

УДК 621.43

Штиб Алексей Викторович¹, старший преподаватель, аспирант.
e-mail: shtib93@mail.ru

Ведрученко Виктор Родионович², д.т.н, профессор
e-mail: vedruchenkovr@mail.ru

¹ Омский институт водного транспорта филиал ФГБОУ ВО «СГУВТ» г. Омск, Россия.

² Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Россия.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА Пониженной вязкости в сренеоборотных судовых и тепловозных дизелях

Аннотация. Выполнен анализ способов расчета рабочего процесса в дизелях, учитывающих свойства топлива. Предложена методика, позволяющая расчетом оценить влияние физических свойств на мощность и экономические показатели дизельного двигателя. Приведена графическая интерпретация рабочего цикла, горения топлива и изменения давления. Проанализировано влияние свойств жидких стандартного и альтернативного топлив на параметры рабочего процесса. Проанализированы результаты численного моделирования индикаторного процесса дизеля на смеси газового конденсата и стандартного дизельного топлива.

Ключевые слова: дизельное топливо, газовый конденсат, индикаторный процесс, горение топлива.

Процессы смесеобразования и сгорания являются ключевым звеном в цепи преобразования химической энергии, содержащейся в топливе, в механическую энергию, которая может быть использована для работы. Принимая во внимание возрастающие экологические требования, которые также являются значимым барьером развития двигателестроения, преодоление которых может влиять на дальнейшее развитие тепловозных и судовых дизелей, в которых происходит процесс горения топлива [1].

В данный момент в мире наблюдается большой рост интереса исследования, связанного с поиском более эффективных процессов преобразования химической энергии в механическую энергию, более эффективных как с точки зрения экологии, так и энергетики. Проводимые исследования направлены на лучшее понимание явлений, связанных с распылением топлива и его сгорания и последующим управлением этими процессами.

Более подробное рассмотрение и описание этих явлений и процессов приведет к нахождению новых, более эффективных методов управления процессом сгорания. Учитывая необходимость соблюдения производителями двигателей внутреннего сгорания, предусмотренных стандартов выбросов токсичных веществ, интерес к исследованиям процессов сгорания будет в ближайшие годы возрастать [1].

Одним из путей совершенствования показателей дизельного двигателя является постоянное улучшение процессов, составляющих рабочий цикл. Проведенные теоретические исследования рабочих циклов двигателей показали, что важно добиваться в каждом конкретном типе двигателя оптимального протекания процесса сгорания [2].

Протекание рабочего процесса дизелей наряду с конструктивными особенностями также определяется и физико-химическими свойствами применяемого топлива. При этом следует отметить, что работа дизеля на различных топливах, отличающихся по своим

физико-химическим свойствам от традиционных, диктуется необходимостью расширения номенклатуры дизельных топлив и обеспечения «всеядности» самого двигателя [3].

Основные задачи при исследовании рабочего процесса состоят в установлении зависимостей основных его показателей от различных конструктивных факторов и выборе такого сочетания конструктивных параметров, при которых достигаются наилучшие показатели рабочего процесса.

При переводе дизеля на маловязкое топливо, по способу впрыска оптимальным решением является сохранение его основных параметров, таких как мощность и экономичность двигателя. На практике в процессе эксплуатации судовых дизелей часто появляется необходимость использования различных видов топлива, которые различаются между собой физико-химическими свойствами. А это, в свою очередь, требует изменения некоторых регулировочных параметров при эксплуатации двигателя. Одним из таких параметров является давление начала впрыска топлива в форсунке. Так, установленное оптимальное значение давления начала впрыска топлива в форсунке при работе с одним видом топлива для другого вида не является оптимальным, т.к. с изменением вида топлива изменяется его плотность и вязкость, которые, в свою очередь влияют на качество распыливания. Поддержание качества распыливания на требуемом уровне при работе двигателя на различных видах топлив можно частично компенсировать изменением давления начала впрыска топлива в форсунке [4].

В нашей стране в качестве дизельного топлива или его компонента используют газовые конденсаты (ГК), добыча которых непрерывно увеличивается, и их использование, особенно в отдаленных районах страны, является важным и экономически выгодным делом [5].

В статье выполняется исследование рабочего процесса дизельного двигателя 6ЧН18/22 на смеси дизельного топлива и газового конденсата в различных пропорциях, добываемого на Уренгойском месторождении.

Основные характеристики газового конденсата Уренгойского месторождения [6]:

- Плотность при 20 °С 869 кг/м³;
- Вязкость кинематическая при 20 °С не менее 5,14 мм²/с;
- Цетановое число: 37;
- Температура застывания: -68 °С;
- Содержание серы: 0,012%

В таблице 1 приведены некоторые физико-химические показатели смесей газового конденсата (ГК) Уренгойского месторождения и дизельного топлива (ДТ) в различных соотношениях. Плотность и вязкость, как известно, является одними из основных показателей качества топлива, что оказывает большое влияние на нормальную работу топливной аппаратуры дизеля. При их повышенных значениях ухудшаются процессы распыливания и смесеобразования, а при малых значениях наблюдается падение мощности двигателя и увеличение износа прецизионных деталей топливной аппаратуры [7,8].

Таблица 1

Некоторые физико-химические показатели смесей газового конденсата (ГК) дизельным топливом (ДТ)

Наименование параметра	Обозначение	Состав смеси				
		ДТ	75 % ДТ + 25 % ГК	50 % ДТ + 50 % ГК	25 % ДТ + 75 % ГК	ГК
Кинематическая вязкость при 20 °С	мм ² /с	3	-	-	-	1,4
Плотность при 20°С	кг/м	86	830	822		772



	³	0				
Цетановое число	-	45	-	-	-	46
Температура вспышки в закрытом тигле	°С	62	48	35	27	11
Низшая теплота сгорания	Дж/кг	42,5	-	-	-	43,42

Исследование рабочего цикла дизеля проводилось нами на персональном компьютере с помощью программы «Triton», разработанной в Сибирском государственном университете одного транспорта (СГУВТ) С.А. Калашниковым и Б.О. Лебедевым [9].

В таблице 2 указаны характеристики топливных смесей, полученные расчетом исходя из процентного содержания смеси (по правилу аддитивности).

Для проведения анализа рабочего цикла в программу были введены следующие параметры топлив и смесей представленные в таблице 3.

Таблица 2

Характеристики топливных смесей

Характеристика смеси	100% дизельного топлива (ДТ)	75% ДТ + 25% ГК	50% ДТ + 50% ГК	25% ДТ + 75% ГК
Плотность, кг/м ³	850	830	811	791
Содержание углерода, %	0,861	0,852	0,845	0,837
Содержание водорода, %	0,132	0,137	0,141	0,145
Содержание кислорода, %	0,002	0,004	0,008	0,010
Содержание серы, %	0,005	0,008	0,007	0,006

Таблица 3

Данные, используемые в расчете параметров работы дизеля

№ п/п	Параметр	Размерность	Обозначение	Значение
1	Мощность	кВт	N_e	225,0
2	Частота вращения коленчатого вала	мин ⁻¹	n	750
3	Номинальная степень сжатия	–	ε	13,4
4	Диаметр цилиндра	мм	D	180
5	Ход поршня	мм	S	220
6	Длина шатуна	мм	$L_{ш}$	440
7	Удельный эффективный расход топлива	г/кВт·ч	g_e	224,0
8	Максимальное давление сгорания	кг/см ²	P_z	60,0
9	Число цилиндров	шт	–	6,0
10	Атмосферное давление	мм.рт.ст.	P_a	760,0
11	Температура атмосферного воздуха	°С	T_a	20,0
12	Относительная влажность воздуха	%	–	60,0
13	Коэффициент износа поршневых колец	–	–	0
14	Заданная частота вращения	мин-1	n	750,0



15	Давление наддува	кг/см ²	P_n	0,5
16	Диаметр распыливающего отверстия	мм	–	0,35
17	Температура надувочного воздуха	°С	T_n	0
18	Угол опережения впрыска топлива	°ПКВ	–	20
19	Число распыливающих отверстий	шт	–	8,0
20	Среднее давление впрыска топлива	МПа	$P_{вн}$	30,0

Программа "TRITON" позволяет произвести расчет цикла дизеля и получить индикаторные диаграммы, максимально приближенные к действительным индикаторным диаграммам, которые можно снять с помощью индикатора непосредственно на работающем дизеле [2,6,9,11].

Результаты расчета в программе «Triton» представлены на рис. 2.3÷2.6.

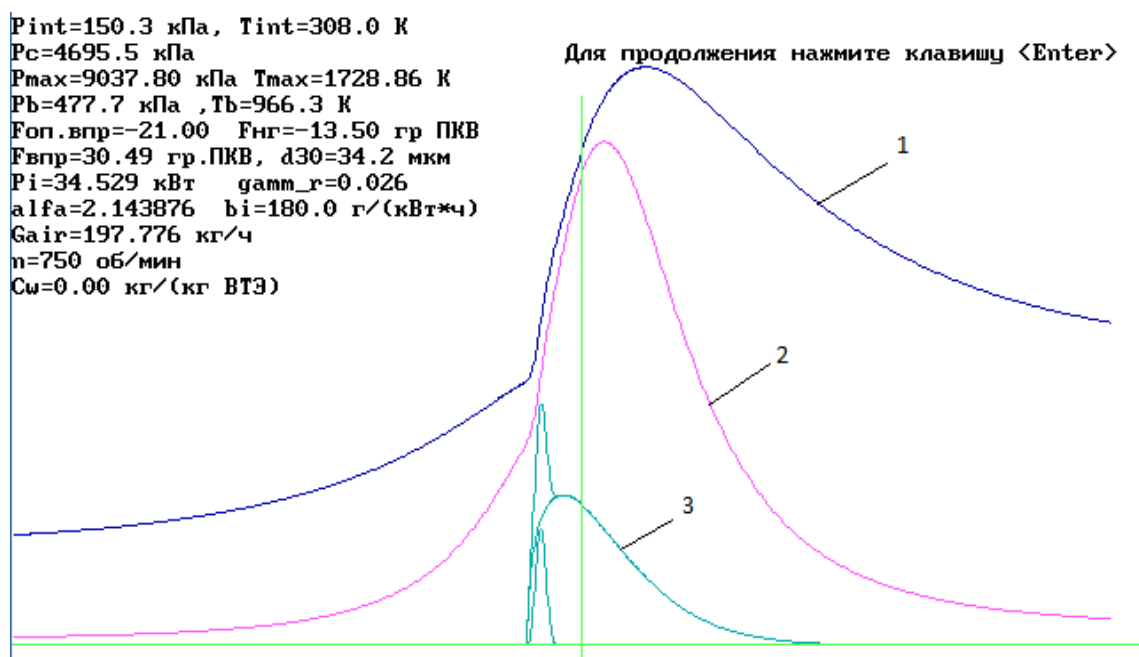


Рисунок 1 – Диаграмма рабочего процесса двигателя при работе на дизельном топливе:

- График №1 – изменение работы цикла; График №2 – изменение давления газов; График №3 – процесс выгорания топлива.

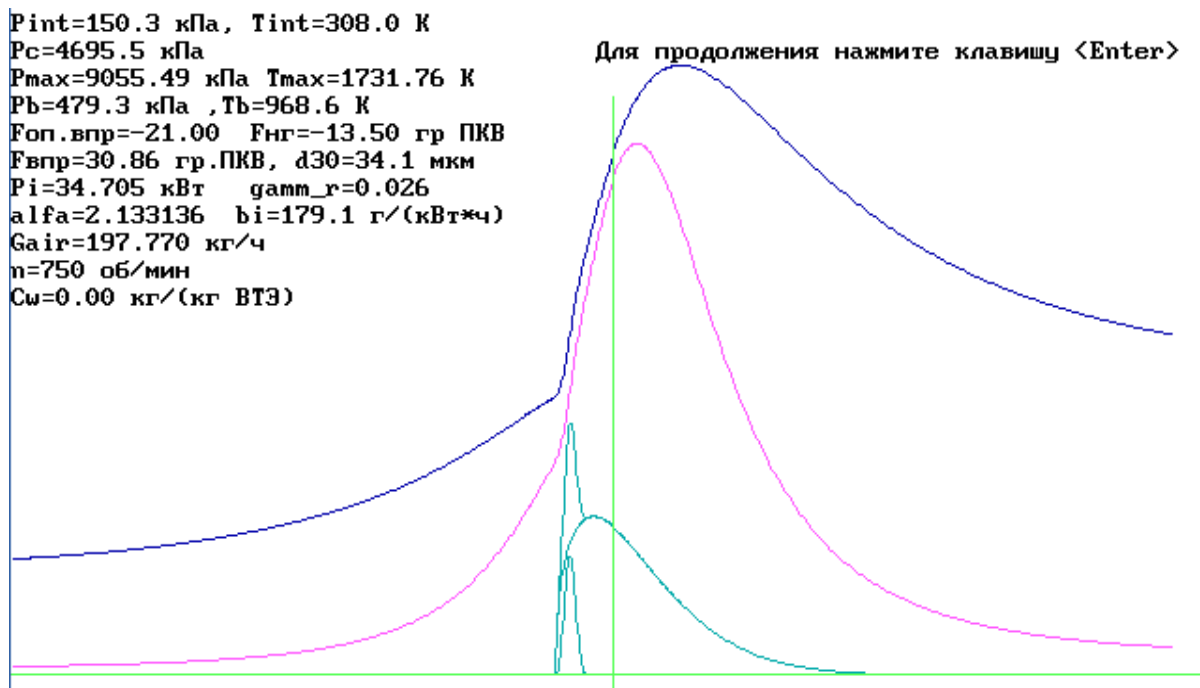


Рисунок 2 – Диаграмма рабочего процесса двигателя при работе на смеси 75% ДТ и 25% ГК

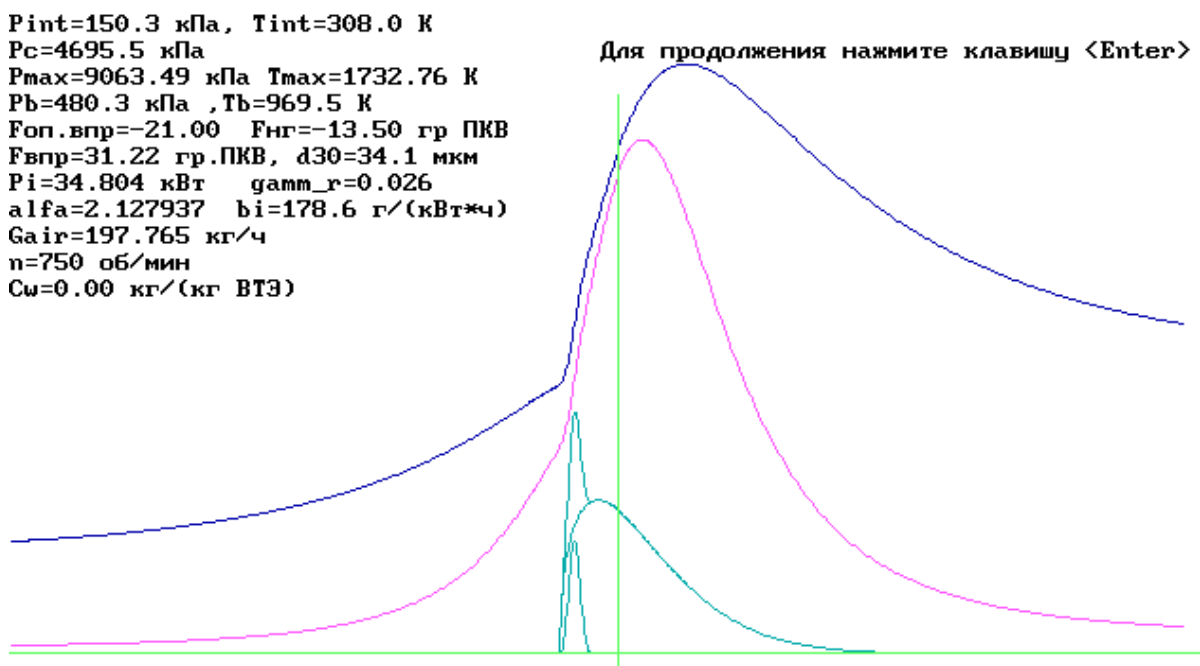


Рисунок 3 – Диаграмма рабочего процесса двигателя при работе на смеси 50% ДТ и 50% ГК

$P_{int}=150.3$ кПа, $T_{int}=308.0$ К
 $P_c=4695.5$ кПа
 $P_{max}=9108.70$ кПа $T_{max}=1737.56$ К
 $P_b=481.2$ кПа, $T_b=970.4$ К
 $F_{оп.впр}=-21.00$ $F_{нг}=-13.75$ гр ПКВ
 $F_{впр}=31.61$ гр.ПКВ, $d_{30}=34.0$ мкм
 $P_i=34.837$ кВт $\gamma_{амп_r}=0.026$
 $\alpha=2.123183$ $b_i=178.4$ г/(кВт·ч)
 $G_{air}=197.760$ кг/ч
 $n=750$ об/мин
 $C_w=0.00$ кг/(кг ВТЭ)

Для продолжения нажмите клавишу <Enter>

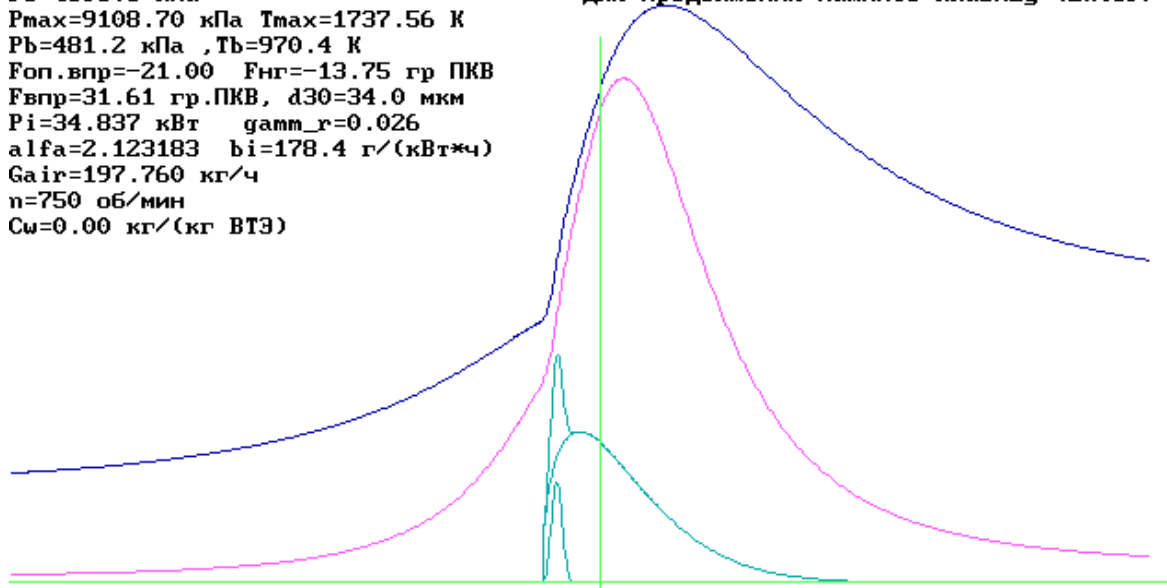


Рисунок 4 – Диаграмма рабочего процесса двигателя при работе на смеси 25% ДТ и 75% ГК

На основании полученных значений строится график зависимости основных параметров рабочего цикла дизеля от значения содержания ГК в смеси и определяется оптимальное значение содержания ГК в смеси. Значение параметров процесса сгорания при изменении содержания ГК в смеси приведены в (таблице 4.)

Таблица 4

Значение параметров процесса сгорания при изменении содержания ГК в смеси.

Содержани я ГК в смеси, %	100% ДТ	75% ДТ + 25% ГК	50% ДТ + 50% ГК	25% ДТ + 75% ГК
P_{max} , кПа	9037,8	9055,49	9063,49	9108,7
T_{max} , К	1728,86	1731,76	1732,76	1737,56
b_i , г/кВт·ч	180,0	179,1	178,6	178,4

При содержании ГК в топливе 75%, расход топлива наименьший, однако температура и давление цикла имеют наибольшее значение.

Наиболее выгодным режимом является режим работы дизеля на смеси: 50% ДТ и 50% ГК. Параметры данного режима работы на смеси незначительно отличаются от параметров работы на дизельном топливе. Способствует увеличению ресурса дизельного топлива и уменьшению загрязнений окружающей среды.

Индикаторная диаграмма, снятая тем или иным типом индикатора с цилиндра дизеля, является наиболее достоверной информацией о процессах сгорания, топливоподачи и тепловыделения в двигателе и позволяет при соответствующей математической обработке получить весь комплекс показателей и параметров рабочего процесса [10].

Использование ПЭВМ и соответствующего программного обеспечения позволяет существенно сократить затраты времени и средств на доводку рабочего процесса дизеля, работающего на разных сортах топлива, в том числе альтернативного [6,9,11].

Список литературы:

1. Масленников, Д. А. Моделирование процессов сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / Д. А. Масленников, // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике / Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону. – 2018. – № 1. – С. 35 – 40.
2. Ведрученко, В. Р. Разработка приближенной математической модели связи процессов впрыска и сгорания топлива в дизельных энергетических установках локомотивов [Текст] / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, Е. С. Лазарев // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2014. – № 4 (20). – С.18 – 28.
3. Фофанов, Г. А. Альтернативные виды топлива на подвижном составе железнодорожного транспорта [Текст] / Г. А. Фофанов, Д. Н. Григорович, А. С. Нестрахов // Труды ВНИИЖТа / Научно-исследовательский ин-т ж.-д. трансп. – М., 2008. – 143 с.
4. Ведрученко, В.Р. О влиянии типа камеры сгорания на рабочий процесс дизеля при использовании альтернативных видов топлива [Текст] / В.Р. Ведрученко, Н.В Жданов, Е.С. Лазарев, // Омский научный вестник. – Омск. – 2014. - № 1 – С 156-160.
5. Марков, В. А. Работа дизелей на традиционных топливах / В. А. Марков[и др.]. – М. : Легион-Автодата, 2008.– 416 с.
6. Ведрученко, В. Р. Альтернативные виды топлива для судовых дизелей: монография [Текст] / В. Р. Ведрученко, И. И. Малахов. - Омск: Омский институт водного транспорта (филиал) НГАВТ, 2012. - 173 с.
7. Глазунов А.М., Мозырев А. Г., Гуров Ю.П., Запорожан Д.В. / Газовый конденсат как источник получения дизельного топлива / Известия высших учебных заведений. «Нефть и газ» №1 2018 С.106-112.
8. Бабаев Г.М. Некоторые результаты исследования работы судового дизеля при использовании газоконденсатных топлив /Азербайджанская государственная морская академия / Восточно-европейский журнал передовых технологий №8 (75) 2015. С. 40-43.
9. Ведрученко, В. Р. Методика индицирования среднеоборотного судового дизеля [Текст] / В. Р. Ведрученко // Передовой опыт и новая техника: Сб. ЦБНТИ МРФ / Центральное бюро научно-технической информации Минречфлота. – М., 1981. – Вып. 4. – С. 37 – 42.
10. Жуков, В. П. Математическая модель связи процессов впрыска и тепловыделения [Текст] / В. П. Жуков, А. М. Павличенко // Судовые силовые установки: Сб. науч. тр. / Николаевский кораблестроительный ин-т. – Николаев, 1977. – Вып. 120. – С. 65 – 72.
11. Штиб, А.В. О моделировании рабочего процесса судового дизеля при использовании в качестве топлива газового конденсата Уренгойских месторождений [Текст] / А.В. Штиб, В. Р. Ведрученко //Омский научный вестник. – Омск. – 2019. - № 4 – С 17-22.

MODELING OF THE COMBUSTION PROCESS OF LOW-VISCOSITY FUEL IN LOW-SPEED MARINE AND DIESEL ENGINES

A. Stib, V. Vedruchenko

Abstract. The analysis of methods for calculating the workflow in diesel engines, taking into account the properties of fuel, is carried out. A method is proposed that allows calculating the effect of physical properties on the power and economic performance of a diesel engine. A graphical interpretation of the working cycle, fuel gorenje and pressure changes is given. The influence of the properties of standard and alternative liquid fuels on the parameters of the working process is analyzed. The results of numerical simulation of the diesel indicator process on a mixture of gas condensate and standard diesel fuel are analyzed.



Keywords: diesel fuel, gas condensate, indicator process, fuel gorenje.

