

РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОГО СОСТАВА РАБОЧЕЙ МАССЫ ТОПЛИВА

С.П. Титов, аспирант

Государственная морская академия им. адм. С.О. Макарова

Точность определения массы отработавших газов методом углеродного и углерод-кислородного баланса зависит от точности определения элементарного состава топлива.

Для определения элементарного состава рабочей массы топлива был разработан расчетный метод на основе паспортных и калориметрических характеристик топлива. Проведено сравнение результатов расчета с данными лабораторных анализов.

Данное сравнение показало, что ожидаемая ошибка расчета массовой доли углерода в топливе составит не более $\pm 0,2\%$.

При проведении сертификационных испытаний двигателей на стенде завода-изготовителя или в условиях эксплуатации на соответствие требованиям правила 13 Приложения IV к конвенции МАРПОЛ 73/78 и «Технического кодекса по контролю за выбросами оксидов азота от судовых дизелей» измерение расхода отработавших газов может производиться методом непосредственных измерений и методом углеродного или углерод-кислородного балансов. В связи с тем что точность непосредственных измерений зависит от множества факторов (точность используемого оборудования, погрешность оператора и т. д.), рекомендуется проводить измерение расхода отработавших газов методом углеродного или углерод-кислородного балансов [1].

Согласно методике, описанной в Техническом кодексе, расчет массы отработавших газов методом углеродного баланса выполняется по формуле:

$$G_{EXHW} = \frac{GFUEL \cdot BET \cdot EXHDENS \cdot 10^4}{AWC} \times \frac{1}{\left(\frac{CO_2W \cdot 10^4}{MVCO_2} + \frac{COW}{MVCO} + \frac{HCW}{MVHC} + \frac{CW}{AWC} \right)},$$

где G_{EXHW} — масса отработавших газов, кг/ч; $GFUEL$ — часовой расход топлива, кг/ч; $EXHDENS$ — плотность «влажных» отработавших газов, кг/м³; BET — массовая доля углерода, %

(по массе); AWC — атомная масса углерода, а. е. м.; CO_2W — концентрация CO_2 во «влажных» газах, % (по объему); $MVCO_2$ — молекулярный объем CO_2 , приведенный к нормальным атмосферным условиям, дм³/моль; COW — концентрация CO во «влажных» газах, % (по объему); $MVCO$ — молекулярный объем CO , приведенный к нормальным атмосферным условиям, дм³/моль; HCW — концентрация углеводородов CH во «влажных» газах, млн⁻¹; $MVHC$ — молекулярный объем углеводородов CH , приведенный к нормальным атмосферным условиям, дм³/моль; CW — концентрация сажи во «влажных» газах, г/дм³; AWC — молекулярная масса сажи, г/моль.

Из представленного выражения видно, что для выполнения расчета отработавших газов по методу углеродного баланса необходимо знать: состав отработавших газов, расход топлива и его элементарный состав (массовую долю углерода).

В условиях стендовых испытаний в соответствии с «Техническим кодексом» требуется проведение испытаний на эталонном топливе или топливе группы DM (дистиллятные сорта топлив), отвечающем требованиям стандарта ИСО 8217:1996(E) [2]. В условиях эксплуатации сложно обеспечить проведение испытаний на эталонном топливе и не всегда удается получить анализ элементарного состава. В документах, поставляемых на судно (паспорт или бункерная расписка) вместе с партией топлива, не указывается его полный элементарный состав, а, как правило, только основные эксплуатационные качества. Для расчета элементарного состава рабочей массы топлива по данным сертификата был разработан упрощенный метод, который описан в стандарте ISO 8178-5:1997(E) [3], позволяющий определить массовые доли водорода и углерода в жидком топливе.

Элементарный состав рабочей массы жидкого органического топлива состоит из семи компонентов: углерода, водорода, кислорода, азота, серы, золы и влаги [4]. Основной средний элементарный состав нефтяного топлива, согласно справочным данным [5, 6], изменяется в следующих пределах (%): углерод — 83–87; водород — 12–14; сера — 0,1–5; кислород — 0,1–1; азот — 0,1–0,2.

В сочетании указанные элементы образуют множество различных классов органических соединений, преимущественно углеводородов. Углеводородный состав нефтепродуктов качественно и количественно определяется природой сырья и способом нефтепереработки. Соотношение в топливе отдельных классов углеводородов в конечном итоге обуславливает его эксплуатационные качества, определяющиеся на основании лабораторных опытов, которые проводят с представительской пробой данного топлива. На основании результата анализов на данное топливо составляется паспорт, включающий эти характеристики.

Расчетный метод, предлагаемый в стандарте ISO 8178-5:1997(E)

1. Расчет массовой доли водорода в топливе:
 $H = (26 - 15 \cdot \rho) \cdot [1 - 0,01 \cdot (S + N)]$ (%),

где ρ — плотность топлива при 15 °C, г/см³, S и N — массовые доли серы и азота (%) в топливе.

2. Расчет массовой доли углерода в топливе:
 $C = 100 - (H + S + N)$ (%).

Недостаток упрощенной стандартной методики состоит в том, что она не позволяет провести расчет содержания кислорода в топливе. При расчете массовых долей водорода и углерода упрощенная методика не учитывает содержание в топливе массовых долей кислорода, воды и золы. Перечисленные недостатки учтены в предлагаемой усовершенствованной методике расчета элементарного состава топлива.

Методика определения элементарного состава топлива по паспортным характеристикам

1. Расчет массовой доли водорода в топливе определяем по формуле, предложенной в стандарте ISO 8178-5:1997(E).

2. Расчет массовой суммарной доли, $SUM_{(C+O)}$, углерода и кислорода в топливе:

$$SUM_{(C+O)} = 1 - (H + N + S + A + W),$$

где H, N, S, A, W — массовые доли водорода, азота, серы, золы и воды в топливе.

3. Расчет отношения массовой доли углерода к массовой доле кислорода, z:

$$z = \frac{1000 \cdot Q_H - 102976 \cdot H - 10884 \cdot S + 2512 \cdot W + 10884 \cdot SUM_{(C+O)}}{102976 \cdot H + 10884 \cdot S - 2512 \cdot W + 33907 \cdot SUM_{(C+O)} - 1000 \cdot Q_H},$$

где Q_H — низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

4. Расчет массовой доли O в топливе:

$$O = \frac{SUM_{(C+O)}}{z + 1}.$$

5. Расчет массовой доли C в топливе:

$$C = z \cdot O.$$

Значение низшей теплоты сгорания не всегда указывается в выше перечисленных документах. Тогда ее следует определить по эмпирической формуле, предложенной в стандарте ISO 8217:1996(E):

$$Q_H = (46,704 - 8,802 \cdot \rho^2 \cdot 10^{-6} + 3,167 \cdot \rho \cdot 10^{-3}) \times [1 - (W + A + S)] + 9,420 \cdot S - 2,449 \cdot W.$$

В таблице приводится сравнение результатов расчетов, выполненных по рассмотренным методикам для топлив с различными эксплуатационными свойствами.

Известно, что при ошибке в 1% при определении содержания массовой доли углерода в топливе метод углеродного баланса дает погрешность расчета объема отработавших газов в 1 % [3]. Ожидаемая ошибка расчета массовой доли

Сравнение результатов расчета состава топлива по различным методикам

Свойства и характеристики топлива	Расчетный состав топлива	Лабораторный анализ (% по массе)	Расчет по методике ISO 8178-5:1997(E) (% по массе)	Расчет по предлагаемой методике (% по массе)
ρ — 827,3 кг/м ³ ; Q_H — 43,027 МДж/кг; содержание в топливе: воды — 0,0015 %; золы — 0,001 %; серы — 0,0001 %; азота — 0,000 %	водород	13,66	13,59	13,59
	углерод	85,74	86,41	85,81
	кислород	0,6	—	0,59
ρ — 889,5 кг/м ³ ; Q_H — 41,807 МДж/кг; содержание в топливе: воды — 0,0020 %; золы — 0,005 %; серы — 1,4500 %; азота — 0,050 %	водород	12,52	12,46	12,66
	углерод	84,89	86,03	84,74
	кислород	1,08	—	1,09
ρ — 978,7 кг/м ³ ; Q_H — 40,262 МДж/кг; содержание в топливе: воды — 0,5000 %; золы — 0,100 %; серы — 1,8400 %; азота — 0,100 %	водород	11,25	11,09	11,32
	углерод	84,53	86,96	84,38
	кислород	1,68	—	1,76

углерода в топливе по предлагаемой методике составит не более $\pm 0,2$ %.

Выводы

➤ Разработанная методика позволяет в условиях эксплуатации с достаточной точностью определить элементарный состав рабочей массы топлива без лабораторного анализа.

➤ Сравнительный анализ результатов расчета элементарного состава (см. таблицу) вы-

полненного по различным методикам показывает, что предлагаемая методика дает более точные результаты по сравнению с упрощенной методикой, предложенной в стандарте ISO 8178-5:1997(E).

➤ Методика позволяет определить содержание кислорода в топливе и возможность использования при определении массы отработавших газов методом углерод-кислородного баланса.

Литература

1. ГОСТ Р 51249-99. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения.

2. ISO 8217:1996(E) Petroleum products — Fuels (class F) — Specifications of marine fuels.

3. ISO/FDIS 8178 — 5 Reciprocating internal combustion engines — Exhaust emission measurement — Part 5: Test fuels.

4. Енин В.И. Судовые паровые котлы: учебник

для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт. 1984. — 248 с.

5. Анализ физико-химических показателей качества нефтепродуктов для судовых энергетических установок. Методические рекомендации. — М.: В/О «Мортехинформреклама», 1988. — 52 с.

6. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справ. изд. / К.М. Бадыштова, Я.А. Берштадт, Ш.К. Богданов и др.; Под ред. В.М. Школьниковой. — М.: Химия, 1989. — 432 с.: ил.

ЮБИЛЕЙ!



Андрею Станиславо́вичу Калюно́ву 50 лет

17 декабря 2007 г. исполнилось пятьдесят лет

Андрею Станиславовичу Калюнову,
главному конструктору ОАО ХК «Барнаултрансмаш»,
члену редакционной коллегии журнала «Двигателестроение»

Андрей Станиславович Калюнов — выпускник Алтайского политехнического института им. И.И. Ползунова. В 1980 г., получил диплом и направление на завод Трансмаш, где проявил себя знающим и энергичным специалистом. Уже в 1986 г. он был назначен начальником конструкторского бюро, затем заместителем технического директора по новой технике, а в 1998 г. стал главным конструктором завода.

При непосредственном участии и под руководством А.С. Калюнова был выполнен ряд значимых для предприятия разработок. Проведены работы по модернизации серийных дизелей Ч, ЧН15/18, обеспечившей им современный уровень технических характеристик, разработаны новые базовые модификации двигателей семейства УТД (УТД-23, УТД-32), поставлены на производство новые модификации главных судовых двигателей, реверс-редукторных передач и дизель-генераторных установок.

Деловые качества и организаторские способности А.С. Калюнова проявились на всех ступенях творческого и профессионального роста. Как руководитель технической службы завода он способствует сохранению и развитию инженерных и производственных служб предприятия, большое внимание уделяет раскрытию творческого потенциала и воспитанию молодых специалистов.

Заслуги А.С. Калюнова в развитии отечественного дизелестроения отмечены медалью «За трудовое отличие», присвоением звания «Почетный машиностроитель России».

*Коллектив ОАО ХК «Барнаултрансмаш» и редакция журнала «Двигателестроение»
поздравляют Андрея Станиславовича с юбилеем и желают ему здоровья, благополучия
и новых успехов в деле создания современной техники*