



ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОПТИМИЗАЦИЮ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

ВЛИЯНИЕ НА МЕТЕОРОЛОГИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА ГОРЕНЕТО

INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON OPTIMIZATION IN COMBUSTION

член-корр. НАН Украины, проф., д.т.н. Бабак В.П.*, аспирант, м.н.с. Запорожец А.А.*, аспирант, Редько А.А.**

*Институт технической теплофизики НАН Украины – Киев, Украина

** Национальный авиационный университет

art.morco@gmail.com

ABSTRACT: Considered the influence of meteorological parameters (temperature, pressure, humidity) on oxygen quantitative content in the air. Showed the bias that introduced with not accounting the parameter of the oxygen current concentration in the air during the energy calculations in the power system. On the basis of experimental data established the dependence of oxygen volume concentration in the air from meteorological parameters (temperature, pressure, humidity). Analyzed the seasonal changes of oxygen concentration in the air in 12 European capitals (based on 2014 year): Brussels (Belgium), Paris (France), Berlin (Germany), Vienna (Austria), London (United Kingdom), Helsinki (Finland), Warsaw (Poland), Bucharest (Romania), Prague (Czech Republic), Sofia (Bulgaria), Riga (Latvia), Rome (Italy). Proposed the method for eliminating the methodical error of the excess air ratio measurement based on current oxygen volume concentration in the environment.

KEYWORDS: METEOROLOGY, TEMPERATURE, PRESSURE, HUMIDITY, OXYGEN CONCENTRATION, AIR, OPTIMIZATION, COMBUSTION, BOILER

1. Введение

Современные реалии в энергетике требуют от человечества эффективно и рационально использовать весь имеющийся топливный потенциал, поэтому одной из важнейших задач является оптимизация процесса сжигания топлива. Выбор оптимального режима сжигания топлива может осуществляться только на основании точных и оперативных данных о содержании дымовых газов.

При сжигании горючих материалов также необходимо правильно регулировать поступление воздуха в камеру сгорания (двигатель, топка котлоагрегата, печь и т.п.). Если воздуха будет поступать мало, то кислорода для полного сгорания топлива станет недостаточно, что приведет к образованию ряда побочных продуктов (СО, Н₂, С, NO_x и др.). Очевидно, что такое сжигание приводит к чрезмерному расходу топливных ресурсов и ухудшению экологической ситуации. Для того, чтобы обеспечить процесс полного сгорания топлива нужно подводить достаточное количество воздуха, при этом избыток воздуха в камере сгорания также недопустим, так как в этом случае значительная часть тепла расходуется на нагрев воздуха, который не участвовал в химической реакции горения.

На практике для определения эффективности и экономичности процесса горения используют коэффициент избытка воздуха (КИВ, α), который определяется как отношение действительного расхода воздуха V_p к его теоретическому значению V_t . Значение КИВ зависит от вида сжигаемого топлива, конструкции горелочного и топочного устройства и обычного находится в пределах 1,05...1,5.

Наиболее точно этот коэффициент определяется по «азотной формуле», которая для случая полного сжигания топлива имеет вид:

$$(1) \alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76 \cdot O_2},$$

де N_2 , O_2 – содержание азота и кислорода в сухих продуктах горения, об. %, 3,76 – соотношение содержаний азота и кислорода в воздухе.

При неполном сгорании топлива «азотная» формула приобретает следующий вид:

$$(2) \alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76 \cdot (O_2 - 2 \cdot CH_4 - 0,5 \cdot CO - 0,5 \cdot H_2)},$$

где CH_4 , CO и H_2 – содержание в продуктах горения соответственно метана, монооксида углерода и водорода, об.%; 3,76 – соотношение содержаний азота и кислорода в воздухе, 2 и 0,5 – стехиометрические коэффициенты реакций горения.

На практике (в газоанализирующих устройствах) для определения КИВ используют «кислородную» формулу, которая при полном сгорании имеет вид [1]:

$$(3) \alpha = \frac{21}{21 - O_2},$$

где 21 – «традиционное» содержание кислорода в воздухе, об.%, O_2 – содержание кислорода в продуктах горения, об.%.

Таким образом, при расчете КИВ уровень объемной концентрации кислорода в воздухе детерминируют на уровне 21%. Однако многолетние климатофизические исследования позволяют опровергнуть стабильность концентрации кислорода не только в горных местностях, но и на равнинах.

2. Постановка задачи

Цель работы состоит в выявлении и предложении способов устранения систематической погрешности при

расчетах КИВ, вносимой неверной трактовкой о постоянстве объемной концентрации кислорода в воздухе. В основе анализа положена зависимость объемной концентрации кислорода от главных метеорологических характеристик – температуры, влажности, давления. На примере 12 европейских столиц (Брюссель, Париж, Берлин, Вена, Лондон, Хельсинки, Варшава, Бухарест, Прага, София, Рига, Рим) будут произведены теоретические расчеты сезонного колебания концентрации кислорода в воздухе.

3. Решение проблемы

Воздух – это естественная смесь газов, на 98-99% состоит из азота и кислорода, а также углекислого газа, воды, водорода, инертных газов и др. (табл. 1).

По сегодняшний день в научных кругах считается общепринятым положение о том, что в условиях равнинного климата количество кислорода в атмосферном воздухе либо вовсе не изменяется, оставаясь строго постоянным как по объему (20,95%), так и по массе (23,15%), либо изменяется на пренебрежительно малую величину.

Согласно закону Дальтона, состав и процентное соотношение газов, входящих в воздух, строго постоянны, как по объему, так и по массе.

Соотношение газов воздуха считается одним и тем же в любом районе земного шара, почти не изменяясь ни от высоты, ни от широты местности. В горах на большой высоте, на экваторе и в районе полюсов, так же как и на равнине, долю кислорода в воздухе детерминируют на одном уровне.

Таблица 1

Состав воздуха

Компонент	Обозначение	Об. кон., %	Мас. кон., %
Азот	N ₂	78.08	75.50
Кислород	O ₂	20.95	23.15
Аргон	Ar	0.93	1.29
Углекислый газ	CO ₂	31.4×10 ⁻³	4.6×10 ⁻²
Неон	Ne	18.18×10 ⁻⁴	1.4×10 ⁻³
Метан	CH ₄	2×10 ⁻⁴	8.4×10 ⁻⁵
Гелий	He	5.24×10 ⁻⁴	7.3×10 ⁻⁵

Таким образом, процентное содержание кислорода в атмосферном воздухе как относительная величина, свидетельствует лишь о постоянстве газового состава и соотношения соотношения газов в воздухе, и не может быть использована в качестве количественного параметра кислорода. Можно предположить, что за постоянством процентного соотношения газов воздуха завуалированы значительные колебания абсолютных величин газов воздуха, в том числе и кислорода, так как совершенно ясно, что «доля» одного процента кислорода в смеси газов будет разной при различных физических состояниях воздуха (влажного или сухого, плотного или разреженного, холодного или теплого).

На основании этих утверждений и проведенных экспериментов была предложена новая количественная величина параметра кислорода – парциальная плотность кислорода [2]. Ее суть в том, что при суточной (сезонной) динамике колебаний основных метеорологических характеристик (температуры, абсолютной влажности воздуха, абсолютного атмосферного давления), обусловленных динамикой атмосферных процессов, происходит перераспределение во времени и пространстве парциальной плотности кислорода в воздухе, что проявляется в суточной (сезонной) периодичности и погодных аномалиях. Таким образом, можно с уверенностью говорить о том, концентрация кислорода (в том числе и объемная), не является постоянной величиной и может значительно

колебаться не только в течении всего календарного года, но и суток, влияя тем самым на текущее значение такой величины как КИВ.

Аналитическое значение парциальной плотности кислорода (E , г/м³) прямо пропорционально атмосферному давлению (P , гПа) за вычетом парциального давления водяного пара (e , гПа) и обратно пропорционально температуре воздуха (T , К):

$$(4) E = 23.15 \cdot 10^3 \cdot \frac{P - e}{R \cdot T},$$

где R – удельная газовая постоянная для сухого воздуха, гПа.

Расчет парциального давления водяного пара определяется по формуле:

$$(5) e = \varphi \cdot p_{\text{нас}},$$

где φ – влажность воздуха, а $p_{\text{нас}}$ – величина, которую можно определить согласно рекомендациям Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation [3]:

$$(6) p_{\text{нас}}(P, T) = f(P) \cdot r(T);$$

$$(7) f(P) = 1.0016 + 3.15 \cdot 10^{-6} \cdot P - 0.074 \cdot P^{-1};$$

$$(8) r(T) = 6.112 \cdot e^{\frac{17.62 \cdot T}{243.12 + T}},$$

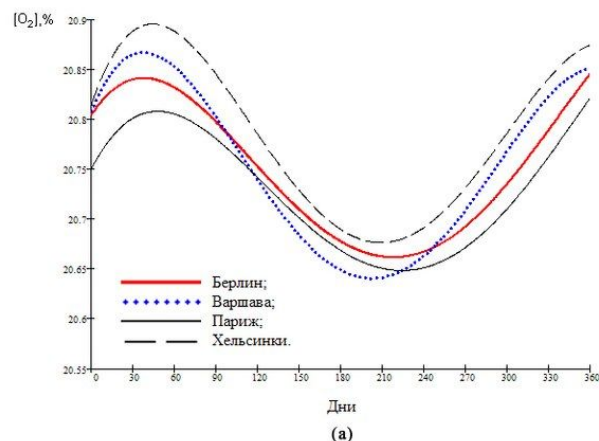
де T – температура воздуха в градусах Цельсия, °С.

Переход к объемной концентрации кислорода происходит по следующему соотношению:

$$[O_2] = \frac{6.236 \cdot E \cdot T}{P' \cdot M_{O_2}}.$$

где $[O_2]$ – объемная концентрация кислорода в воздухе, P' – атмосферное давление в мм.рт.ст., M_{O_2} – молярная масса кислорода.

В ходе исследований были проанализированы изменения основных метеорологических параметров (температуры, давления, влажности) в течении 2014 года в 12 городах европейского континента (информация о метеоусловиях была предоставлена сайтом www.wunderground.com) : Брюссель (Бельгия), Париж (Франция), Берлин (Германия), Вена (Австрия), Лондон (Великобритания), Хельсинки (Финляндия), Варшава (Польша), Бухарест (Румыния), Прага (Чехия), София (Болгария), Рига (Латвия), Рим (Италия). На основании этих данных построены графические характеристики колебания объемной концентрации кислорода в воздухе на протяжении года (рис. 1). В таблице 2 приведены значения минимальной и максимальной объемной концентрации кислорода в воздухе для каждого выбранного города за 2014 год.



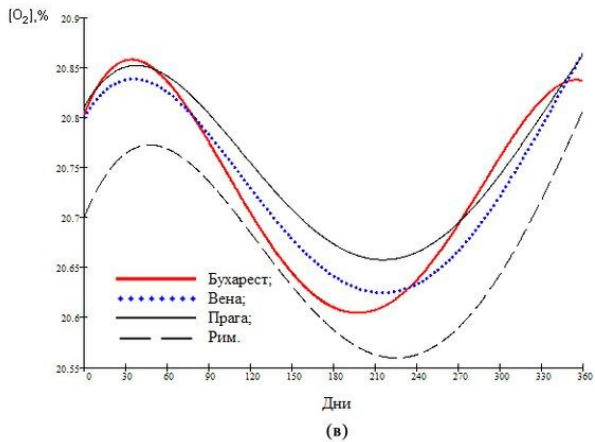
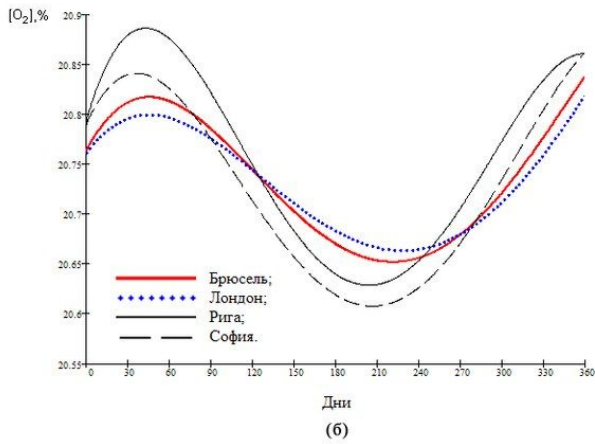


Рис. 1. Теоретическая сезонная динамика колебания объемной концентрации кислорода в воздухе (а – Берлин, Варшава, Париж, Хельсинки, б – Брюссель, Лондон, Рига, София, в – Бухарест, Вена, Прага, Рим)

Способ определения КИВ, основанный на измерении текущей концентрации кислорода в окружающей среде, реализуется при помощи схем (рис. 2а, 2б), где 1 – дымовые газы, 2 – внутренний кислородный сенсор, 3 – аналитический блок, 4 – дисплей, 5 – внешний кислородный сенсор.

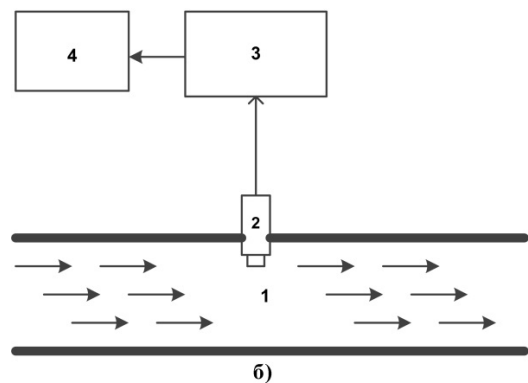
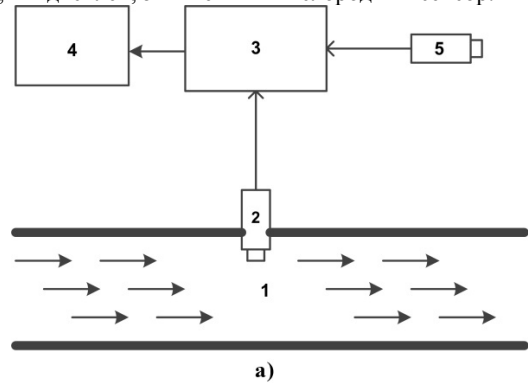


Рис. 2. Технические способы реализации повышения точности определения КИВ (а – с использованием двух кислородных сенсоров, б – с использованием одного кислородного сенсора)

Таблица 2
Экстремальные значения объемной концентрации кислорода в воздухе

Город	Минимум	Максимум
Брюссель	20.53	20.89
Париж	20.53	20.88
Берлин	20.48	20.92
Вена	20.50	20.91
Лондон	20.55	20.85
Хельсинки	20.52	20.93
Варшава	20.48	20.93
Бухарест	20.46	20.93
Прага	20.50	20.91
София	20.51	20.92
Рига	20.44	20.93
Рим	20.41	20.92

Решение выявленной проблемы основывается на усовершенствовании стандартного способа определения коэффициента избытка воздуха путем измерения текущей концентрации кислорода в окружающей среде [4]. Данное предложение обеспечивает исключение методической погрешности и повышает точность измерения указанного способа. Таким образом, конечная формула для определения КИВ выглядит следующим образом:

$$(9) \alpha = \frac{O_2'}{O_2' - O_2},$$

где O_2' – текущее содержание кислорода в воздухе, об.%,
 O_2 – содержание кислорода в продуктах горения, об.%

Способ №1 (а). В отверстие дымового тракта устанавливается внутренний кислородный сенсор, измеряющий остаточную концентрацию кислорода в дымовых газах. Внешний кислородный сенсор размещается в окружающей среде (вне дымового тракта) и измеряет концентрацию кислорода в воздухе. Сигналы с обоих сенсоров поступают в аналитический блок, который определяет КИВ согласно формулы (9). Значение КИВ отображается на дисплее.

Способ №2 (б). С помощью газоанализатора проводится предварительное измерение концентрации кислорода в окружающей среде. Значение этого параметра хранится в памяти газоанализатора в качестве O_2' . Далее кислородный сенсор газоанализатора размещается внутри дымового тракта и проводят измерение КИВ согласно формуле (9), считая параметр O_2' постоянным.

Способ №1 имеет большую точность определения КИВ, поскольку учитывает суточное/сезонное колебание концентрации кислорода в воздухе, однако способ №2 не требует дополнительного числа сенсоров, являясь финансово выгодным при разработке газоанализаторов.

Измерение КИВ с учетом текущей концентрации кислорода в воздухе позволит существенно повысить точность и стабильность определения КИВ, уменьшить эксплуатационные расходы при оптимизации процесса горения.

4. Заключение

Проблема экономии топливных ресурсов на сегодняшний день является актуальной для всего мира, поэтому оптимизация процесса горения должна проходить максимально эффективно. Предложенное решение повышения точности измерения КИВ (для всех газоанализирующих устройств) имеет чрезвычайную перспективность, поскольку учитывает методическую погрешность измерения, которая изначально заложена в электронную систему большого числа газоанализаторов. Применение предложенного способа позволит значительно повысить точность измерения КИВ в газоанализаторах (до 10%).

5. Литература

1. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для нач. проф. образования / Б.А. Соколов. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия». – 2007. – 432с.
2. Овчарова В.Ф. О содержании кислорода в атмосферном воздухе (Труды международного

симпозиума ВМО/ВОЗ/ЮНЕП СССР)[Электронный ресурс] / В.Ф. Овчарова // Санкт-Петербург. – 1988. – Режим доступа к статье:

<http://meteocenter.net/meteolib/o2.htm>

3. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation / World Meteorological Organization, 2008. – №8.– 119 p.
4. Бабак В.П., Запорожець А.О., Редько О.О. Підвищення точності вимірювання коефіцієнта надлишку повітря в котлоагрегатах із застосуванням газоаналізаторів електрохімічного типу / В.П. Бабак, А.О. Запорожець, О.О. Редько // Промислова теплотехніка. – 2015. – №1. – С. 82-96.