

УДК 621.43.057

С.А. Плотников, А.С. Зубакин

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЯ 1С 6,8/5,4  
ПРИ РАБОТЕ С ДОБАВКАМИ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА**

Вятский государственный университет, г. Киров

Альтернативная энергетика набирает обороты. Генераторный газ – перспективное альтернативное топливо, но работа ДВС на генераторном газе сопровождается снижением развиваемой мощности. Решение данной проблемы – добавление бензина к генераторному газу. Изучение процессов сгорания, определение оптимального угла опережения зажигания, анализ характеристик – цель данной работы. Среди поставленных задач – модернизация испытательного стенда для работы ДВС на генераторном газе.

Методика проведения экспериментов выбиралась с учетом специфики работы ДВС для привода электрогенератора на генераторном газе. Результатом работы является определение оптимальных регулировочных характеристик при работе на разных видах топлива. Полученные оптимальные углы опережения зажигания составляют: на генераторном газе –  $40^{\circ}$ , для смеси генераторного газа и бензина –  $33^{\circ}$ .

*Ключевые слова:* генераторный газ, индикаторные показатели, характеристики на генераторном газе, сгорание в ДВС, индикаторная диаграмма, смесь генераторный газ+бензин.

Доля альтернативной энергетики в мировой экономике ежегодно увеличивается. Интерес к ней проявляют всё больше и в России. Энергия биомассы является одним из перспективных видов. Анализ способов преобразования биомассы в энергию выявил процесс газификации, как наиболее перспективный [1, 2]. Получаемый при этом генераторный газ (далее ГГ) целесообразно использовать как топливо для ДВС.

Применение ГГ как топлива известно уже более века, но широкому применению мешало технологическое несовершенство оборудования и недостаточная изученность процесса сгорания генераторного газа в ДВС. Массовое применение такого топлива позволило бы снизить или полностью исключить использование бензина в отдалённых районах страны или при чрезвычайных ситуациях.

Целью данной работы является изучение процессов сгорания, анализ характеристик искрового двигателя на ГГ, смесях генераторного газа и бензина (далее ГГ + Б). Для достижения этой цели были поставлены задачи: определить оптимальный угол опережения зажигания при работе на ГГ и ГГ + Б, снять скоростные и регулировочные характеристики, снять индикаторные диаграммы для последующего анализа.

Анализ литературных источников об использовании ГГ как топлива выявил теоретическое падение развиваемой мощности на 10-15% даже при модернизации двигателя (установка оптимального угла опережения зажигания (УОЗ), повышение степени сжатия, установка системы зажигания с высокой энергией, применение системы управления двигателем [3] и т.д.). В противном случае наблюдается фактическое падение мощности до 50%.

На оптимальный угол опережения зажигания влияют многие факторы, но наибольшее значение имеет химический состав топлива. При работе газового генератора химический состав изменяется в зависимости от многих условий, в первую очередь, от вида топлива. При снятии характеристик в качестве топлива использовался древесный уголь.

Для компенсации падения мощности двигателя при работе ГГ было выдвинуто предположение о необходимости добавки бензина к ГГ.

Для получения индикаторных диаграмм и снятия характеристик была разработана установка на базе моторного стенда КИ-541СТЭ-7 и искрового бензинового двигателя 1С 6,8/5,4 в стандартном исполнении. Созданная лабораторная установка позволяет снять основные характеристики двигателя, записать индикаторные диаграммы для последующего анализа процесса сгорания (рис. 1) [4].

Для повышения надёжности воспламенения топливной смеси, на двигатель была установлена электронная система зажигания высокой мощности (рис. 2, а). Данная система позволяет во время работы двигателя регулировать УОЗ в пределах  $\pm 40^{\circ}$  относительно первоначальной установки.

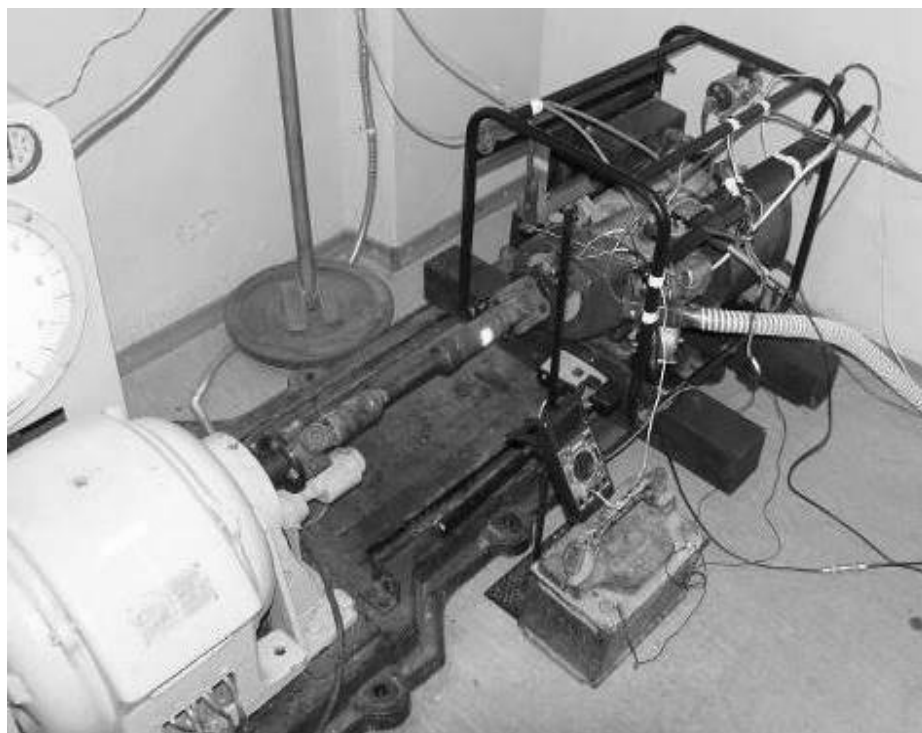


Рис. 1. Общий вид лабораторной установки

Для получения индикаторных диаграмм в головку блока цилиндров двигателя был установлен датчик индикаторного давления (рис. 2, б). Для преобразования давления в графическое изображение процесса сгорания использовалось программное обеспечение Diamag 2 (рис. 3).

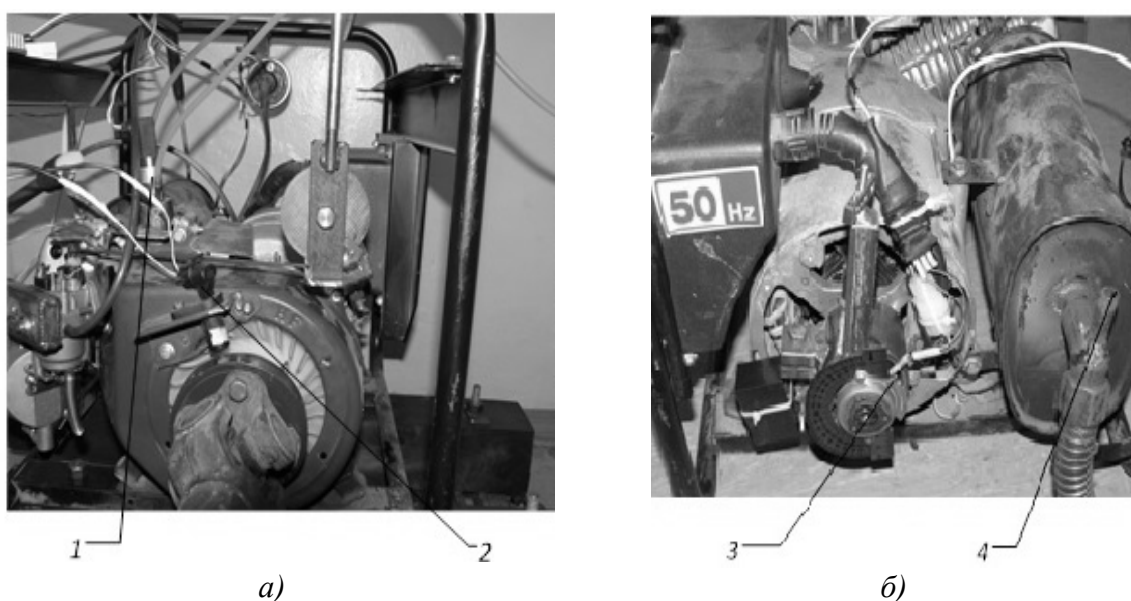


Рис. 2. Датчик индикаторного давления (а) и система изменения УОЗ (б):  
1 - датчик индикаторного давления с холодильником; 2 - датчик ВМТ;  
3 - датчик зажигания; 4 - место отбора ОГ

Снятие индикаторных диаграмм производилось при частоте вращения коленчатого вала  $3000 \text{ мин}^{-1}$  и одинаковой развиваемой мощности при работе на разных видах топлива [5].

Полученные при снятии характеристик индикаторные диаграммы для различных УОЗ представлены на рис. 4. Индикаторная диаграмма работы на бензине показывает оптимальный угол опережения зажигания равный  $\Theta_3=26^\circ$  до ВМТ. При этом угле нарастание давления происходит менее интенсивно и достигает максимума через  $11-13^\circ$  после ВМТ. Максимальное давление снижается до  $3,68 \text{ МПа}$ , падение давления  $Pz$  незначительно по сравнению с углом  $\Theta_3$ , равным  $28^\circ$  ( $3,87 \text{ МПа}$ ). Уменьшение УОЗ до  $\Theta_3=24^\circ$  приводит к ещё большему падению давления  $Pz$  до  $3,27 \text{ МПа}$  с одновременным ростом температуры ОГ, при данном УОЗ пик максимального давления  $Pz$  достигается при  $17^\circ$  после ВМТ. Полученные данные подтверждают теоретические выкладки по сгоранию бензина в камере сгорания.

Анализ диаграммы работы двигателя на генераторном газе (рис. 4, б) показывает увеличение продолжительности горения по сравнению с работой на бензине на  $76\%$ . Снижение индикаторного давления обусловлено низкой теплотой сгорания и химическим составом генераторного газа. При УОЗ, равном  $\Theta_3=40^\circ$ , пик максимального давления  $Pz$  ( $2,23 \text{ МПа}$ ) приходится на  $13-15^\circ$  после ВМТ, что является оптимальным. При других УОЗ ( $\Theta_3=43^\circ$  и  $\Theta_3=37^\circ$ ) давление  $Pz$ , соответственно  $2,36 \text{ МПа}$  и  $18,2 \text{ МПа}$ , при этом пик давления находится в ВМТ или при  $20^\circ$  после ВМТ, что не оптимально с точки зрения совершаемой работы.

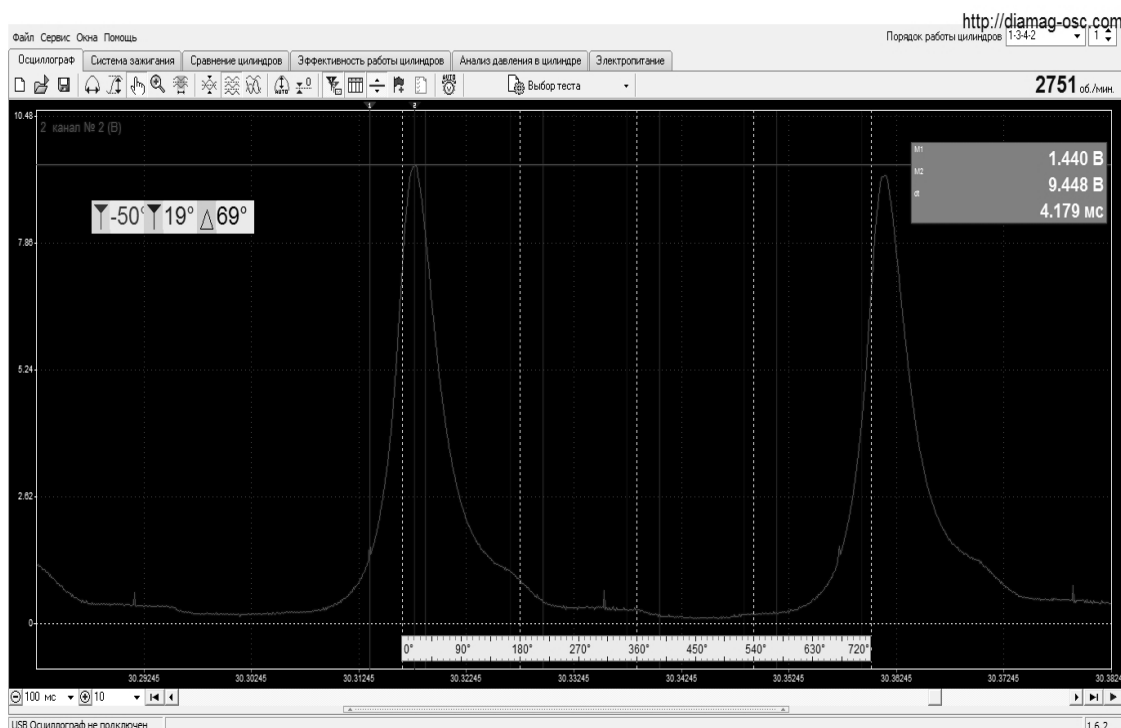
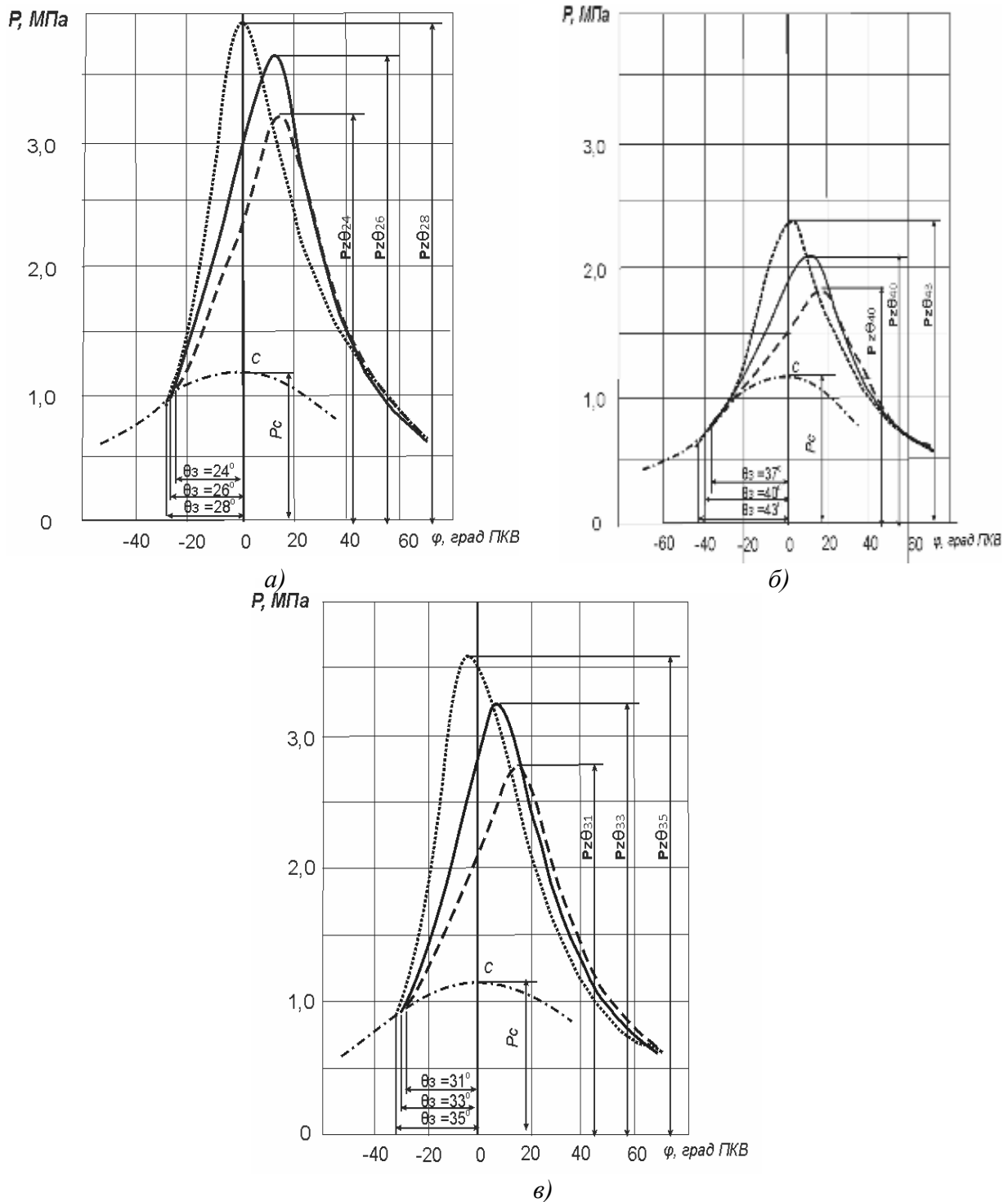


Рис. 3. Индикаторная диаграмма, записанная с помощью программы Diamag 2

Индикаторная диаграмма работы испытуемого двигателя на смеси бензина и ГТ (рис. 4, в) показывает снижение  $Pz$  относительно работы на бензине, при этом значение выше относительно работы на генераторном газе. Оптимальная скорость сгорания смеси наблюдается при  $\Theta_3=33^\circ$ . Максимальное давление  $Pz$  ( $3,27 \text{ МПа}$ ) немного ниже, чем при  $\Theta_3=35^\circ$  ( $3,61 \text{ МПа}$ ), но выше, чем при  $\Theta_3=31^\circ$  ( $2,76 \text{ МПа}$ ). При этом пик давления  $Pz$  находится на линии сжатия, что вызывает противодействие движению поршня, совершая отрицательную работу и, соответственно понижается КПД двигателя (рис. 5). При позднем УОЗ ( $\Theta_3=31^\circ$ ) основная работа сгорания происходит на линии расширения, что также снижает мощность и, следовательно,

КПД. Анализ иностранных источников [6] выявил аналогичные зависимости и показатели при работе ДВС на генераторном газе.



**Рис. 4. Индикаторные диаграммы работы двигателя при работе:**

*a* – на бензине; *б* – на генераторном газе; *в* – на смеси ГГ + Б

При использовании генераторного газа как топлива наблюдается значительное падение мощности - на 45% (рис. 5), в то же время падение мощности при использовании смеси ГГ +Б составляет всего 15%.

Помимо падения мощности, при работе на ГГ наблюдается рост удельного расхода топлива с 275 до 468 г/кВт×ч, по сравнению с работой на бензине. Удельный расход смеси

ГГ + Б составляет 319 г/кВт×ч. Часовой расход при работе на различных видах топлива находится в пределах 1,0-1,15 кг/ч.

При работе на генераторном газе наблюдается рост температуры ОГ, что связано с увеличением продолжительности горения газа. Вместе с увеличением УОЗ температура ОГ снижается с 645 до 625<sup>0</sup>С. При работе ДВС на бензине температура ОГ снижается с 561<sup>0</sup>С при  $\Theta_3=16^0$  до 548<sup>0</sup>С при  $\Theta_3=32^0$ . При работе на смеси ГГ+Б наблюдаются соответственно значения температуры ОГ, равные 581<sup>0</sup>С при  $\Theta_3=25^0$  и 568<sup>0</sup>С при  $\Theta_3=34^0$ .

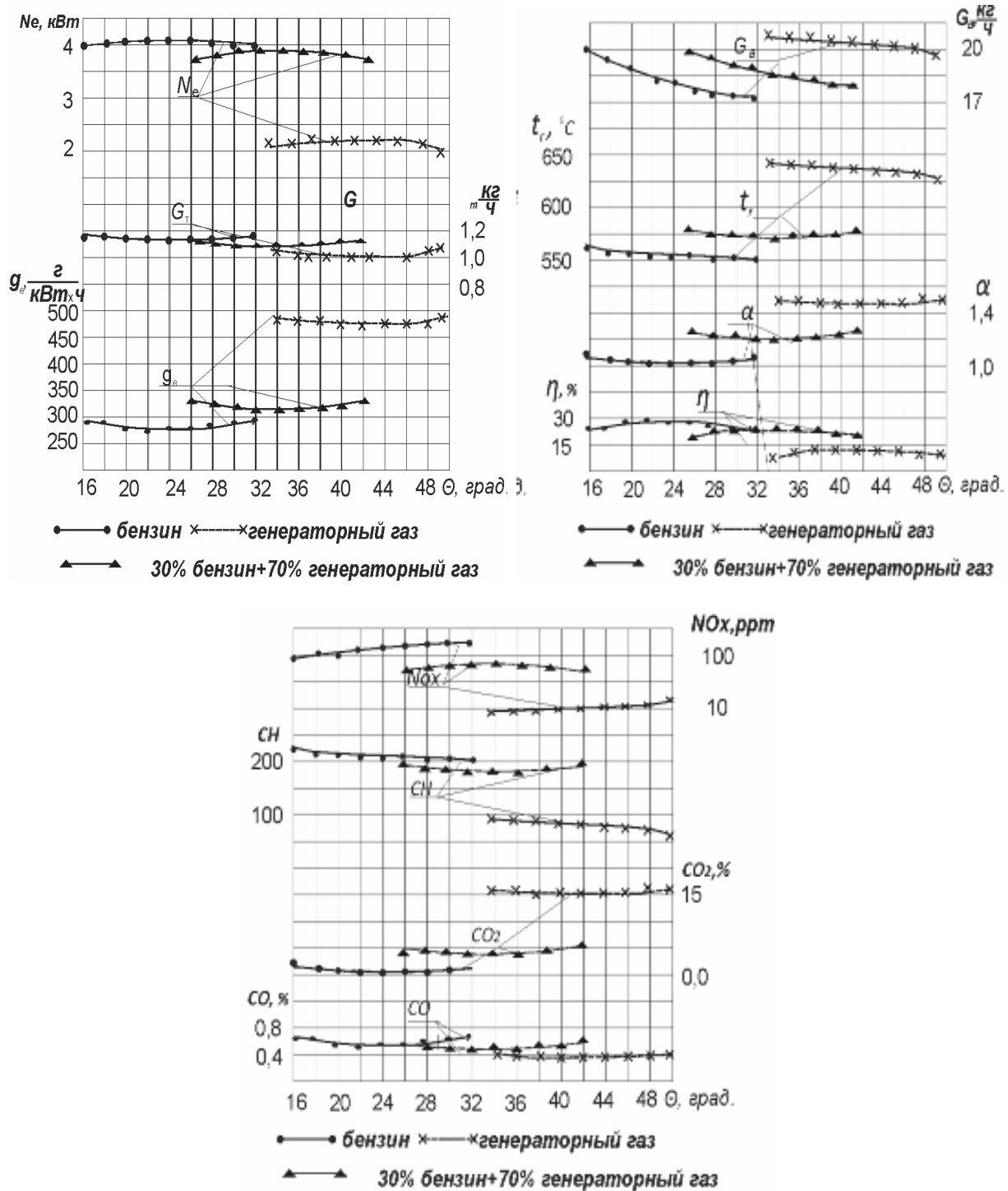


Рис. 5. Регулировочные характеристики двигателя 14 6,8/5,4 при  $n=3000 \text{ мин}^{-1}$



Характерной особенностью сгорания ГГ является необходимость подачи большего количества воздуха в рабочей смеси, чем при работе на бензине ( $\alpha = 1,45$  и  $\alpha = 1,0$  соответственно при проведении экспериментов). При работе на смеси ГГ+Б коэффициент избытка воздуха равен  $\alpha=1,2$ .

При работе на ГГ наблюдается значение эффективного КПД, равное 14%, что ниже в 2 раза, чем на бензине (29%), при работе на смеси ГГ+Б значение эффективного КПД составляет  $\eta=23\%$ . При этом максимум эффективного КПД достигается при оптимальном УОЗ.

Значение УОЗ напрямую влияет и на показатели токсичности (рис. 5). При увеличении УОЗ выбросы суммарных оксидов азота  $\text{NO}_x$  повышаются, а выбросы несгоревших углеводородов  $\text{CH}$  снижаются. УОЗ также влияет на показатели выбросов углекислого газа  $\text{CO}_2$ . При работе двигателя на смеси ГГ+Б наблюдается рост  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  при определенных значениях углов  $\Theta_3$ . Полученные результаты требуют дальнейшего изучения с целью определения природы данного явления.

Проведённые экспериментальные исследования выявили возможность использования смеси ГГ и бензина для искровых ДВС и позволили сформулировать следующие *выводы*:

1. Использование генераторного газа как моторного топлива в чистом виде вызывает ухудшение эффективных показателей работы двигателя. Целесообразно использовать смесь генераторного газа и бензина.

2. Работа двигателя на чистом генераторном газе вызывает снижение эффективной мощности на 40-45%, при работе на смеси генераторного газа и бензина это снижение составляет 10-15%.

3. Работа двигателя на чистом генераторном газе вызывает увеличение продолжительности процесса сгорания по сравнению с работой на бензине и снижение максимального давления цикла.

4. Оптимальное значение угла опережения зажигания при работе на генераторном газе для данного двигателя составляет  $40^\circ$ , а для смеси генераторного газа и бензина  $33^\circ$ .

### Библиографический список

1. Палицын, А.В. Современное состояние и перспективы развития газификации биомассы как направления альтернативной энергетики / А.В. Палицын, А.С. Зубакин, В.М. Механиков // Вузовская наука – региону: мат. XI Всеросс. науч.-техн. конф. – 2013. – С. 201–204.
2. Плотников, С.А. Улучшение эксплуатационных показателей дизелей путем создания новых альтернативных топлив и совершенствования топливоподающей аппаратуры: дисс. ... в 2 ч.; Ч. 1 / Плотников С.А.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011.
3. Пат. РФ № 2605870, МКИ<sup>7</sup> F02B43/08. Система питания ДВС генераторным газом / Плотников С.А., Острецов В.Н., Киприянов Ф.А., Палицын А.В., Зубакин А.С., Коротков А.Н.
4. Плотников, С.А. Исследование электростанции, работающей на альтернативном топливе / С.А. Плотников, А.С. Зубакин, А.Н. Коротков // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: по матер. IX Международной научно – практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение». – Киров, 2016. – Вып. 17. – С. 220–224.
5. Плотников, С.А. Некоторые результаты применения альтернативных топлив для снижения токсичности ДВС. ОБЩЕСТВО, НАУКА, ИННОВАЦИИ. (НПК-2016) [Электронный ресурс] С.А.Плотников, А.С. Зубакин // Всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18-29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. – Киров, 2016. – С. 1352–1357.
6. Sridhar, G. Biomass derived producer gas as a reciprocating engine fuel-an experimental analysis / G. Sridhar, P.J. Paul, H.S. Mukunda // Biomass and Bioenergy, 2001. – № 21. – P. 61–72.

*Дата поступления  
в редакцию 22.08.2017*

**S.A. Plotnikov, A.S. Zubakin**

## **INVESTIGATION OF THE ENGINE WORKING PROCESS USING GENERATOR GAS ADDITIVES**

Vyatka State University (Kirov)

**Subject:** Generator gas is a promising alternative fuel. But the operation of the ICE on the generator gas is accompanied by a decrease in the developed power. The solution to this problem is the addition of gasoline to the generator gas.

**Purpose:** The study of combustion processes, the determination of the optimal ignition timing, the analysis of characteristics - the purpose of this work.

**Objectives:** Among the tasks set is the modernization of the test stand for the operation of the internal combustion engine on the generator gas.

**Methodology:** The procedure for conducting the experiments was selected taking into account the specific features of the ICE for driving the generator on the generator gas.

**Results:** The result of the work is the determination of optimal control characteristics when working on different types of fuel. The obtained optimal ignition timing is: on the generator gas - 400, for a mixture of generator gas and gasoline -330.

*Key words:* Gas generator, display indicators, specifications on generator gas, combustion in internal combustion engines, indicator diagram.