

# КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Юсубов Ф.В.<sup>1</sup>, Мансуров Э.Ф.<sup>2</sup> Email: Yusubov1133@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Юсубов Фахраддин Вали оглы – доктор технических наук, профессор;

<sup>2</sup>Мансуров Эмин Фархад оглы – докторант,

кафедра нефтехимической технологии и промышленной экологии, химико-технологический факультет,  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,  
г. Баку, Азербайджанская Республика

**Аннотация:** представлена математическая модель процесса горения газа. Получены уравнения, описывающие каждый момент времени от температуры в камере горения и ее закономерность изменения. Создана схема автоматизации регулирования, которая обеспечивает интенсивное горение природного газа в камере двигателя внутреннего сгорания, что также обеспечивает зависимость минимального количества  $CO_2$  на выходе из абсорбера и от количества абсорбента, подаваемого в абсорбер. Предложенный нами процесс абсорбции  $CO_2$  для электростанций позволит спроектировать технологический процесс с высоким коэффициентом полезного действия с более улучшенными технико-экологическими характеристиками. Для приведения к минимуму выброса углекислого газа электростанций в окружающую среду решены два важных вопроса: улучшение процесса сгорания в ДВС, оптимизация процесса абсорбционного поглощения диоксида углерода из дымовых газов в окружающую среду.

**Ключевые слова:** защита атмосферы, горение газа, диоксид углерода, абсорбер, математическая модель, каскадная схема регулирования.

## A COMPREHENSIVE SOLUTION TO PROTECT THE ATMOSPHERE OF CARBON DIOXIDE POLLUTION

Yusubov F.V.<sup>1</sup>, Mansurov E.F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yusubov Fakhraddin Valioglu - doctor of technical sciences, professor;

<sup>2</sup>Mansurov Emin Farkhadoglu - doctoral,

DEPARTMENT OF PETROCHEMICAL TECHNOLOGY AND INDUSTRIAL ECOLOGY, FACULTY OF  
CHEMICAL TECHNOLOGY,  
AZERBAIJAN STATE UNIVERSITY OF OIL AND TECHNOLOGY,  
BAKU, REPUBLIC OF AZERBAIJAN

**Abstract:** a mathematical model of gas combustion. Obtained equations describing each moment of time the temperature in the combustion chamber and its pattern changes. Automation established regulation circuit which provides intense burning natural gas in the combustion chamber of the engine, which also provides the minimum amount of  $CO_2$  dependence on the output of the absorber, and the amount of absorbent supplied to the absorber.

Our proposed  $CO_2$  absorption process will allow for power design process with high efficiency with more improved technical and environmental characteristics. To bring to minimize emission of carbon dioxide into the environment of plants two important issues addressed: improved combustion process in a combustion engine, to optimize the process of absorption the absorption of carbon dioxide from flue gases into the environment. Technology calculation of industrial absorber held in depending on of design problems. It involves calculation of the required flow rate of absorbent and geometry of the absorber which ensures the necessary degree of separation of the gas mixture at a given performance gas phase.

**Keywords:** protection of the atmosphere, burning gas, carbon dioxide, absorber, mathematical model, cascade control scheme.

УДК 66.66.07.661.92

Страны, которые являются нефтяными, имеют нефтехимические и нефтеперерабатывающие объекты, а также электростанции. Предприятия должны предотвращать поступление загрязнений в окружающую среду. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов имеют важное значение. С этой точки зрения, исследования процессов горения и абсорбции в промышленности в настоящее время являются актуальными [1, 2].

Негативное воздействие окружающей среды, связанное с загрязнением воздуха, является серьезной угрозой здоровью человека. Также приводит к снижению озона в атмосфере [1 - 3]. Математическое моделирование и оптимизация процесса позволяет проводить комплексное решение защиты атмосферы

от загрязнений двигателей внутреннего сгорания (ДВС), используемых на электростанциях. Модель дает возможность спроектировать технологический процесс с высоким коэффициентом полезного действия, теплотехническими и экологическими характеристиками. Для приведения к минимуму выброса углекислого газа электростанций в окружающую среду необходимо решить два важных вопроса:

1. улучшение процесса сгорания в ДВС,
2. оптимизировать процесс абсорбционного поглощения диоксида углерода из дымовых газов в окружающую среду.

В настоящее время все шире внедряются методы поиска оптимальных конструкторских решений. Моделирование рабочего процесса ДВС занимает одно из основных мест в практике инженерных и научных расчетов. Оно значительно расширяет возможности исследователей и инженеров при создании новых двигателей, также позволяет сократить сроки научных, теоретических и конструкторских разработок, число экспериментальных образцов на всех этапах создания двигателя.

Для решения задачи математического моделирования использованы данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Показание измерительных приборов на электростанциях за одни сутки

Дата Время, час	Удельный вес, (кг/м <sup>3</sup> )	Разность давлений, (кПа)	Абсолютное давление, (кПа)	Темпера- тура, (С°)	Расход газа, (тыс. м <sup>3</sup> )	Газовый расход на 1 час, (тыс. м <sup>3</sup> )
01:00	0.74274	23.6170	673.610	22.937	378.762	15.782
02:00	0.74274	8.1423	764.109	23.068	225.248	9.385
03:00	0.74274	0.3829	875.178	22.878	26.843	1.118
04:00	0.74274	0.0087	973.955	22.371	0.021	0.001
05:00	0.74274	0.0077	1025.798	21.946	0.000	0.000
06:00	0.74274	0.0073	1044.528	21.381	0.000	0.000
07:00	0.74274	0.3576	1039.713	21.193	26.475	1.103
08:00	0.74274	13.1779	915.145	20.794	329.801	13.742
09:00	0.74274	20.0124	781.156	21.784	383.794	15.991
10:00	0.74274	17.3068	765.997	25.020	351.315	14.638
11:00	0.74274	15.5781	781.465	30.242	334.583	13.941
12:00	0.74274	15.4186	787.671	35.173	331.494	13.812
13:00	0.74274	14.9043	800.455	38.819	326.693	13.612
14:00	0.74274	14.8128	801.232	40.639	324.875	13.536
15:00	0.74274	15.2211	799.294	40.162	328.957	13.707
16:00	0.74274	18.7938	785.123	39.801	362.057	15.086
17:00	0.74274	17.9987	781.146	38.469	353.918	14.747
18:00	0.74274	19.0687	767.624	35.472	363.120	15.130
19:00	0.74274	19.0366	765.186	31.693	364.525	15.189
20:00	0.74274	20.0627	757.022	27.764	374.535	15.606
21:00	0.74274	20.0263	751.090	25.450	374.182	15.591
22:00	0.74274	19.9482	752.787	24.957	374.136	15.589
23:00	0.74274	22.1447	683.853	24.263	374.963	15.623
24:00	0.74274	23.6615	657.010	23.970	380.035	15.835
						<b>Сумма: 278.764</b>

Как видно из таблицы 1, температура поступающего природного газа в камеры горения в производственных условиях изменяется в пределах 20 - 40°С. Также меняется разность давлений 0.0073 - 23.6615кПа и расход газа 0.00 - 383.7тыс. м<sup>3</sup>. В результате этого нарушается газодинамический режим в камере горения и воспламенения природного газа. Регулирование температуры в камере горения и воспламенения природного газа взаимосвязаны с температурой поступающего природного газа в камеры. Поэтому для регулирования процесса горения надо знать в каждый момент времени температуру в камере горения и ее закономерность изменения. Рассмотрим однородный цилиндр (двигателя внутреннего сгорания) длиной L. Изучим процесс распространения тепла в цилиндре. Расположим ось OX так, чтобы один конец цилиндра совпадал с точкой X = 0, а другой с точкой X = L. Пусть T (X, τ) – температура в сечении цилиндра с абсциссой X в момент τ.

Опытным путем установлено, что количество тепла, протекающего через сечение с абсциссой X за единицу времени, определяется формулами:

$$e = -k \frac{\partial T}{\partial x} S, \quad S = \frac{\pi R^2}{4} \quad (1)$$

Где  $S$  – площадь сечения рассматриваемого цилиндра, – коэффициент теплопроводности.  
Рассмотрим следующую краевую задачу:

$$\frac{1}{m^2} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad x \in [0,1], \quad \tau \in [0, \tau] \quad (2)$$

$$\begin{cases} T(0, \tau) = 0, \tau \in [0, \tau] \\ T_x = (1, \tau) - h_u(1, \tau) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$T(x, 0) = \theta(x), \quad x \in ]0,1[ \quad (4)$$

Решение краевой задачи (2) – (4) будем искать в виде ортогонального ряда следующего вида [4]:

$$T(x, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot T_n(x, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot e^{-(\lambda_n \cdot \alpha)^2 \cdot \tau} \cdot \sin(\lambda_n \cdot x) \quad (5)$$

Уравнение (5) представляет закономерность изменения температуры в камере горения за каждый момент времени.

Как известно, в инженерной практике технологический расчет промышленного абсорбера проводится в зависимости от задач проектирования. Он обычно включает расчет необходимого расхода абсорбента и геометрических размеров абсорбера, который обеспечивает необходимую степень разделения газовой смеси при заданной производительности по газовой фазе. Также инженеру приходится решать задачу по эксплуатации абсорбера известных размеров с конкретными внутренними контактирующими устройствами. При этом требуется определить конечную концентрацию поглощаемого компонента  $\text{CO}_2$  в газовой смеси при известных потоках фаз и их начальных составах. Решение этих задач (проектирования и эксплуатации) для абсорбционных процессов при различных схемах движения потока проводится в режиме идеального вытеснения, а также с непрерывным контактом фаз. Некоторые особенности расчета процессов абсорбции  $\text{CO}_2$  связаны:

- с выделением теплоты при абсорбции;
- с летучестью поглотителя, т.е. частичным переходом его в газовую фазу;
- с протеканием химической реакции между поглощаемым компонентом и абсорбентом,
- с поглощением нескольких компонентов из газовой смеси.

Как известно, в экспериментальном определении эффективности абсорбционных процессов скорость, с которой устанавливается равновесное состояние диффузионных процессов, имеет большое значение. В случае абсорбции с большим числом тарелок очень важно иметь возможность предсказывать ход изменения состава продукта со временем, так как нередко экономически оказывается наиболее выгодным производить отбор продукта из колонны до установления равновесного состояния, т.е. при переходном режиме.

Степень отклонения от равновесного состояния обуславливает, кроме того, продолжительность цикла диффузионного процесса. При расчете абсорберов, особенно тарельчатых, часто используют понятие эффективности ступени  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{Y_{n+1} - Y_1}{Y_{n-1}} = \frac{A_{n+1} - A}{A_{n+1} - 1} \quad (6)$$

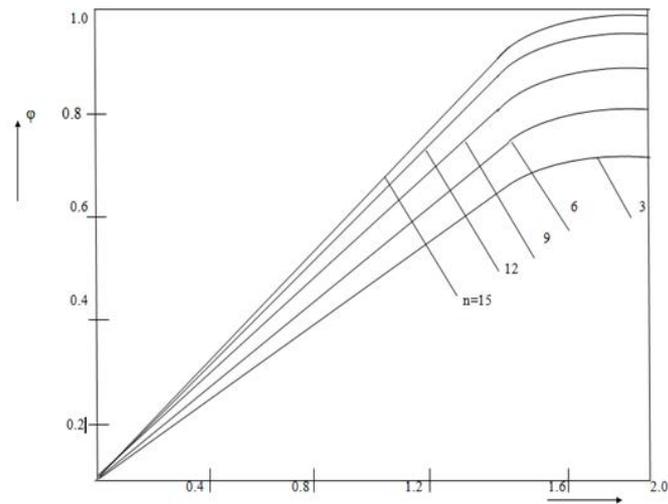
$N$  – число теоретических тарелок,  $Y_{n+1}$  – малая доля компонента в газовой фазе,  $A$  – степень эффективности,  $Y_1$  – малая доля газового компонента отделенная тарелкой сверху колонны.

Компьютерное моделирование и оптимизация являются все более важными элементами исследования процессов горения и проектирования различных технологических аппаратов. Решение этих вопросов также невозможно без детального исследования процесса абсорбции  $\text{CO}_2$ , а это требует дорогостоящих экспериментов для оптимизации различных процессов. Для определения количества тарелок абсорбера, а также эффективности степени абсорбции  $\text{CO}_2$  из ДВС построен график Кремсера с использованием формулы (7) (рис. 1).

$$A = \frac{M}{Z \cdot G} \quad (7)$$

где  $M$  – количество моноэтаноламина,  $G$  – количество газа,  $Z$  – постоянная равновесия жидкость - пар. Нами определено, что (рис. 1) с увеличением числа тарелок коэффициент вытеснения компонентов достигает максимума ( $\varphi = 1.0$ ) при числе тарелок  $n=15$ . Проверку адекватности модели проводили путем сравнения расчетных данных со значениями промышленной установки на Бакинской электрической станции. Применение каскадной схемы регулирования позволяет улучшить экологические показатели ДВС и процессов абсорбции (рис. 2). Так как температура природного газа поступающего в камеры горения и температура воспламенения природного газа внутри камеры горения взаимосвязаны, в схеме автоматизации предусмотрена каскадная схема регулирования, которая обеспечивает интенсивность горения природного газа в камере. Помимо этого применение каскадной схемы регулирования в

зависимости от количества  $\text{CO}_2$  на выходе абсорбера изменяет соответственно количеству абсорбента, подаваемого в абсорбер.



А

Рис. 1. График Кремсера

На электростанциях в результате качественного горения природного газа в камере горения, а также интенсивной абсорбции  $\text{CO}_2$  из дымовых газов, количество его в использованном газе уменьшается от 0,292 до 0,043%.

Часть экспериментального исследования процесса горения проведено методом планирования эксперимента. Все эти мероприятия требуют очень точного регулирования избытка воздуха в зависимости от технологических и конструктивных параметров процесса горения. Установлено, что избыток воздуха уменьшает температуру сгорания дымовых газов, создает потери тепла и в результате нарушается тепло-технологический регламент процесса. Эти нежелательные явления создают определенные трудности при автоматическом регулировании и управлении процессом в переходном режиме. В результате этих нежелательных явлений снижается температура в факеле электростанции и образуются  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , сажа и другие компоненты.

Поэтому, для обеспечения полного сгорания топлива и высокой эффективности горения количества избыточного воздуха в двигателях внутреннего сгорания, регулирование и управление процессом должно быть очень точно. Полнота горения природного газа контролируется измерительными приборами, а также определяют концентрации угарного газа в дымовых газах. Отсутствие угарного газа означает что, сгорание произошло оптимально и подтверждает адекватность математической модели исследуемого двигателя внутреннего сгорания. Также определяют количество избыточного воздуха и двуокиси углерода в дымовых газах.

Нами создана схема автоматизации каскадной схемы регулирования (рис. 3), которая обеспечивает интенсивность горения природного газа в камерах двигателей внутреннего сгорания.

Горение считается эффективным, когда количество  $\text{CO}_2$  близко к своему максимальному значению. При увеличении количества избыточного воздуха, объёмный процент  $\text{CO}_2$  в дымовых газах понижается в факеле электростанции. Как видно из рисунка 2 в позиции 1 измеряется расход поступающего природного газа. Позициями 2 и 3 измеряются температуры поступающего газа и внутри камеры двигателя внутреннего сгорания. С помощью теплообменника Т-1 проводится каскадное регулирование температуры поступающего природного газа в зависимости от температуры внутри камеры двигателя сгорания. Позиции 4 и 5 обеспечивают для каскадной схемы регулирования минимальное количество  $\text{CO}_2$  на выходе абсорбера, что соответственно, изменяет количество абсорбента подаваемого в абсорбер. Позиция 4 также измеряет количество  $\text{CO}_2$  на выходе абсорбера. Позиция 5 измеряет расход абсорбента, подаваемого в абсорбер. В результате созданная схема автоматизации каскадной схемы регулирования (рис. 3) обеспечивает интенсивность горения природного газа в камерах двигателей внутреннего сгорания и минимальное количество  $\text{CO}_2$  на выходе абсорбера.

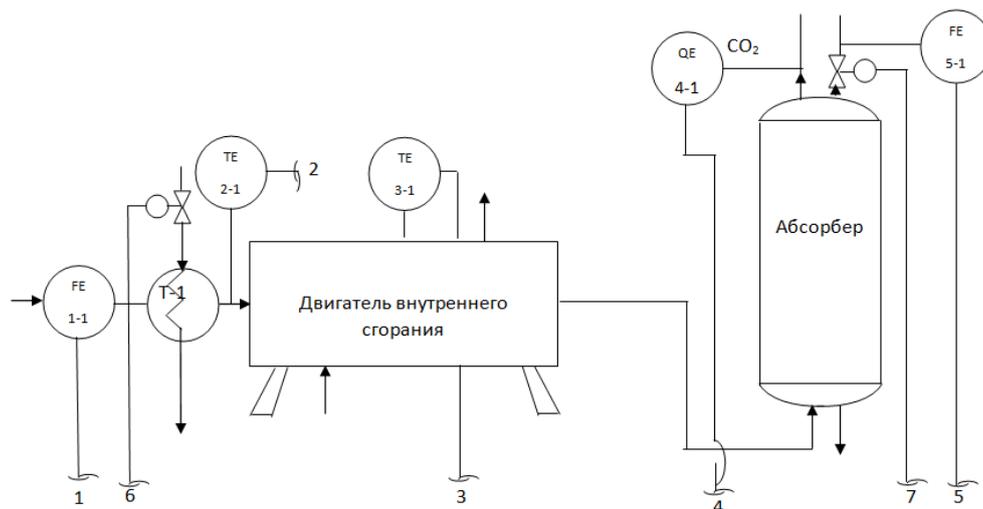


Рис. 2. Предлагаемая схема для комплексной защиты атмосферы от загрязнений диоксидом углерода на электростанциях

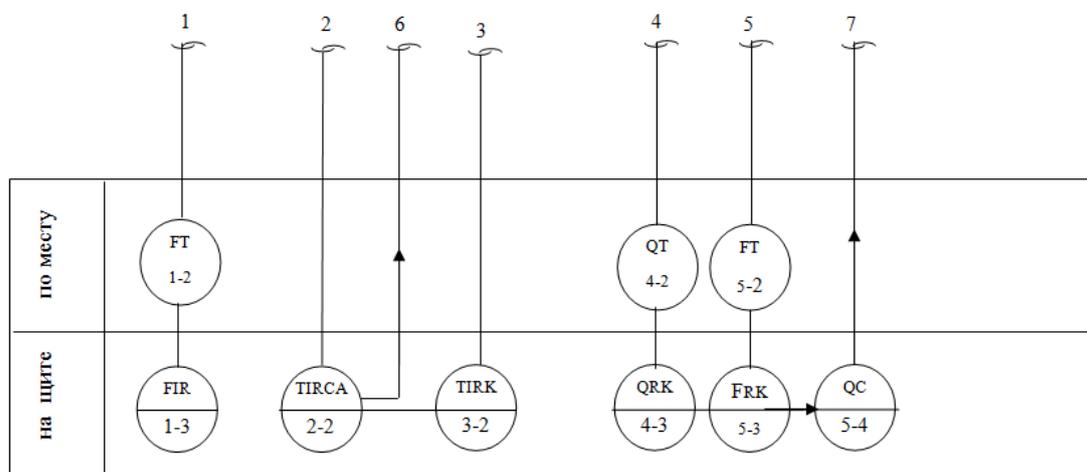


Рис. 3. Схема автоматического каскадного регулирования процесса

В качестве примера приведен нижеследующий расчет. На одной электрической станции в течение года используется природный газ приблизительно  $134951808 \text{ м}^3$ , выброс в атмосферу диоксида углерода  $284,694 \text{ тон/год}$ , составляет  $0,292 \%$  от указанного количества природного газа. После интенсификации процесса количество  $\text{CO}_2$  уменьшается в пределах  $0,043\%$ .

В перспективе - создание полной математической модели и оптимизации режима работы двигателей внутреннего сгорания. Предложенный нами процесс абсорбции  $\text{CO}_2$  для электростанций позволит спроектировать технологический процесс с высоким коэффициентом полезного действия с улучшенными технико-экологическими характеристиками.

#### Список литературы / References

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1984. 592 с.
2. Какуткина Н.А., Мварова М. Физика, горения и взрыва, 2004. т.40, № 5. С. 62 - 73.
3. Зверев И.Н. Газодинамика горения. М.: МГУ, 1987. 307с.
4. Борзенков А.В. Дифференциальные уравнения в частных производных. Matlab. Минск, БГУМР, 2009. 120 с.
5. Drews A., Cademartiri L., Chemama M. et al. Physical Review E., 2012. V. 86. P. 036314(1 - 4).
6. Kuo K, Acharya R. Fundamentals of Turbulent and Multi-Phase Combustion. Wiley Sons, 2012. 912 p.
7. Peters N. Turbulent Combustion, Cambridge University Press, 2004. 304 p.
8. Poinsot T. Theoretical and Numerical Combustion, 2012. Paris. Edwards, 132 p.
9. Law C.K. Combustion Physics. Cambridge University Press, 2006. 722 p.
10. Warnatz J., Maas U., Dibble R.W. Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation. Springer, 2006. 378 p.