

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХТАКТНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ

*Р.Д. Еникеев, д.т.н., проф., О.П. Домбровский, асп., М.Д. Гарипов, к.т.н., доц.
Уфимский государственный авиационный технический университет*

Предложен способ реализации бездетонационного сгорания в бензиновом двигателе при повышенных степенях сжатия. Выполнено экспериментальное исследование влияния степени сжатия на процесс горения. Экспериментально установлена зависимость от степени сжатия, содержания углеводородов, оксида углерода и оксидов азота в составе отработавших газов. Показано влияние степени сжатия на эффективные показатели двухтактного двигателя, выявлено оптимальное с точки зрения топливной экономичности значение степени сжатия.

Одним из наиболее эффективных способов улучшения энергоэкономических показателей бензиновых поршневых двигателей является повышение степени сжатия. В цилиндры бензиновых двигателей подается уже подготовленная гомогенная смесь, что налагает ограничение по максимальной степени сжатия, так как в гомогенных смесях при повышенных степенях сжатия возникает детонация. В современных двигателях с непосредственным впрыском топлива высокие значения степени сжатия ($\epsilon \approx 12$) реализуются лишь при условии использования высокооктановых топлив. Обеспечение работы бензиновых двигателей на низкооктановых топливах значительно снижает эксплуатационные расходы.

В работе [1] сформулирована гипотеза о возможном способе реализации в двигателях с искровым воспламенением бездетонационного сгорания низкооктановых топлив при высоких степенях сжатия за счет неоднородного распределения состава топливовоздушной смеси в рабочей камере. Однако необходимость создания неоднородного распределения топлива по объему воздуха входит в противоречие с необходимостью поддержания в районе искрового промежутка состава газовой смеси в концентрационных пределах воспламенения и обеспечить на полной нагрузке максимально возможную степень использования воздуха.

Противоречия снимаются за счет применения относительно раннего впрыскивания бензина, при этом возможно использовать для подавления

детонации такую степень неоднородности смеси, при которой колебание состава испаренной части будет находиться в концентрационных пределах искрового воспламенения. Это позволяет организовать процесс таким образом, чтобы концентрационная неоднородность имела место на локальном уровне, а сами очаги локальной неоднородности были относительно равномерно распределены по объему камеры сгорания. Предполагается, что образование ударных и детонационных волн в локальных очагах допустимо, если в процессе распространения они ослабевают до такого уровня, который не представляет опасность для конструкции двигателя и не ухудшает его эффективные показатели. Это возможно, например, при умеренно низких октановых числах топлива (например, низкооктановых бензинах) и высоких частотах вращения вала двигателя. Такие условия характерны для сжигания бензина «Нормаль-80» в быстроходном двухтактном двигателе.

Целью работы являлось экспериментальное подтверждение гипотезы о возможности бездетонационного сгорания в бензиновом двигателе с повышенной степенью сжатия за счет непосредственного впрыска топливовоздушной смеси, а также исследование влияния степени сжатия на эффективные показатели двухтактного двигателя.

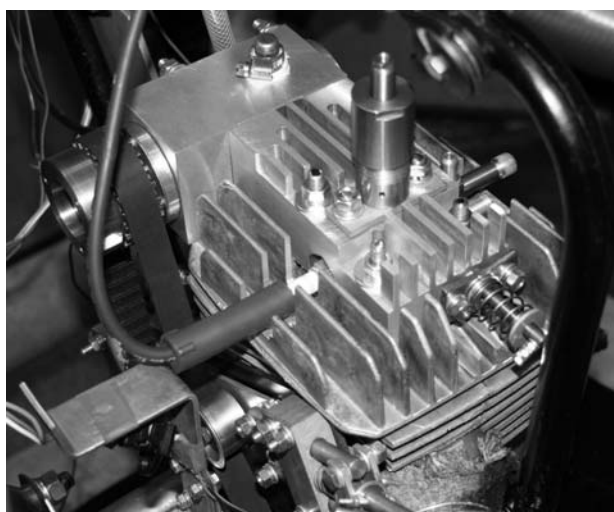


Рис. 1. Головка цилиндра экспериментального двигателя ММВЗ-3.112

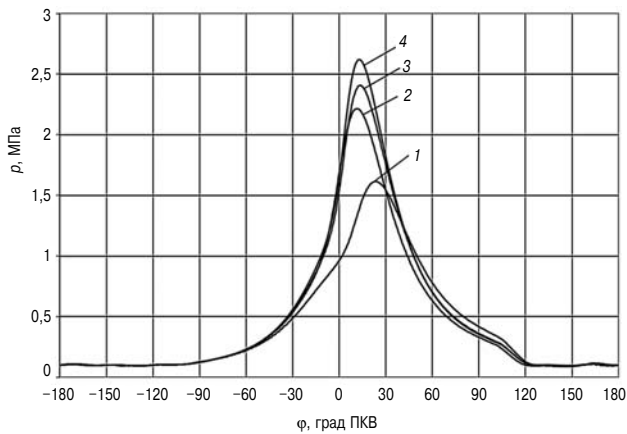


Рис. 2. Экспериментальная диаграмма изменения давления p (МПа) от угла поворота коленчатого вала φ ; режим полной нагрузки; $n = 2000$ об/мин: 1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

Рабочий процесс с компрессорным впрыском, искровым воспламенением топливоздушной струи и качественным регулированием мощности реализован на базе двухтактного одноцилиндрового двигателя ММВЗ-3.112. Эксперименты проводились на стандартной для данного двигателя степени сжатия $\epsilon = 10,5$, а также на пониженной ($\epsilon = 8,5$) и повышенных ($\epsilon = 12,5$ и $13,5$) степенях сжатия. Дросселирование воздуха на впуске не осуществлялось. В качестве топлива использовался неэтилированный бензин марки «Нормаль-80» ГОСТ Р 51105–97. На рис. 1 представлена фотография головки цилиндра двигателя с топливной аппаратурой, приводом топливной аппаратуры, свечей зажигания в варианте с повышенной степенью сжатия $\epsilon = 13,5$.

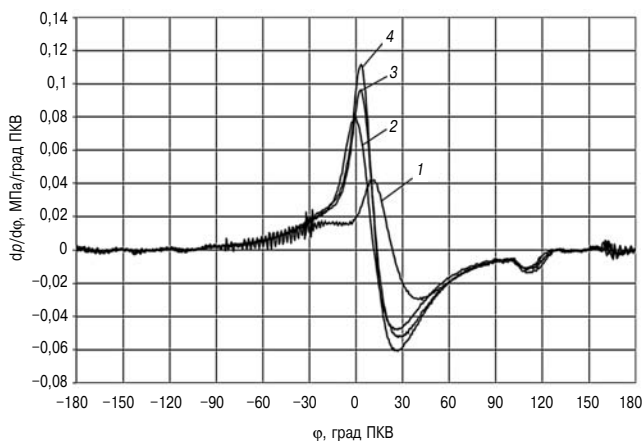


Рис. 4. Экспериментальная диаграмма изменения $dp/d\varphi$ (МПа/град ПКВ) от угла поворота коленчатого вала φ ; режим полной нагрузки; $n = 2000$ об/мин: 1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

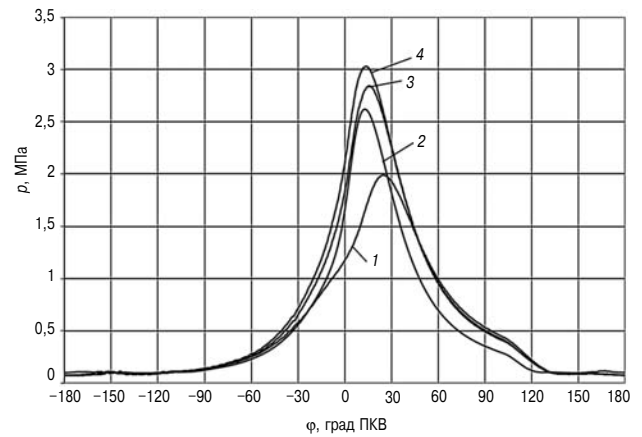


Рис. 3. Экспериментальная диаграмма изменения давления p (МПа) от угла поворота коленчатого вала φ ; режим полной нагрузки; $n = 4000$ об/мин: 1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

На рис. 2 и 3 представлены индикаторные диаграммы экспериментального двигателя при полной нагрузке и различных степенях сжатия. Вследствие повышения максимального давления цикла при увеличении степени сжатия растет и жесткость сгорания, что показано на рис. 4 и 5. На стадии расширения не наблюдаются множественные пики давления, а жесткость сгорания не является аномальной, что свидетельствует об отсутствии детонации даже при степени сжатия $\epsilon = 13,5$. Угол опережения начала впрыска при этом составлял около 115 град ПКВ. Для обеспечения воспламенения бедных смесей по мере снижения нагрузки угол опережения начала впрыска уменьшался до величины около 60 град ПКВ.

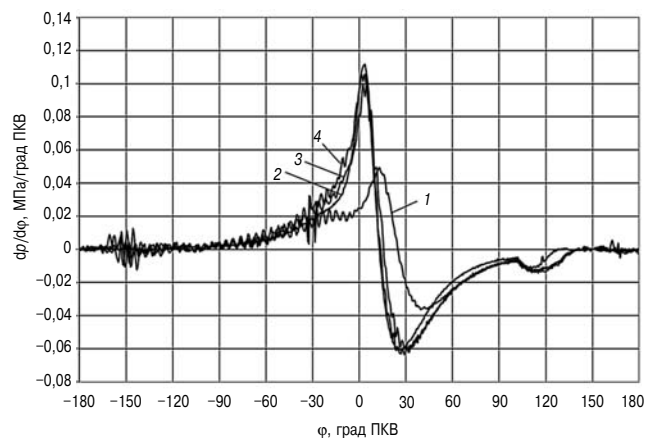


Рис. 5. Экспериментальная диаграмма изменения $dp/d\varphi$ (МПа/град ПКВ) от угла поворота коленчатого вала φ ; режим полной нагрузки; $n = 4000$ об/мин: 1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

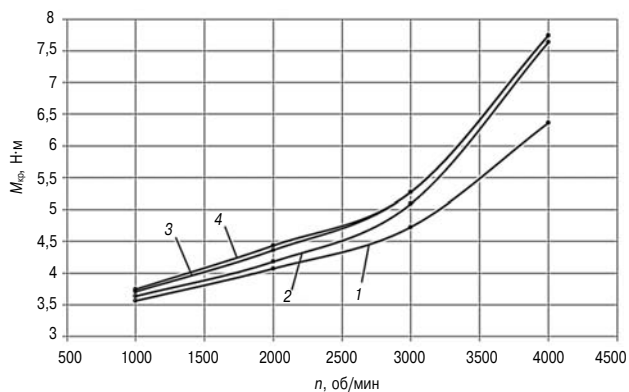


Рис. 6. Изменение эффективного крутящего момента экспериментального двигателя по внешней скоростной характеристике:

по внешней скоростной характеристике:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

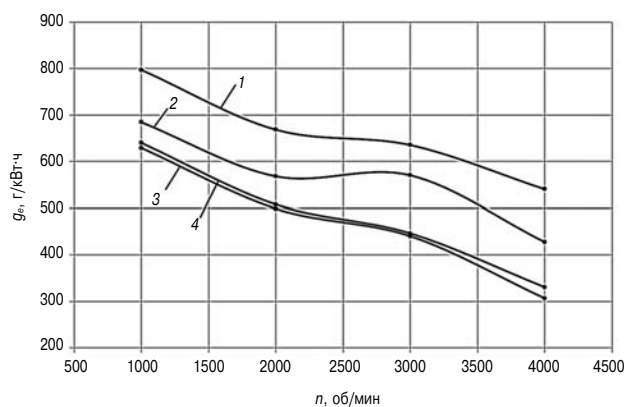


Рис. 7. Изменение эффективного удельного расхода топлива экспериментального двигателя по внешней скоростной характеристике:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

На рис. 6 и 7 показано изменение эффективного крутящего момента и эффективного удельного расхода топлива экспериментального двигателя при работе по внешней скоростной характеристике и различных степенях сжатия.

Из результатов эксперимента видно, что снижение степени сжатия до $\epsilon = 8,5$ существенно снижает эффективную мощность и топливную экономичность. Повышение степени сжатия до $\epsilon = 12,5$ приводит к увеличению эффективной мощности на 2–4,5%, эффективный расход топлива при этом существенно снижается. При дальнейшем увеличении степени сжатия до $\epsilon = 13,5$ изменение эффективных показателей двигателя незначительно.

На рис. 8–10 показано изменение эффективного удельного расхода топлива экспериментального двигателя по нагрузочным характеристикам при различных степенях сжатия. Наибольшая экономичность экспериментального

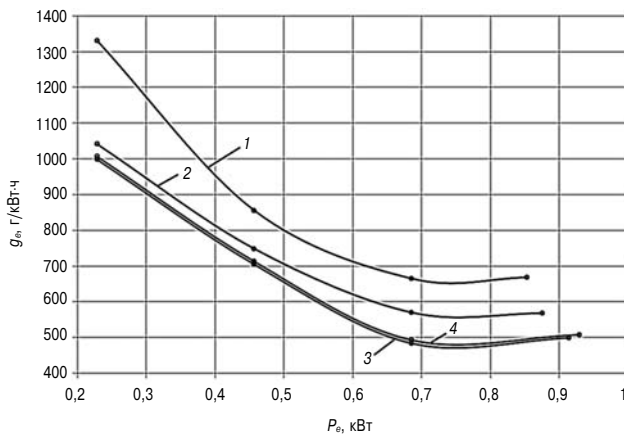


Рис. 8. Изменение эффективного удельного расхода топлива экспериментального двигателя по нагрузочной характеристике при $n = 2000$ об/мин:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

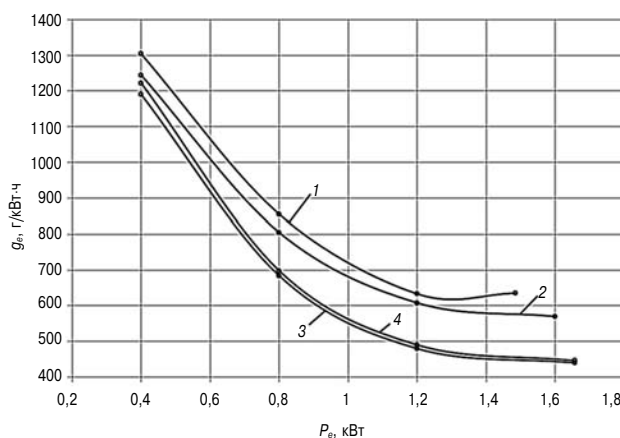


Рис. 9. Изменение эффективного удельного расхода топлива экспериментального двигателя по нагрузочной характеристике при $n = 3000$ об/мин:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

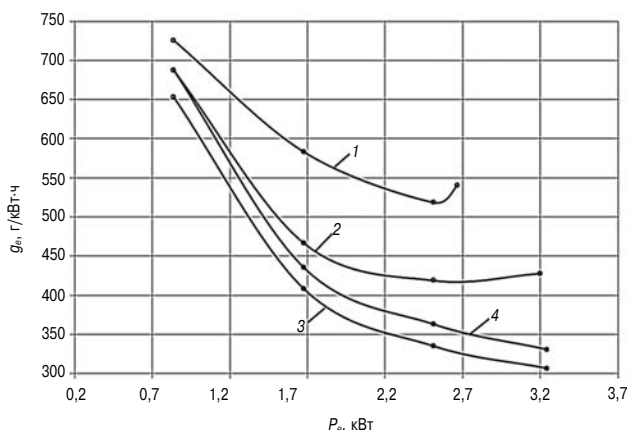


Рис. 10. Изменение эффективного удельного расхода топлива экспериментального двигателя по нагрузочной характеристике при $n = 4000$ об/мин:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

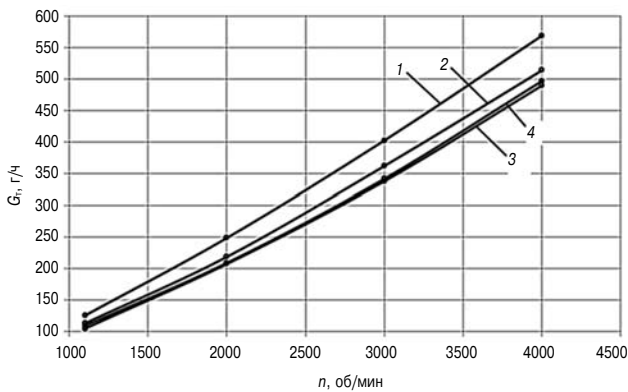


Рис. 11. Изменение часового расхода топлива экспериментального двигателя по скоростной характеристике в режиме холостого хода:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$;
3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

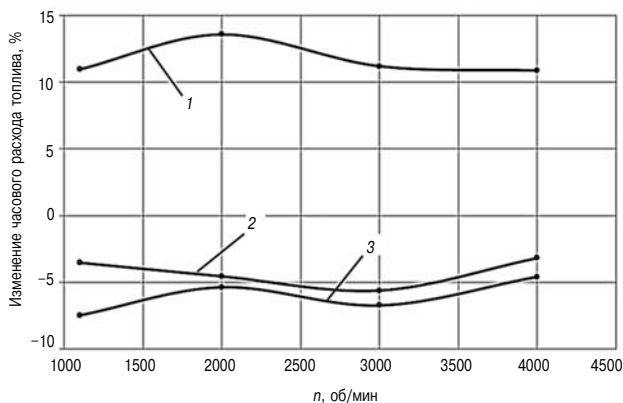


Рис. 12. Относительное изменение часового расхода топлива экспериментального двигателя по скоростной характеристике в режиме холостого хода:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$;
3 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

двигателя достигается при степени сжатия $\epsilon = 12,5$, оптимальной во всем диапазоне представленных нагрузок и скоростных режимов.

На рис. 11 приведена скоростная характеристика, демонстрирующая влияние степени сжатия на часовую расход топлива в режиме холостого хода. На рис. 12 показано относительное изменение часового расхода топлива экспериментального двигателя при увеличении и уменьшении степени сжатия относительно стандартной $\epsilon = 10,5$. По представленным результатам видно, что топливная экономичность экспериментального двигателя в режиме холостого хода при понижении степени сжатия до $\epsilon = 8,5$ снижается на 11–14%. При повышении степени сжатия до $\epsilon = 12,5$ экономичность растет на 3,5–6%, а при $\epsilon = 13,5$ снижение расхода топлива составляет 4,5–7,5%. Это объясняется не только тем, что повышение степени сжатия вызывает увеличение индикаторного КПД, но также и тем, что улучшаются условия

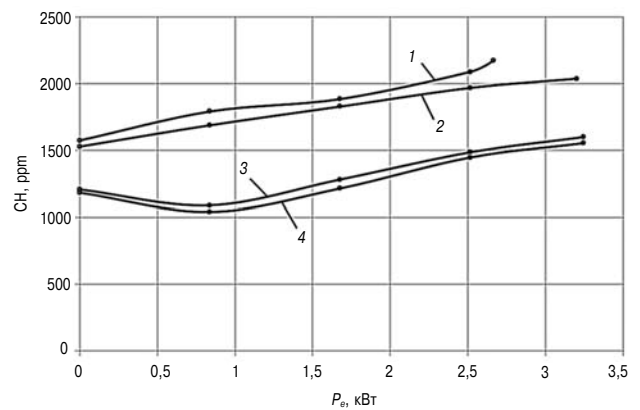


Рис. 13. Изменение содержания СН на различных режимах нагрузки при $n = 4000$ об/мин:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$;
3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

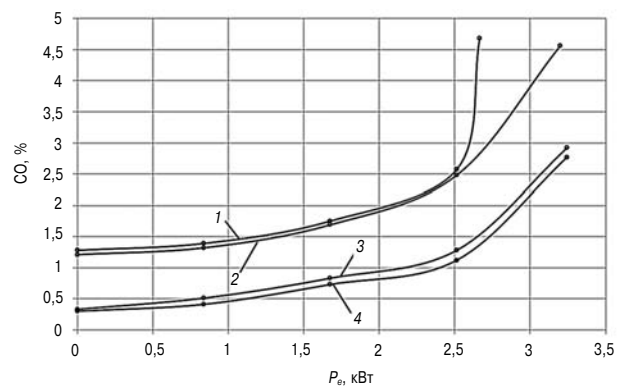


Рис. 14. Изменение содержания СО на различных режимах нагрузки при $n = 4000$ об/мин:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$;
3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

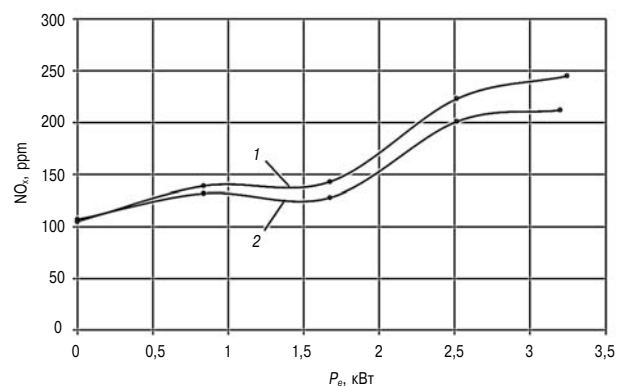


Рис. 15. Изменение содержания NO_x на различных режимах нагрузки при $n = 4000$ об/мин:

1 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$

воспламенения рабочей смеси искрой и увеличивается скорость сгорания в начальной фазе, что упрощает воспламенение обедненных смесей на режимах малой нагрузки.

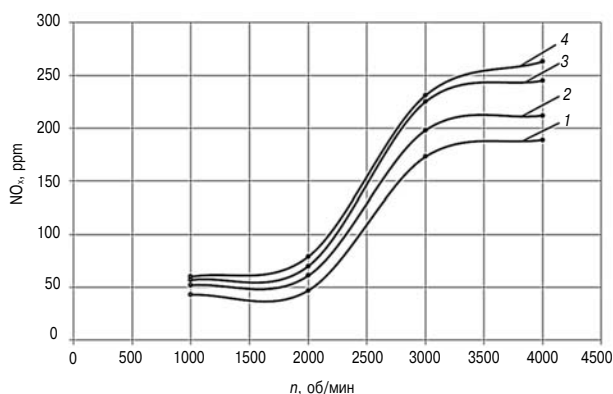


Рис. 16. Изменение содержания NO_x по внешней скоростной характеристике:

1 — степень сжатия $\epsilon = 8,5$; 2 — степень сжатия $\epsilon = 10,5$; 3 — степень сжатия $\epsilon = 12,5$; 4 — степень сжатия $\epsilon = 13,5$

На рис. 13–16 приведены значения содержания углеводородов, оксида углерода и оксидов азота в составе отработавших газов экспериментального двигателя в различных режимах его работы. С увеличением степени сжатия наблюдается снижение выбросов углеводородов и оксида углерода, что объясняется более качественным процессом смесеобразования и сгорания. Однако при уве-

личении степени сжатия происходит рост содержания NO_x, главным образом из-за повышения температуры в цилиндре двигателя. При увеличении степени сжатия со стандартной $\epsilon = 10,5$ до $\epsilon = 12,5$ увеличение выбросов NO_x составляет около 15 %.

Закключение

Экспериментально подтверждена возможность бездетонационного сгорания при повышенных степенях сжатия в двигателе с непосредственным впрыском топливовоздушной смеси и качественным регулированием нагрузки. Установлено, что степень сжатия $\epsilon = 12,5$, при которой достигается наибольшая топливная экономичность, является оптимальной. При увеличении степени сжатия со стандартной $\epsilon = 10,5$ до $\epsilon = 12,5$ повышение топливной экономичности составляет от 3,5 до 29 % в зависимости от режима работы двигателя. Одновременно существенно снижаются выбросы продуктов неполного сгорания.

Литература

1. Еникеев Р. Д., Гарипов М. Д. Рабочий процесс перспективного поршневого ДВС. Вестник УГАТУ. — 2006. — № 3 (16). — Т. 7. — С. 12–22.



Барнаултрансмаш

НОВОСТИ

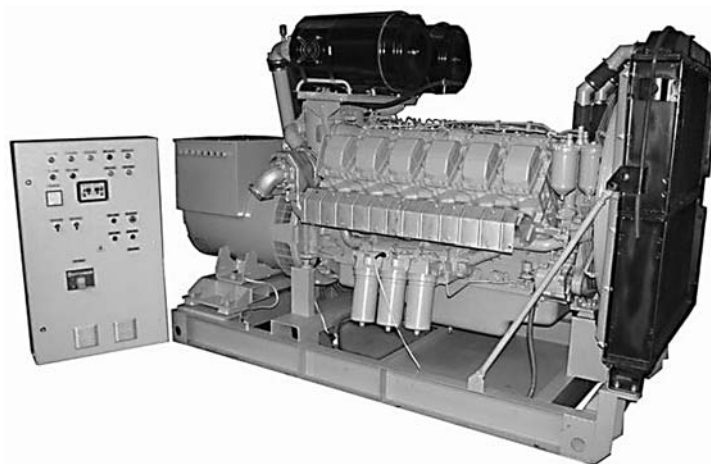
СОЗДАН НОВЫЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР

ОАО «Барнаултрансмаш» объявляет о начале продаж новых дизель-генераторных установок АД315 мощностью 315 кВт.

В 2011 г. была разработана концепция развития продукции ОАО «Барнаултрансмаш», целью которой стало создание силовых установок общепромышленного применения и их производство в сотрудничестве с ОАО «Автодизель».

В конце 2011 г. были начаты работы по расширению типажа дизель-генераторных установок. Базовым образцом нового типоразмерного ряда стал электроагрегат АД315С-Т400-1Р. В июле 2012 г. были завершены приемосдаточные испытания, по результатам которых новый дизель-генератор рекомендован к серийному производству.

Дизель-электрический агрегат переменного тока АД315С-Т400-1Р мощностью 315 кВт, первой степени автоматизации предназначен для применения в качестве как основного, так и резервного источника электрической энергии, который прекрасно подходит для комплексного электроснабжения, административных и промышленных зданий, торговых и гостиничных комплексов, больниц, заводов и производств, где важна бесперебойная подача электроэнергии.



Электроагрегаты АД315С-Т400-1Р производятся на базе дизельных двигателей ЯМЗ 8503.10 и комплектуются силовыми генераторами Leroy Somer и щитами управления, обеспечивающими 1, 2 и 3 степень автоматизации, а также могут поставляться в контейнерном исполнении.

ОАО «Барнаултрансмаш» имеет сорокалетний опыт работы и профессиональные навыки в области энергетического машиностроения и гарантирует стабильные поставки качественных изделий и комплектующих.