

УДК 621.594; 575,3; 536,7; 482

**Г.К. Лавренченко, А.В. Копытин**Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-СИГМА», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026  
e-mail: uasigma@paco.net

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОФЕССОРА В.С. МАРТЫНОВСКОГО

Профессор В.С. Мартыновский в своё время сформулировал задачу: «Если использовать холод, вырабатываемый установкой, для ликвидации загрязнений от собственной котельной, то останется ли холод для очистки воздуха от загрязнений, создаваемых другими источниками?». Решению задачи посвящена данная статья, в которой на основе проведённых исследований доказана возможность создания и обеспечения работы такой установки. Для этого разработана схема и методика расчёта эффективных энерготехнологических комплексов, потребляющих природный газ, для производства жидкого низкотемпературного диоксида углерода, газообразного азота и электроэнергии. Предложена методика определения условий, соответствующих максимуму коэффициента ожижения  $\text{CO}_2$  в ожижителе диоксида углерода, работающего по циклу высокого давления. Поставлена и решена задача определения оптимального состава циркулирующего аминового раствора в абсорбционно-десорбционной установке, содержащего 10 % МЭА и 40 % МДЭА, который отвечает минимальному удельному потреблению теплоты на регенерацию раствора 4500 кДж/кг  $\text{CO}_2$ . Создана методика расчёта коэффициента избытка воздуха и количества природного газа, подаваемого в когенерационную установку, для достижения её рабочих характеристик. Найден и обоснован способ эффективного включения когенерационной установки в состав энерготехнологического комплекса и организации процесса горения природного газа в среде кислорода дымовых газов. Определены характеристики энерготехнологического комплекса в режиме переработки дополнительных сторонних дымовых газов. При этом производительность по жидкому низкотемпературному  $\text{CO}_2$  и газообразному  $\text{N}_2$  может увеличиться в 1,5 раза. Определены энергетические характеристики и производительность энерготехнологического комплекса, подтверждающие возможность его автономной работы с высокой термодинамической эффективностью ( $\eta_e = 21\%$ ).

**Ключевые слова:** Энерготехнологический комплекс. Природный газ. Диоксид углерода. Азот. Электроэнергия. Энергетический КПД. Когенерационная установка. Ожижитель диоксида углерода. Абсорбционно-десорбционная установка. Генератор дымовых газов стехиометрического состава.

**G.K. Lavrenchenko, A.V. Kopytin**

## SOLUTION OF THE PROBLEM BY PROFESSOR V.S. MARTYNOVSKY

Professor V.S. Martynovsky at one time formulated the problem: «If you use the cold produced by the plant, for liquidation impurities from the its own boiler then will be a cold for cleaning the air from impurities created by other sources?». This article is devoted solution of the problem, in which on the basis of carried out researches demonstrated the possibility of establishment and maintenance work such installation. For this a scheme and method calculation of the effective energy and technology complex that consumes natural gas for the production of low-temperature liquid carbon dioxide, nitrogen gas and electricity were developed. The method of determine the conditions corresponding to the maximum coefficient liquefaction of  $\text{CO}_2$  in the carbon dioxide liquefier, working on a cycle of high pressure was proposed. The problem of determining the optimal composition of the circulating amine solution in absorption and desorption installation containing 10 % of MEA and 40 % MDEA, which corresponds to the minimum specific consumption of heat for the regeneration solution is 4500 kJ/kg of  $\text{CO}_2$ , is posed and solved. The method of calculation coefficient of excess air and quantity of natural gas supplied to the cogeneration unit, to achieve its performances, was created. Established method of calculating the excess air ratio and the amount of natural gas supplied to the cogeneration unit, to achieve its performances. Found

© Г.К. Лавренченко, А.В. Копытин

and proved way of effective including a cogeneration unit in the energy and technology complex and the organization of the combustion process natural gas in oxygen smoke gases. The characteristics of the energy and technology complex in the mode of processing the additional third-party of smoke gases are determined. In this case the performance of low-temperature liquid CO<sub>2</sub> and of the gaseous N<sub>2</sub> can be increased by 1,5 times. The energy characteristics and performance of the energy and technology complex, confirming the possibility of it's an autonomous with a high thermodynamic efficiency ( $\eta_e=21\%$ ) are determined.

**Keywords:** Energy and technology complex. Natural gas. Carbon dioxide. Nitrogen. Electricity. Exergy efficiency. Cogeneration unit. Carbon dioxide liquefier. Absorption-de-sorption unit. Generator of smoke gases the stoichiometric composition.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ

АДУ — абсорбционно-десорбционная установка;  
 БО — блок осушки;  
 ГВ — горячая вода;  
 ГС — газовая смесь;  
 ДГ — дымовой газ;  
 ДГСС — дымовой газ стехиометрического состава;  
 КА — котельный агрегат;  
 Кип — кипятильник;  
 КМ — компрессорная машина;  
 Конд — конденсатор;  
 КУ — когенерационная установка;  
 МДЭА — метилдиэтаноламин;  
 МЭА — моноэтаноламин;

ОДУ — ожежитель диоксида углерода;  
 Охл — охлаждающий газ;  
 ПГ — природный газ;  
 ПТУ — паротурбинная установка;  
 Рег — регенерирующий газ;  
 ТУ — традиционная установка;  
 ХМ — холодильная машина;  
 ЦВД — цикл высокого давления;  
 ЦСД — цикл среднего давления;  
 Эл — электроэнергия;  
 ЭТК — энерготехнологический комплекс;  
 LTLCO<sub>2</sub> — жидкий низкотемпературный диоксид углерода

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В монографии «Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов» профессор В.С. Мартыновский сформулировал следующую задачу: «Если использовать холод, вырабатываемый установкой, для ликвидации загрязнений от собственной котельной, то останется ли холод для очистки воздуха от загрязнений, создаваемых другими источниками?» [1].

При всей краткости и лаконичности задачи, которая интуитивно понятна, она всё-таки нуждается в пояснении и уточнении. Из условия задачи следует, что холодильная машина должна быть теплоиспользующей. Её назначение — очистка от загрязнений дымовых газов, во-первых, собственной котельной, во-вторых, сторонних источников.

Под загрязнениями следует понимать диоксид углерода (парниковый газ), содержащийся в дымовых газах, образующихся в результате сгорания топлива в собственной котельной или в другом агрегате.

Установка для очистки от загрязнений должна располагаться в непосредственной близости от внешнего источника дымовых газов, чтобы выполнить своё предназначение. Это позволит сократить затраты на сбор и подачу дымовых газов на переработку и очистку.

Анализ задачи В.С. Мартыновского показывает, что самого удаления диоксида углерода из дымовых газов недостаточно. Необходимо получить СО<sub>2</sub> в виде жидкости при низкой температуре с давлением  $P_{тр} < P \leq 1,8$  МПа, где  $P_{тр}$  — давление в тройной точке

СО<sub>2</sub>. Диоксид углерода в таком состоянии — универсальный продукт для транспортирования, хранения и применения, а также для последующего захоронения или использования, которое бы позволило его вернуть в глобальный природный цикл, например, в результате производства карбамида — эффективного удобрения. Следовательно, во-первых, необходимо извлечь диоксид углерода из дымовых газов, во-вторых, получить его в конденсированном низкотемпературном состоянии.

Известно, что наиболее распространёнными способами извлечения СО<sub>2</sub> из газовых смесей, в том числе и из дымового газа, являются следующие:

1. Вымораживание СО<sub>2</sub> на поверхностях, охлаждаемых внешней холодильной машиной.

2. Вымораживание СО<sub>2</sub> из потока дымового газа, охлаждаемого при расширении его в турбодетандере.

3. Выделение СО<sub>2</sub> с помощью процессов абсорбции-десорбции.

Из всех перечисленных способов только в одном используется холодильная машина, которая должна охлаждать поверхность теплообмена, на которой будет вымораживаться диоксид углерода из дымовых газов. Температура поверхности вымораживателя однозначно определяется конечным значением содержания СО<sub>2</sub> в дымовых газах и должна быть ниже температуры насыщения диоксида углерода в соответствии с его парциальным давлением в смеси. Так, например, если в конце процесса, который реализуется при атмосферном давлении, содержание СО<sub>2</sub> сос-