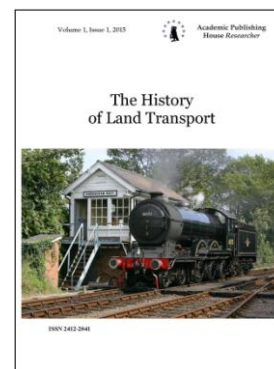




Published in the Slovak Republic
The History of Land Transport
Has been issued since 2015.
ISSN: 2412-2041
E-ISSN: 2413-760X
2017, 3(1): 29-38

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.29
www.ejournal38.com



Efficiency Increase of the Internal Combustion Engine

Eugene A. Korepanov ^a

^a Izhevsk state technical university, Russian Federation

Abstract

In the course of the work, a review and analysis of the work on the creation of engines with variable compression ratio was performed. The task of the work is to analyze the effect of compression on the effective performance of the engine. Two thermal calculations of the internal combustion power with different compression ratios of 10.3 and 14 were carried out. Two indicator diagrams were constructed. Tax accounting and economic statistics.

Keywords: internal combustion engine, efficiency, compression ratio, increase the power.

1. Введение

В современном мире общая мощность поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) составляет 80–85 % мощности всех установок мировой энергетики, при этом эффективный КПД таких двигателей составляет всего 25–40 %. В связи с надвигающимся глобальным нефтяным кризисом предлагается много решений направленных на его перенос на более долгосрочную перспективу, одним из таких решений является увеличение эффективности используемых двигателей. Над этой проблемой работает ряд ведущих промышленно развитых стран. Наиболее серьезно работы ведутся в Японии и в США, где для повышения эффективности разрабатывают двигатели с высокими степенями сжатия.

2. Обсуждение

Обзор и анализ работ по созданию двигателей с переменной степенью сжатия

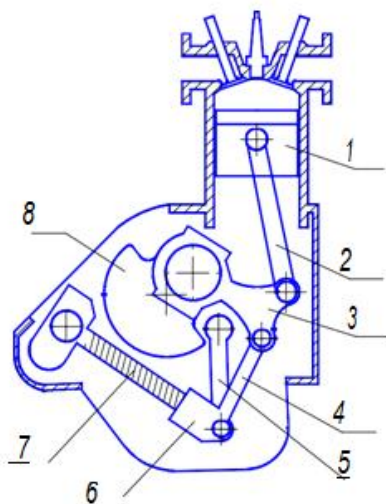
Работы по разработке и исследованию двигателей с переменной степенью сжатия ведутся в США, Японии, Германии, Австралии, Швейцарии, России и др. странах. В настоящее время еще не решены проблемы, препятствующие реализации изменения степени сжатия в ДВС. В данной работе, были рассмотрены существующие разработки и проведена оценка влияния переменной степени сжатия на рабочий процесс и, следовательно, на основные показатели ДВС.

Исследовательская лаборатория фирмы Sandia (США) и фирма ERDA (Австралия) по предложенной инженером Н. Pouliot схеме разработали автомобильный пятицилиндровый двигатель водяного охлаждения с переменным ходом поршня (Архангельский и др., 1977).

Мощность двигателя изменяется за счет изменения рабочего объема от 0,7 до 3,1 л путем регулирования хода поршня в пределах $S = 25,4...108$ мм. Дросселирование применяется только на холостом ходу и малых нагрузках.

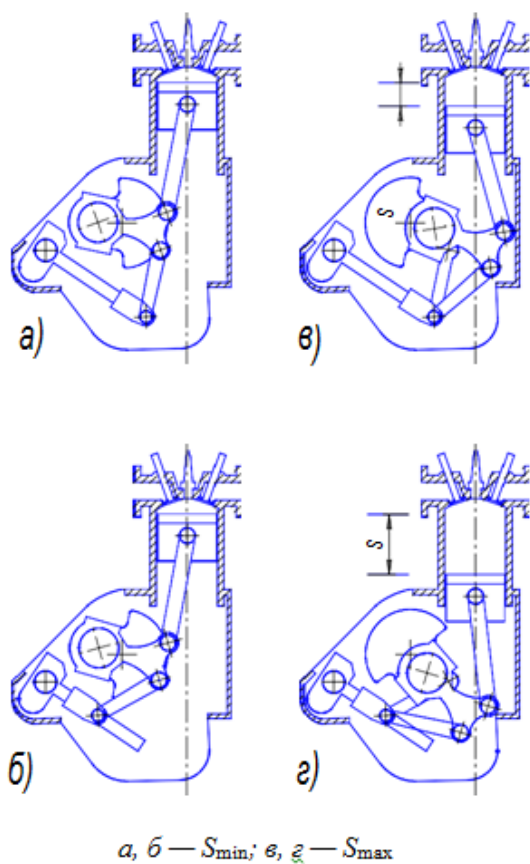
В двигателе Н. Pouliot (см. Рис. 1) ход поршня изменяют вворачиванием винта 7 в гайку 6 с помощью электродвигателя. Полное изменение хода поршня происходит приблизительно за 3 с.

На Рис. 2 показаны положения механизма изменения хода поршня при различных углах поворота коленчатого вала в двигателе Н. Pouliot.



1 — поршень; 2 — шатун поршня; 3 — шатун кривошипа; 4 — управляющий шатун; 5 — управляющая штанга; 6 — гайка; 7 — винт; 8 — коленчатый вал

Рис. 1. Схема двигателя с переменным ходом поршня конструкции Н. Pouliot



а, б — S_{min} ; в, г — S_{max}

Рис. 2. Положения поршня в ВМТ и НМТ при различных значениях хода поршня двигателя конструкции Н. Pouliot

В 2000 году разработан в ГНЦ НАМИ двигатель с переменным ходом поршня. Авторы разработки, такой механизм изменения хода поршня назвали траверсным (коромысловым) (Кутенев и др., 1998).

В двигателе (Рис. 3) к кривошипной шейке 7 коленчатого вала крепится двулучий рычаг (коромысло) – траверса 5, которая соединена с поршнем через главный шатун 6 и с эксцентриковым валом 3, расположенным в блоке цилиндров, посредством дополнительного шатуна 4. При повороте эксцентрика одновременно изменяются положения: центра качания дополнительного шатуна и верхней мертвой точки (поз. 1 и 2), а, следовательно, происходит регулирование степени сжатия. Степень сжатия в таком двигателе изменяется в диапазоне – от 7,5 до 14.

Как показали расчеты ГНЦ НАМИ, экономия топлива в двигателе с изменением степени сжатия от 7,5 (максимальная нагрузка) до 14 (холостой ход) превышает 15 %.

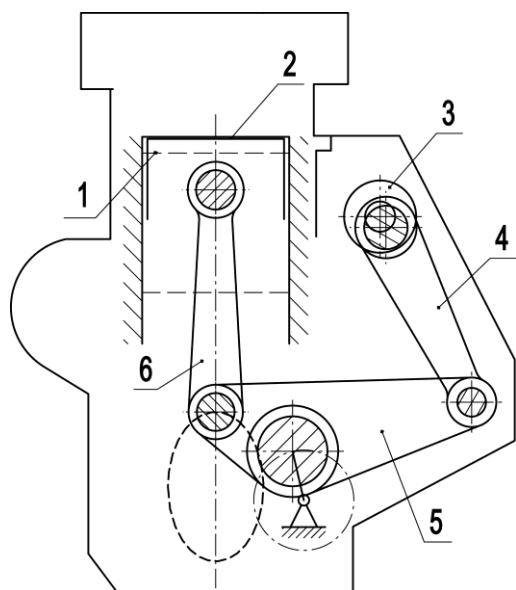


Рис. 3. Принципиальная схема двигателя с траверсным механизмом изменения степени сжатия

3. Результаты

Сравнительный анализ двигателей Н. Pouliot и ГНЦ НАМИ показал, что при частичных нагрузках экономические показатели у обоих двигателей практически одинаковы.

Интересным конструктивным решением является новый бензиновый двигатель с переменной степенью сжатия Saab Variable Compression (SVC), созданный на протяжении последних 20 лет шведской фирмой Saab (**Variable Kompression**). Автором идеи такого двигателя является известный шведский специалист по турбо-наддуву ДВС инженер Пер Гилбрандт (Голубовский, 2000). В середине 1990-х годов прошлого века фирма Saab представила автомобиль с этим двигателем на одном из наиболее престижных европейских салонов – Женевском (Воробьев-Обухов, Гзовский, 2000). Внешний вид двигателя SVC показан на Рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид двигателя SVC

Двигатель Saab SVC рядный пятицилиндровый рабочим объемом цилиндров 1,6 л ($D = 68 \text{ мм}$, $S = 88 \text{ мм}$) развивает мощность 165 кВт при частоте вращения $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$, давлении турбонаддува 0,28 МПа и степени сжатия 8.

Степень сжатия изменяется плавно от 14 на холостом ходу до 8 при максимальной мощности. Система SVC поддерживает на частичных режимах работы двигателя степень сжатия в пределах 10...12, обеспечивая процесс сгорания на границе детонации и получая при этом максимально возможный КПД.

Верхняя часть двигателя (Рис. 5) – моноблок: головка и блок цилиндров отлиты заодно, чтобы обеспечить полную герметичность камеры сгорания при высоких давлениях сгорания. Моноблок установлен на шарнирах и может качаться относительно неподвижной нижней части двигателя, представляющей собой картер с размещенным в нем коленчатым валом.

Регулирование степени сжатия осуществляется изменением углового положения моноблока относительно неподвижной оси коленчатого вала. Отклонение (качание) моноблока происходит с помощью дополнительных шатунов с эксцентриковым валом и коромысел. Для поворота эксцентрикового вала служит активатор, представляющий собой дополнительный гидронасос с приводом от коленчатого вала. Моноблок уплотнен в месте соединения с картером гофрированной прокладкой.

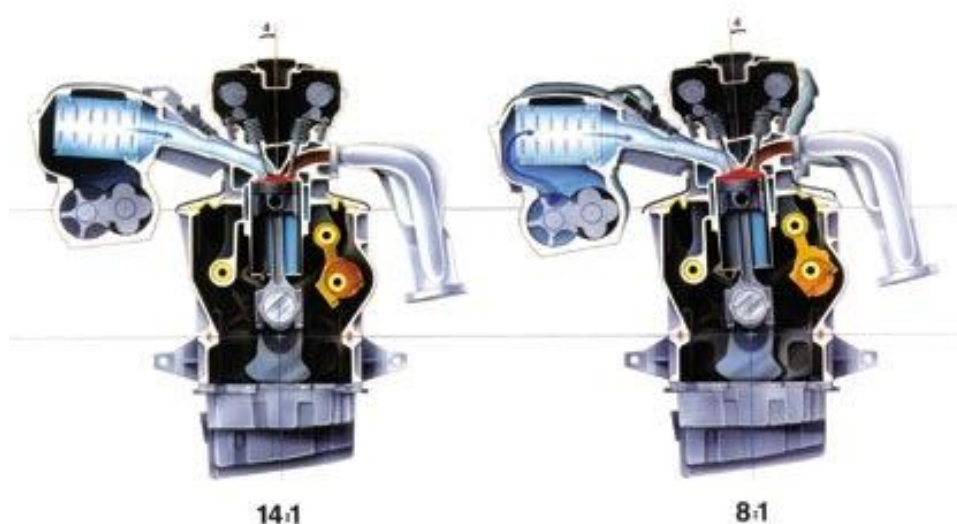


Рис. 5. Двигатель SVC (поперечный разрез)

Как показали результаты испытаний, двигатель SVC имеет высокую топливную экономичность. Кроме того, была заметно снижена эмиссия CO, NOx и CH, что позволяло двигателю с системой SVC отвечать всем действующим и даже предполагаемым в будущем экологическим нормам. К сожалению, авторы разработки не сообщали о значениях экономических и экологических показателей двигателя. Двигатель SVC имеет недостатки, присущие рассмотренным двигателям, которые имеют эксцентриковый вал и дополнительные шатуны.

Для сравнения влияния степени сжатия на параметры работы двигателя проведен тепловой расчет типового двигателя объемом 1,6 литра при работе на различных степенях сжатия и проведена оценка ее влияния.

Для примера был выбран серийный двигатель ВАЗ 21126 автомобиля Lada Priora технические характеристики которого приведены в Табл. 1.

Таблица 1. Характеристики двигателя ВАЗ-21126

№ п/п	Параметры	Ед.	Значение
1	Количество цилиндров	шт	4
2	Рабочий объем	л	1,597
3	Диаметр цилиндров	мм	82
4	Ход поршня	мм	75,6
5	Степень сжатия		10,3
6	Номинальная мощность двигателя	кВт	72
7	Частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности	мин ⁻¹	5600
8	Частота вращения коленчатого вала на холостом ходу	мин ⁻¹	840

Тепловой расчет двигателя ВАЗ 21126 автомобиля Lada Priora

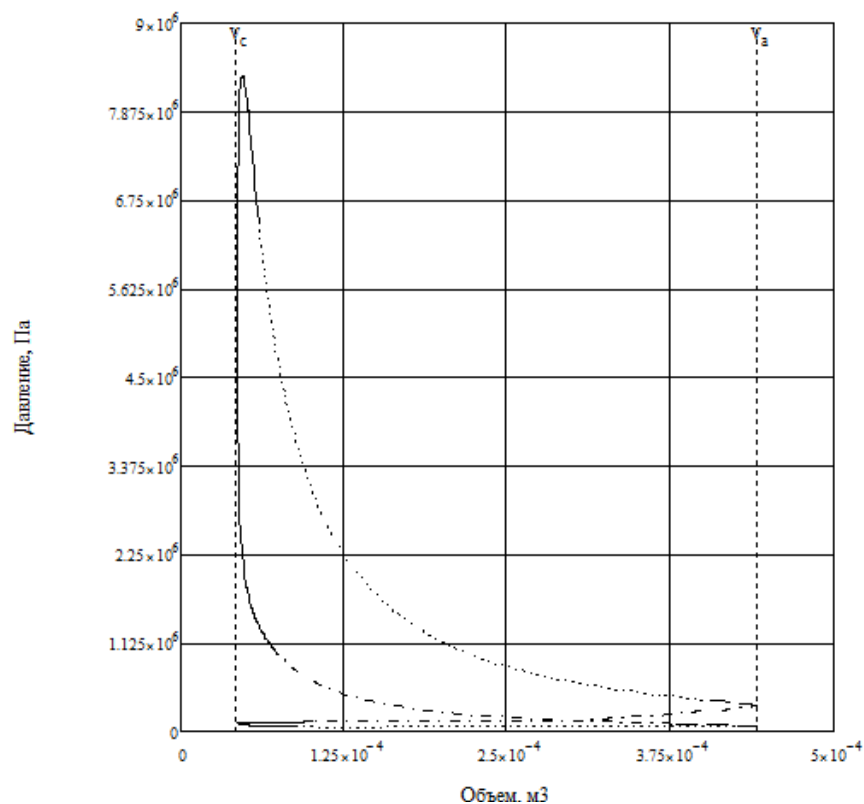
Первый расчет проводился, принимая стандартную степень сжатия 10,3 со следующими исходными данными.

Таблица 2. Исходные данные для теплового расчета

Параметры	Обозначение	Значение	Ед.
Коэффициент избытка воздуха	α	0,96	-
Давление окружающей среды	P_o	0,1	МПа
Давление на впуске	P_k	0,112	МПа
Температура окружающей среды	T_o	293	К
Температура стенок камеры сгорания	T_w	363	К
Температура на впуске	T_k	345	К
Температура остаточных газов	T_r	1040	К
Давление остаточных газов	P_r	0,1099	МПа
Показатель адиабаты воздуха	K	1,4	-
Универсальная газовая постоянная	R_o	8,31	Дж/(моль К)
Низшая теплота сгорания топлива	H_u	$44 \cdot 10^{-6}$	Дж/кг

Таблица 3. Полученные параметры теплового расчета для степени сжатия 10,3

Параметры	Значение	Ед.
Давление в цилиндре в конце сжатия	0,987	МПа
Температура в цилиндре в конце сжатия	799,348	К
Температура в цилиндре в конце сгорания	4356	К
Давление в цилиндре в конце сгорания	8,339	МПа
Эффективная мощность двигателя	72,65	кВт
Эффективный к.п.д.	0,2228	-
Удельный эффективный расход топлива	0,224	кг/(кВт*ч)
Литровая мощность	45,49	кВт/л
Часовой расход топлива	16,32	кг/ч

**Рис. 4.** Индикаторная диаграмма процесса со степенью сжатия 10,3

Проведен аналогичный тепловой расчет этого же двигателя, но со степенью сжатия 14. Исходные данные аналогичны предыдущему расчету.

Таблица 4. Полученные данные теплового расчета для степени сжатия 14

Параметры	Значение	Ед.
Давление в цилиндре в конце сжатия	1,223	МПа
Температура в цилиндре в конце сжатия	838,64	К
Температура в цилиндре в конце сгорания	4381	К
Давление в цилиндре в конце сгорания	11,13	МПа
Эффективная мощность двигателя	97,43	кВт
Эффективный к.п.д.	0,494	-
Удельный эффективный расход топлива	0,165	кг/(кВт*ч)
Литровая мощность	61,01	кВт/л
Часовой расход топлива	16,126	кг/ч

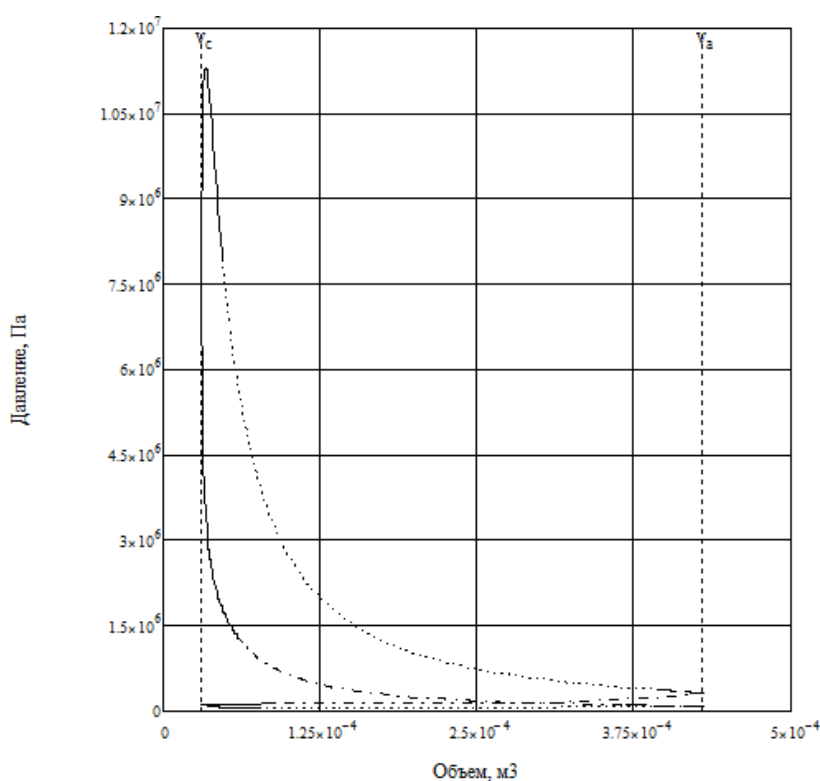


Рис. 5. Индикаторная диаграмма процесса со степенью сжатия 14

Также, для рассматриваемого двигателя, были проведены расчеты и построены графики зависимости давления и температуры в конце сжатия (в точке С, см. [рис. 6](#)) и в конце сгорания (в точке Z, см. [Рис. 7](#)) от оборотов двигателя с учетом гидравлических потерь при степенях сжатия 10,3 и 14.

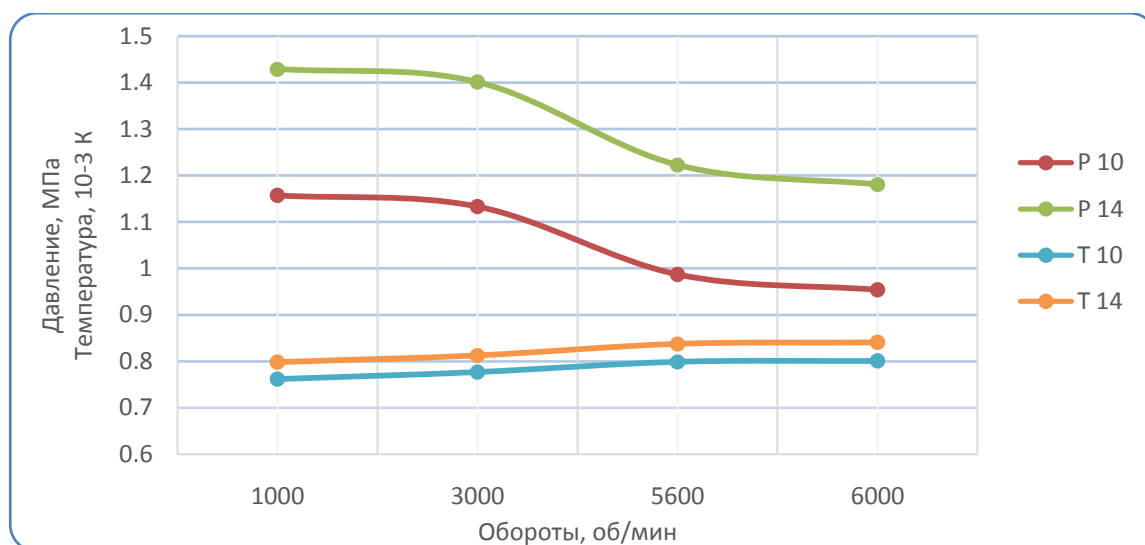


Рис. 6. Зависимость давления и температуры в конце сжатия от оборотов двигателя

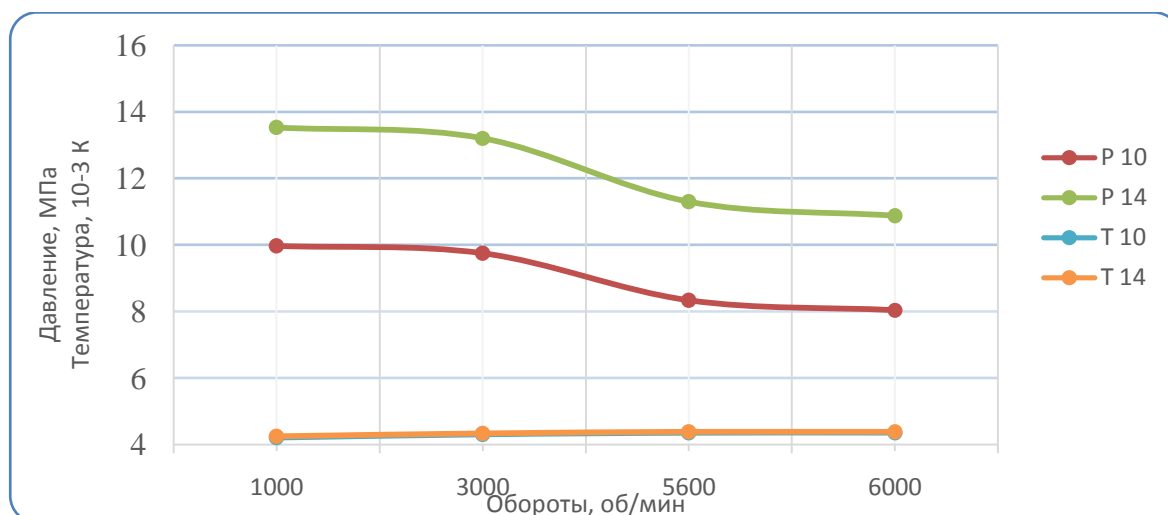


Рис. 7. Зависимость давления и температуры в конце сгорания от оборотов двигателя

При увеличении оборотов двигателя со степенью сжатия 14 возрастают механические и гидравлические потери вследствие чего давление и температура в конце такта сжатия и сгорания уменьшаются.

В дополнение к результатам, представленным в (Князев, Терентьев, 2017) в данной работе представлены графики, определяющие основные преимущества использования высокой степени сжатия именно на низких оборотах работы двигателя.

4. Заключение

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что двигатель со степенью сжатия 14 эффективнее двигателя со степенью сжатия 10,3: выросла мощность двигателя (на 34 %); увеличился эффективный КПД; снизился удельный эффективный расход топлива. Таким образом, повышение степени сжатия, в общем случае, увеличивает эффективность двигателя, повышает его КПД и способствует снижению расхода топлива.

Литература

Архангельский и др., 1977 – Архангельский В.М., Вихерт М.М., Воинов А.Н. и др. Автомобильные двигатели. Под ред. Ховаха М. С.М.: Машиностроение, 1977. 591 с.

Воробьев-Обухов, Гзовский, 2000 – Воробьев-Обухов А., Гзовский М. Полезное действие для КПД // *За рулем*. 2000. № 5. С. 42-43.

Голубовский, 2000 – Голубовский Ю. Мотор – маятник. Сигнал. 2000. № 5.

Дьяченко и др., 1979 – Дьяченко, Н.Х., Харитонов, Б.А., Петров, В.М. и др. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов. Под ред. Н.Х. Дьяченко. Л: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. 392 с.

Князев, Терентьев, 2017 – Князев Е.А., Терентьев А.Н. Пути повышения эффективности ДВС. *Первый шаг в науку*. 2017. № 1 (25). С. 14-18.

Колчин, Демидов, 2002 – Колчин, А.И. Демидов, В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2002. 496 с.

Конюхов и др., 1999 – Конюхов, А.В., Конюхов, В.А., Иващенко, Н.А. Особенности рабочего процесса в двигателе с управляемым ходом поршня // *Автомоб. пром-сть*. 1999. № 12. С. 6-12.

Кутенев и др., 1998 – Кутенев, Ф.Т., Зленко, М.А., Тер-Мкртчян, Г.Г. Управление движением поршней – неиспользованный резерв улучшения мощностных и экономических показателей дизеля // *Автомобильная промышленность*. 1998. № 11. С. 25-29.

Махалдиани и др., 1973 – Махалдиани, В.В., Эджибия, И.Ф., Леонидзе, А.М. Двигатели внутреннего сгорания с автоматическим регулированием степени сжатия. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 272 с.

Мищенко и др., 2004 – Мищенко, Н.И., Химченко, А.В., Супрун, В.Л. Проблемы реализации изменения степени сжатия в двигателях внутреннего сгорания // *Вестник Донецкого института автомобильного транспорта*. Донецк: ДИАТ, 2004. № 1. С. 17-22.

Variable Kompression – Variable Kompression. *Auto, Mot. und Sport*, DE. 2000. № 6. С. 12.

References

Arkhangel'skii i dr., 1977 – Arkhangel'skii V.M., Vikhert M.M., Voinov A.N. i dr. *Avtomobil'nye dvigateli*. Pod red. Khovakha M. S.M.: Mashinostroenie, 1977. 591 p.

Vorob'ev-Obukhov, Gzovskii, 2000 – Vorob'ev-Obukhov A., Gzovskii M. (2000). Poleznoe deistvie dlya KPD. *Za rulem*. № 5. pp. 42-43.

Golubovskii, 2000 – Golubovskii Yu. Motor – mayatnik. *Signal*. 2000. № 5.

D'yachenko i dr., 1979 – D'yachenko, N.Kh., Kharitonov, B.A., Petrov, V.M. i dr. *Konstruirovaniye i raschet dvigatelei vnutrennego sgoraniya*: Uchebnyk dlya vtuzov. Pod red. N.Kh. D'yachenko. L: Mashinostroenie. Leningr. отд., 1979. 392 p.

Knyazev, Terent'ev, 2017 – Knyazev E.A., Terent'ev A.N. (2017). Puti povysheniya effektivnosti DVS. *Pervyi shag v nauku*. № 1 (25). pp. 14-18.

Kolchin, Demidov, 2002 – Kolchin, A.I. Demidov, V.P. (2002). Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelei: Uchebnoe posobie dlya vuzov. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Vyssh. shk., 2002. 496 p.

Konyukhov i dr., 1999 – Konyukhov, A.V., Konyukhov, V.A., Ivashchenko, N.A. (1999). Osobennosti rabocheho protsessa v dvigatele s upravlyaemym khodom porshnya. *Avtomob. prom-st'*. 1999. № 12. pp. 6-12.

Kutenev i dr., 1998 – Kutenev, F.T., Zlenko, M.A., Ter-Mkrтчyan, G.G. (1998). Upravlenie dvizheniem porshnei – neispolzovannyy rezerv uluchsheniya moshchnostnykh i ekonomicheskikh pokazatelei dizelya. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. № 11. pp. 25-29.

Variable Kompression – Variable Kompression. *Auto, Mot. und Sport*, DE. 2000. № 6. p. 12.

Makhaldiani i dr., 1973 – Makhaldiani, V.V., Edzhibiya, I.F., Leonidze, A.M. Dvigateli vnutrennego sgoraniya s avtomaticheskim regulirovaniem stepeni szhatiya. Tbilisi: Metsniereba, 1973. 272 p.

Mishchenko i dr., 2004 – Mishchenko, N. I., Khimchenko, A. V., Suprun, V.L. Problemy realizatsii izmeneniya stepeni szhatiya v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya. *Vestnik Donetskogo instituta avtomobil'nogo transporta*. Donetsk: DIAT, 2004. № 1. pp. 17-22.

Исследование влияния степени сжатия на эффективные показатели двигателя

Александр Сергеевич Корепанов ^a

^a Ижевский государственный технический университет, Российская Федерация

Аннотация. В ходе работы выполнен обзор и анализ работ по созданию двигателей с переменной степенью сжатия. Задачей работы являлось проанализировать влияние степени сжатия на эффективные показатели двигателя. Были проведены два тепловых расчета двигателя внутреннего сгорания с различной степенью сжатия 10,3 и 14. Построены две индикаторные диаграммы. На основании полученных расчетов и построенных индикаторных диаграмм сделан вывод о влиянии степени сжатия на эффективные показатели работы двигателя.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, эффективность, степень сжатия, повышение мощности.