры цилиндра свежим зарядом оценивается коэффициентом наполнения « $\eta_{н.об}$ » и остаточных газов « $\gamma_r$ » с учетом продувки и дозарядки цилиндра двигателя по известной формуле:

$$\eta_{н.об} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \lambda_1 \cdot \frac{P_a}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + \Delta T + \psi' \cdot \gamma_r \cdot T_r}; \quad (2)$$

Из приведенных формул видно, что повысить мощность и экономичность можно также как за счет увеличения рабочего объема цилиндра путем изменения диаметра и хода поршня, так и за счет увеличения количества цилиндров. Увеличение количества цилиндров неизбежно связано с ростом габаритных размеров двигателя, что не всегда приемлемо из-за ограниченного пространства моторного отсека автомобиля. Увеличение хода поршня может быть осуществлено как путем замены коленчатого вала на новый, так и путем эксцентричного обтачивания, например, шатунных шеек на уменьшенный диаметр.

Энергетические показатели можно повысить также за счет рационального выбора показателей органов впуска. Данный метод широко применяют как при проектировании новых, так и при совершенствовании существующих ДВС.

На коэффициент наполнения влияют множество факторов, рассмотрим некоторые из них, на основе которых производилось исследование двигателя ЗМЗ Р-4  $V_h=2,445$  дм<sup>3</sup>.

1. На массовое наполнение цилиндра ДВС влияет величина и продолжительность открытия впускного отверстия впускного канала. Площадь впускного отверстия для прохода газов определяется кольцевой поверхностью усеченного конуса, расположенного между опорной поверхностью клапана и седлом (рис. 1).

Величина этой площади определяется по равенству:

$$f = f_z = \pi \cdot d \cdot h \cdot \cos \theta$$

где  $d$  – средний диаметр опорной поверхности клапана,  $h$  – средняя высота подъема клапана за определенный угол поворота КВ.

С точки зрения максимального наполнения, диаметр газового канала должен быть постоянен по всей длине канал и равен:

$$d_p = d_{\Gamma} = \frac{4 \left( \frac{\pi d_o^2}{4} - \frac{\pi d_c^2}{4} \right)}{(\pi d_o - \pi d_c)}$$

2. С целью получения максимального крутящего момента также необходим выбор длины впускного канала.

Объем впускного канала должен быть соответствовать объему цилиндра двигателя, тогда длина впускного канала:

$$l_k = \frac{V_h}{f_{\Gamma}}.$$

Увеличение длины трубопровода, с одной стороны, способствует возрастанию сил инерции потока горючей смеси или воздуха, а с другой – повышает сопротивление впускного канала. Экспериментально также установлено, что отношение длины впускного канала к диаметру впускного отверстия должно составлять  $l_k/d_{\Gamma}=20...30$ , при этом значения  $l_k/d_{\Gamma}=22...25$  позволяют достичь максимального крутящего момента.



Исследование по выбору настроенных и регулируемых органов впуска было проведено также на основе двигателя ЗМЗ Р-4  $V_h=2,445 \text{ дм}^3$  в программном пакете «Альбея». В результате удалось добиться улучшения экологических и экономических показателей на 10...17% в составе транспортного средства.

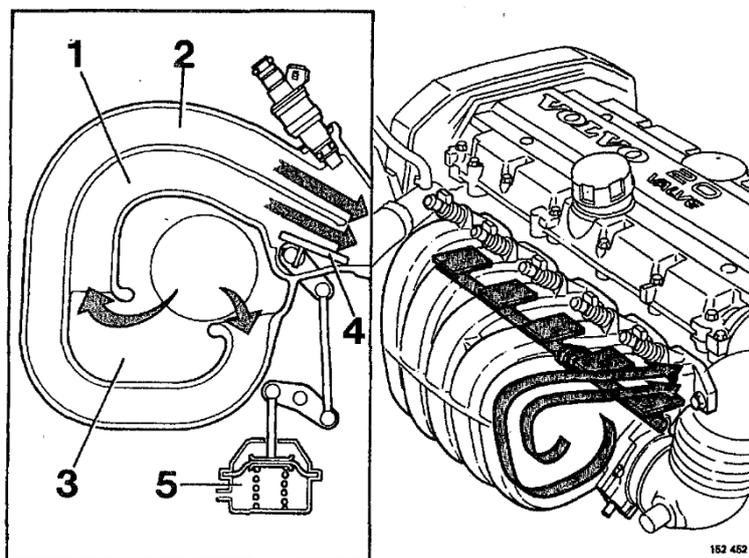


Рис. 2. Органы впуска подсистемы газообмена АПДВС:

1 – короткий канал, 2 – длинный канал, 3 – ресивер,  
4 – заслонка, 5 – вакуумный исполнительный механизм

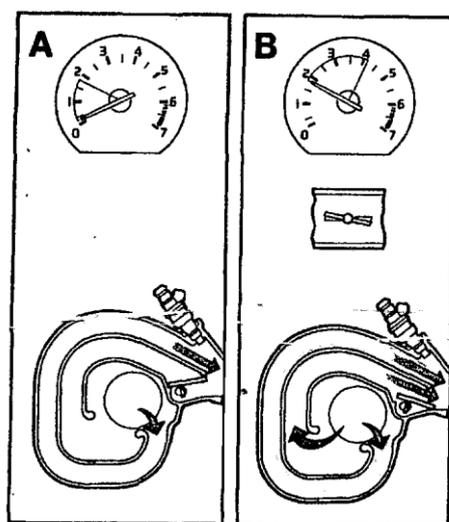


Рис. 3. Схема работы впускного коллектора

3. Организация вращательного движения рабочего тела в процессе наполнения для улучшения смесеобразования и повышения энергетических и экологических показателей (рис. 4).

Интенсификация вращательного движения рабочего тела в процессе наполнения обуславливает организацию вращательного движения заряда рабочего тела как в пространстве камеры сжатия, так и вокруг продольной оси цилиндра ПДВС, и его турбулизацию. Последняя, в свою очередь, определяет качество смесеобразования и скорость распространения фронта пламени, а также антидетонационные свойства ПДВС и допустимую степень сжатия.

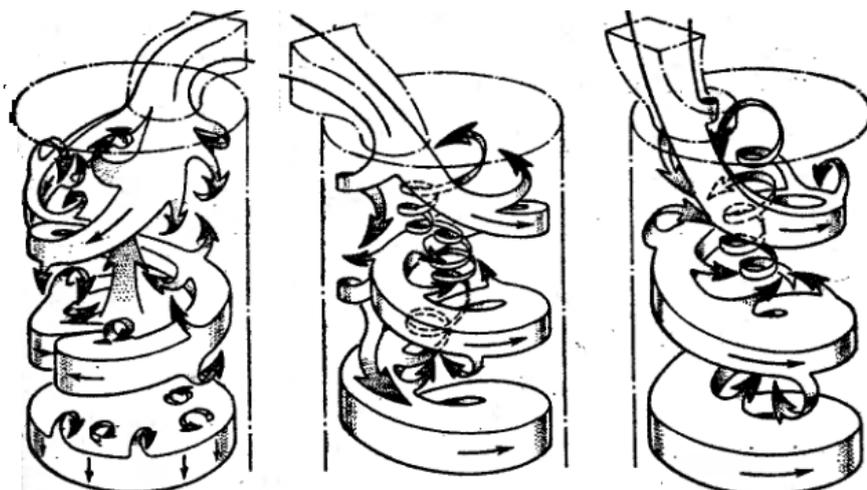


Рис. 4. Примеры вращательных движений рабочего тела в цилиндре ДВС

Проверка данного метода была проведена на базе двигателя ЗМЗ Р-4  $V_h=2,445$  л при использовании программных пакетов САПР ДВС: «Альбея», Lotus Software и РК-Дизель.

Таблица 1.

$n$ , мин <sup>-1</sup>	1000	1800	3200	4500
$V_s$ , м <sup>3</sup>	0,000611200			
$d_r$ , м определяющим параметром вп. отв. серийного дв.	0,027	0,027	0,027	0,027
$W_r$ , м/с скорость дж. воздуха во вп. о. сер. дв	17,803	32,045	56,968	80,112
$d_r$ , м опред. параметр вп. отв. мод. дв.	0,31	0,31	0,31	0,31
$W_r$ , м/с скорость движен. воздуха в вп. отв. мод. дв.	15,87	24,309	43,215	60,772
$\eta_{н.об}$ сер.дв .мод.дв.	0,708	0,892	0,892	0,758
	0,802	1,000	1,026	0,932

Оптимизация таких параметров, как длина впускного трубопровода (без учета регулируемого впускного канала), площадь его сечения и организация вращательного движения рабочего тела на впуске, позволила получить рациональные параметры впускных каналов. При этом удалось повысить степень сжатия с 6,7 до 7,8, а эффективные и экономические показатели двигателя были улучшены на 12-17%.

#### Библиографический список

1. Захаров, Л.А. Повышение технико-экономических показателей бензиновых двигателей [Текст] / Л.А. Захаров. – дисс... д-ра техн. наук. Н. Новгород: НГТУ, 2000. – 398 с.
2. Захаров, Л.А. Метод оценки термодинамических показателей поршневого двигателя, работающего по циклу Отто, на ранней стадии проектирования [Текст] / Л.А. Захаров, И.Л. Захаров, А.Н. Тарасов // Журнал Автомобильных Инженеров. 2011. №2 (67). С.42-47.
3. Захаров, Л.А. Повышение технических показателей перспективного поршневого многотопливного ДВС с переменной степенью сжатия на ранней стадии проектирования [Текст] / Л.А. Захаров, И.Л. Захаров, В.Л. Химич, А.Н. Тарасов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №4 (97) С. 207-213.
4. Захаров, Л.А. Современный поршневой ДВС с перспективными энергетическими, экономическими показателями, получаемыми за счет повышения внутренней энергии рабочего тела» [Текст] / Л.А. Захаров, А.Н. Тарасов, И.Л. Захаров, В.Л. Химич, А.В. Дегтярев // Журнал автомобильных Инженеров. 2013. №2 (79). С. 14-20.

5. Захаров, Л.А. Методика обеспечения экономической безопасности поршневого двигателя внутреннего сгорания с принудительным воспламенением [Текст] / А.В. Дегтярев, И.Л. Захаров, А.Н. Тарасов, Е.Л. Лысенко, Л.А. Захаров // XIX Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки. 15-19 февраля 2014 г. / ответственный за выполнение И.А. Зверева – Н. Новгород: НИУ РАНХиГС, 2014. С. 24-27.
6. Захаров, Л.А. Методика обеспечения экологической безопасности поршневого двигателя внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия завода ОАО «РУМО» 8ЧН 22/28» [Текст] / Л.А. Захаров, А.В. Сеземин, И.Л. Захаров, А.Н. Тарасов, А.В. Дегтярев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. №2 (104). С. 140-147.
7. Захаров, Л.А. «Повышение эффективности поршневых двигателей внутреннего сгорания совершенствованием инженерных решений» / Л.А. Захаров, А.Н. Тарасов, И.Л. Захаров, А.В. Дегтярев // Журнал Автомобильных Инженеров. 2015. №5 (94). С.30-37.
8. Захаров, Л.А. Методологические основы выбора энергетической установки для средств коллективного спасения» // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2015. №4 (111). С. 222-227.
9. Захаров, Л.А. Экспериментально-теоретические исследования технико-экономических показателей атмосферных поршневых двигателей внутреннего сгорания и анализ отечественного опыта [Текст] / Л.А. Захаров, А.Н. Тарасов, И.Л. Захаров, А.В. Дегтярев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2015. №2 (109). С. 177-188.
10. Захаров, Л.А. Повышение эффективности поршневого двигателя внутреннего сгорания за счет регулирования рациональной степени сжатия для водных, воздушных и наземных транспортных средств [Текст] / Л.А. Захаров, А.В. Дегтярев // Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и производстве: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. – Нижний Новгород: НГТУ, 2016. С. 329-338.
11. Захаров, Л.А. Улучшение энергетических и экономических показателей поршневых бензиновых двигателей путем совершенствования инженерных решений рабочей камеры цилиндров [Текст] / Л.А. Захаров, А.Н. Тарасов, И.Л. Захаров, А.В. Дегтярёв, Е.Л. Лысенко // Актуальные проблемы морской энергетики: материалы пятой всероссийской межотраслевой конференции – СПб: Издательство СПб ГМТУ, 2016. С. 98-100.
12. Захаров, Л.А. Исследование влияния момента впрыска топлива и наклона топливных струй на экономические и экологические показатели серийного судового дизельного двигателя [Текст] / А.В. Сеземин, Л.А. Захаров, А.В. Дегтярёв, И.Л. Захаров, А.Н. Тарасов. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2016. №1 (112). С. 199-206.
13. Захаров, Л.А. Повышение динамических характеристик и уменьшение расхода топлива за счет совершенствования рабочих процессов бензинового двигателя [Текст] / А.В. Дегтярев, Л.А. Захаров, И.Л. Захаров, А.Н. Тарасов // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Двигатель-2017», посвященной 110-летию специальности «Поршневые двигатели» в МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 62-63.
14. Захаров, Л.А. Исследование повышение термического сопротивления изоляции центрального корпуса турбокомпрессора автомобильных ДВС [Текст] / А.А. Пикулькин, Л.А. Бердников, М.Г. Корчажкин, Л.А. Захаров, П.И. Бажан // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. №3. С. 164-171.
15. Zakharov L.A. Study of factors affecting the reliability of turbochargers» / L.A. Berdnikov, A.A. Pikulkin, M.G. Korchazhkin, P.I. Bazhan // IOP Conf/ Series: Materials Science and Engineering 386. 2018.
16. Вихерт, М.М. Конструирование впускных систем быстроходных дизелей [Текст] / М.М. Вихерт, Ю.Г. Грудский - М., Машиностроение, 1982. – 151 с.
17. Драганов, Б.Х. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Б.Х. Драганов, М.Г. Круглов, В.С. Обухов – К., ВШ Головное изд-во, 1987. – 175 с.