УДК 665.7.033

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТКИ ГАЗА ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКУ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ГАЗОПРОВОДАМ

–––––––

ENERGY ANALYSIS OF THE EFFECT OF GAS PURIFICATION FROM CARBON DIOXIDE ON ITS TRANSPORTATION THROUGH MAIN GAS PIPELINES

Шестерикова Раиса Егоровна
доктор технических наук, профессор,
Северо-Кавказский федеральный университет
Shesterikova_26@mail.ru

Шестерикова Анастасия Андреевна
Северо-Кавказский федеральный университет
na5tya5tav41@gmail.com

Галанин Игорь Александрович
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, научный консультант,
Северо-Кавказский федеральный университет

Аннотация. Диоксид углерода (CO_2), присутствующий в природном газе, снижает теплотворную способность газа и вызывает ряд проблем при транспортировке.
Статья посвящена обоснованию целесообразности извлечения CO_2 из газа на основе сравнения затрат энергии на транспортировку неочищенного газа и затрат энергии на его очистку и транспортировку углеводородной части. Выполненные исследования показывают, что затраты энергии на очистку газа от CO_2 не позволяют компенсировать технологических преимуществ при транспортировке очищенного от CO_2 газа.

Ключевые слова: диоксид углерода, природный газ, транспортировка газа, очистка газа, затраты энергии.

Shesterikova Raisa Egorovna
Doctor of technical science, Professor,
North Caucasian federal university
Shesterikova_26@mail.ru

Shesterikova Anastasia Andreevna
North Caucasian federal university
na5tya5tav41@gmail.com

Galanin Igor Aleksandrovich
Candidate of technical sciences,
Senior research associate,
Scientific consultant,
North Caucasian federal university

Annotation. Carbon dioxide (CO_2) present in natural gas reduces the calorific value of the gas and causes a number of transport problems.
The article is devoted to the justification of the expediency of extracting CO_2 from gas on the basis of comparing energy costs for transportation of raw gas and energy costs for its purification and transportation of the hydrocarbon part. The performed studies show that the energy costs for gas purification from CO_2 do not allow to compensate for technological advantages when transporting the gas purified from CO_2.

Keywords: carbon dioxide, natural gas, gas transportation, gas cleaning, energy costs.

Природные газы в своем составе содержат диоксид углерода, который является балластом, т.к. не горит. Его присутствие в газах снижает теплотворную способность газа. Транспортировка газа с наличием диоксида углерода сопровождается рядом проблем, к которым можно отнести коррозию газопроводов, процессы гидратообразования. При извлечении диоксида углерода из газа повышается его качество, калорийность, уменьшаются затраты на эксплуатацию компрессорных станций и т.д. [1, 2].

Энергетический анализ проводится путем сравнения затрат энергии на очистку газа и энергетических затрат на транспортировку газа. Рассмотрим, возможно ли компенсировать затраты на проведение очистки газа от диоксида углерода теми преимуществами, которые получаются от проведения очистки?

Исследования проводятся на 1 моль газа, а извлечение диоксида углерода из газа осуществляется абсорбцией. Процесс абсорбции CO_2 сопровождается выделением тепла, которое подводится к системе на стадии регенерации абсорбента. Следовательно общие теоретические затраты энергии на извлечение из 1 моля газа диоксида углерода можно определить из уравнения (1) [1].

$$E_{оч} = 2 \cdot \Delta H_{абс} \cdot C_{CO_2}, \quad (1)$$

где $E_{оч}$ – затраты энергии на очистку 1 моля газа от CO_2, кДж/моль; $\Delta H_{абс}$ – теплота абсорбции 1 моля CO_2, кДж/моль; C_{CO_2} – концентрация CO_2 в обрабатываемом газе, моль/моль.

Затраты энергии на транспортировку 1 моля газа можно определить по уравнению адиабаты (2) [3, 4].

$$E_k = \frac{k \cdot R \cdot T}{k-1} \cdot \left(\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right), \quad (2)$$

где E_k – затраты энергии на транспортировку газа, кДж/моль; R - газовая постоянная, кДж/моль · ºК; T – температура газа, ºК; ε – степень сжатия газа; k – показатель адиабаты.

Компримирование газа сопровождается повышением температуры, следовательно, необходимо затрачивать энергию на охлаждение газового потока. Тогда общие затраты энергии на транспортировку газа составят

$$E_1 = 2 \cdot E_k = 2 \cdot \frac{k \cdot R \cdot T}{k-1} \cdot \left(\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right). \quad (3)$$

Затраты энергии на транспортировку очищенного от диоксида углерода газа будут определяться по формуле (4):

$$E_{угл} = E_1 \cdot \left(1 - C_{CO_2}\right), \quad (4)$$

где $E_{угл}$ – затраты энергии на транспортировку углеводородной части газа, кДж/моль.

Общие затраты на очистку газа и транспортировку очищенного газа определяются суммой

$$E_2 = E_{угл} + E_{оч}. \quad (5)$$

Разность затрат энергии на транспортировку очищенного газа и неочищенного определится из уравнения (6):

$$\Delta = E_2 - E_1. \quad (6)$$

После подстановки в уравнение (6) выражений (5) и (3) получим уравнение (7).

$$E_2 - E_1 = 2 \cdot C_{CO_2} \cdot \left(\Delta H_{абс} - E_k\right). \quad (7)$$

Рассмотрим условие, когдаоба варианта транспортировки газа равноценны, т.е. $E_2 = E_1$. Из уравнения (7) следует, что выполнение этого условия возможно при равенстве величин E_k и $\Delta H_{абс}$. Тогда имеем уравнение (8)

$$\Delta H_{абс} = \frac{k \cdot R \cdot T}{k-1} \cdot \left(\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right). \quad (8)$$

После подстановки в уравнение (8) значений $R = 0{,}0083$ кДж/моль · ºК, $k = 1{,}3$ и $T = 303$ ºК получим выражение (9)

$$\Delta H_{абс} = 10{,}9 \cdot \left(\varepsilon^{0{,}23} - 1\right). \quad (9)$$

Затраты энергии на транспортировку газа зависят от числа компрессорных станций (n) и длины газопровода (L). Если принять степень сжатия газа $\varepsilon = 1{,}45$, тогда уравнение (9) примет вид

$$\Delta H_{абс} = 10{,}9 \cdot n \cdot \left(1{,}45^{0{,}23} - 1\right). \quad (10)$$

Решая уравнение (10) относительно n, получим выражение (11)

$$n = 1{,}03 \cdot \Delta H_{абс}. \quad (11)$$

Результаты расчетов числа компрессорных станций (КС) по уравнению (11) и протяженности газопровода при расстоянии между КС · L = 100 км приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов числа КС при очистке газа от CO_2

Способ очистки	Теплота абсорбции CO_2, $\Delta H_{абс}$, кДж/моль	Количество КС, n	Длина газопровода, L, км
поташ, K_2CO_3	93,03	96	9600
триэтаноламин	64,48	66	6600
гидроксид калия	139,22	143	14300
метанол	25,24	28	2800

Анализ данных таблицы 1 показывает, что очистка газа от диоксида углерода, например, растворами гидроксида калия (КОН) требует таких же затрат энергии, как эксплуатация 143 компрессорных станций, расположенных по длине газопровода. Из данных таблицы 1 следует, что минимальные затраты энергии на очистку газа от диоксида углерода возможны при использовании физических растворителей (метанол). Однако, выполненный анализ не позволяет сделать однозначный вывод о целесообразности извлечения диоксида углерода из газа.

Природный газ – это экологически привлекательный энергоноситель, используется, в основном, в качестве топлива. Целесообразно оценить количество энергии, которую получает потребитель при транспортировке газа, содержащего диоксид углерода. Исследования проводятся для 1 моля метанового газа.

Калорийность1 моля газа, содержащего CO_2, можно определить по уравнению (12) [5]:

$$g = 748{,}6 \cdot \left(1 - C_{CO_2}\right), \tag{12}$$

где g – калорийность газа, кДж/моль; 748,6 – калорийность метана, кДж/моль.

Количество энергии, которое получает потребитель, если транспортируется газ, содержащий диоксид углерода, определяется по уравнению (13):

$$Q_1 = g - E_1, \tag{13}$$

где Q_1 – количество энергии, которое поступает к потребителю, кДж/моль; E_1 – затраты энергии на транспортировку не очищенного газа, кДж/моль.

При транспортировке очищенного от диоксида углерода газа потребитель будет получать количество энергии Q_2:

$$Q_2 = g - E_2, \tag{14}$$

где E_2 – затраты энергии на очистку газа и транспортировку очищенного газа, кДж/моль.

Из уравнений (13) и (14) получим выражение (15):

$$Q_1 - Q_2 = E_2 - E_1. \tag{15}$$

С учетом уравнения (7) получим выражение (16):

$$Q_2 - Q_1 = 2 \cdot C_{CO_2} \cdot \left(\Delta H_{абс} - E_k\right). \tag{16}$$

Приняв средние затраты энергии на транспортировку 1 моля газа на расстояние 1 км равными 0,008 кДж/моль, получим

$$E_k = e \cdot L. \tag{17}$$

Из уравнений (16) и (17) получим выражение (18):

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{2 \cdot C_{CO_2} \cdot \left(\Delta H_{абс} - e \cdot L\right)}{g - 2 \cdot e \cdot L}. \tag{18}$$

Для $L = 1000$ км уравнение (18) принимает вид

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{C_{CO_2} \cdot \left(\Delta H_{абс} - 8\right)}{374{,}3 \cdot \left(1 - C_{CO_2}\right) - 8} \cdot 100. \tag{19}$$

Уравнение (19) позволяет определить, на сколько процентов следует увеличить добычу природного газа, чтобы компенсировать потери энергии, которую приходится затрачивать на извлечение из газа диоксида углерода.

На рисунке 1 приводятся результаты расчетных исследований увеличения добычи газа для компенсации потерь энергии на извлечение из газа CO_2 для разных концентраций CO_2 в газе при длине газопровода 1000 км.

Анализ данных рисунка 1 свидетельствует, что затраты энергии на извлечение из газа CO_2 не компенсируют тех преимуществ, которые получаются при транспортировке очищенного газа.

Таким образом очевидно, что проводить очистку газа от CO_2 перед его транспортировкой не целесообразно ввиду значительного увеличения расхода энергии.

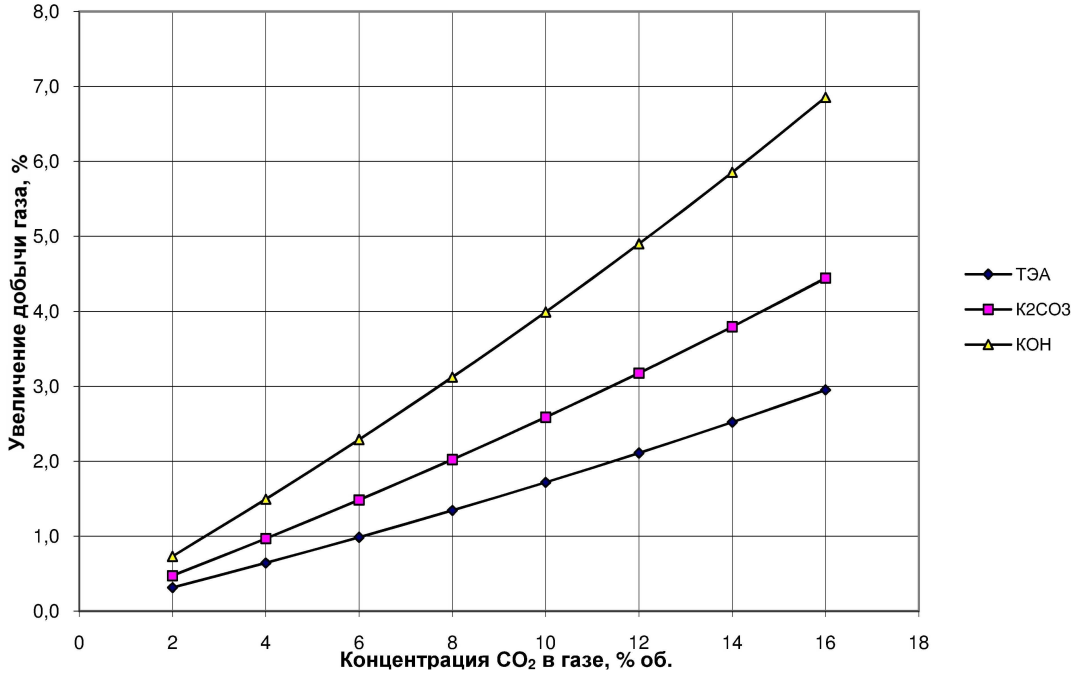

Рисунок 1 – Влияние концентрации диоксида углерода в газе на увеличение добычи газа

Литература:

1. Коуль А.П., Ризенфельд Ф.С. Очистка газа. – М. : Недра, 1968. – 392 с.
2. Алексеев С.З., Афанасьев А.И., Кисленко Н.Н. и др. Очистка природного газа алканоламинами от сероводорода, диоксида углерода и других примесей // Обзорная информация. Серия «Подготовка и переработка газа и газового конденсата». – М. : ИРЦ Газпром, 1999. – 41 с.
3. Галанин И.А., Шестерикова Р.Е., Мурин В.И. Энергетические затраты в установках очистки газа от кислых компонентов // Повышение эффективности подготовки и комплексной переработки газа : труды ВНИПИгаза. – Баку, 1983. – С. 124.
4. Галанин И.А., Шестерикова Р.Е., Басарыгин Ю.М. Пути уменьшения расхода энергии на установках аминовой очистки газа от сероводорода // Строительство газовых и газоконденсатных скважин : сб. науч. статей ВНИИгаза и СевКавНИПИгаза. – 1997. – С. 22–25.
5. Гриценко А.И., Галанин И.А., Зиновьева Л.М. и др. Очистка газов от сернистых соединений при эксплуатации газовых месторождений. – М. : Недра, 1985. – 270 с.

References:

1. Koul A.P., Rizenfeld F. S. Purification of gas. – M. : Nedra, 1968. – 392 p.
2. Alekseev C.Z., Afanasyev A.I., Kislenko N.N., etc. Purification of natural gas with alkanolamines of hydrogen sulfide, carbon dioxide and other impurity // Survey information. Series «Preparation and processing of gas and gas condensate». – M. : IRTs Gazprom, 1999. – 41 p.
3. Galanin I.A., Shesterikova R.E., Murin V.I. Power expenses in gas treatment units from sour components // Increase in efficiency of preparation and complex processing of gas : works VNIPIgaz. – Baku, 1983. – P. 124.
4. Galanin I.A., Shesterikova R.E., Basarygin Yu.M. Ways of reduction of power consumption on installations of amine purification of gas of hydrogen sulfide // Construction of gas and gas-condensate wells: collection of scientific articles of VNIIGAZ and SevKavNIPIgaz. – 1997. – P. 22–25.
5. Gritsenko A.I., Galanin I.A., Zinovyeva L.M., etc. Purification of gases of sulphurous connections at operation of gas fields. – M. : Nedra, 1985. – 270 p.