

Чистофорова Наталья Васильевна,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: ryabinak@mail.ru

Ушенин Захар Сергеевич,

магистрант, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: zakhar.ushenin@yandex.ru

СИНТЕЗ САР МЕМБРАННОЙ УСТАНОВКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ВСГ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛЬНОГО И ТЕПЛООВОГО БАЛАНСОВ АППАРАТОВ

Chistoforova N.V., Ushenin Z.S.

SYNTHESIS OF THE SAR OF MEMBRANE FACILITY FOR EXTRACTING HYDROGEN FROM HYDROGEN-CONTAINING GASES BASED ON THE ANALYSIS OF THE MATERIAL AND THERMAL BALANCES OF APPARATUSES

Аннотация. Приведены материальные и тепловые балансы аппаратов мембранной установки извлечения водорода из ВСГ. Разработаны информационные схемы данных аппаратов. Предложены решения по автоматизации установки.

Ключевые слова: водородосодержащий газ, мембранная установка, пермеатор, сепаратор, теплообменник, синтез САР, материальный и тепловой баланс.

Abstract. The material and thermal balances of the apparatuses of the membrane facility for the extraction of hydrogen from hydrogen-containing gases are given. Information schemes for these devices have been developed. Solutions for plant automation are proposed.

Keywords: hydrogen from hydrogen-containing gases, membrane facility, permeator, separator, heat exchanger, synthesis of the SAR, material and thermal balances.

В настоящее время извлечение водорода из водородосодержащих газов (ВСГ) чаще всего выполняется двумя способами: концентрирование при помощи мембранных установок и извлечение с помощью адсорбционных установок. Выбор метода получения водорода зависит от состава сырья, необходимой чистоты водорода, а также от режима эксплуатации, производственной мощности и других факторов, связанных со спецификой работы конкретного предприятия.

На основании анализа нами было принято решение исследовать установку мембранного типа. Был произведен расчет материального и теплового балансов сепаратора, теплообменника и пермеатора.

Материальный баланс по всему веществу в сепараторе:

Уравнение динамики:

$$\rho_k \cdot S \cdot \frac{dh_k}{dt} = G_H \cdot (C_k + C_o) - G_r \cdot C_o - G_k \cdot C_k, \quad (1)$$

Уравнение статики при $\frac{dh_k}{dt} = 0$:

$$G_H \cdot (C_k + C_o) = G_r \cdot C_o + G_k \cdot C_k, \quad (2)$$

где S – площадь поперечного сечения сепаратора, m^2 ; h_k – уровень конденсата, m ; ρ_k – плотность конденсата, kg/m^3 ; G_H – расход неочищенного ВСГ, m^3/c ; G_r – расход очищенного ВСГ, m^3/c ; G_k – расход конденсата, m^3/c .

Математическое описание на основе теплового баланса в теплообменнике:

Уравнение динамики:

$$\rho_r \cdot V_r \cdot c_{pr} \cdot \frac{d\theta_r^{в\text{ых}}}{dt} = G_{\text{п}} \cdot c_{\text{рп}} \cdot (\theta_{\text{п}}^{\text{вх}} - \theta_{\text{п}}^{\text{в\text{ых}}}) - G_r \cdot c_{\text{рr}} \cdot (\theta_r^{\text{в\text{ых}}} - \theta_r^{\text{вх}}), \quad (3)$$

Уравнение статики при $\frac{d\theta_r^{\text{в\text{ых}}}}{dt} = 0$:

$$G_{\text{п}} \cdot c_{\text{рп}} \cdot (\theta_{\text{п}}^{\text{вх}} - \theta_{\text{п}}^{\text{в\text{ых}}}) = G_r \cdot c_{\text{рr}} \cdot (\theta_r^{\text{в\text{ых}}} - \theta_r^{\text{вх}}), \quad (4)$$

где $\theta_{\text{п}}^{\text{вх}}, \theta_r^{\text{вх}}$ – температура пара/ВСГ на входе, °K; $G_{\text{п}}, G_r$ – расход пара/ВСГ, м³/с; $c_{\text{рп}}, c_{\text{рr}}$ – удельная теплоемкость пара/ВСГ, Дж/(кг·°K); $G_{\text{п}}$ – расход пара, м³/с; $\theta_{\text{п}}^{\text{в\text{ых}}}, \theta_r^{\text{в\text{ых}}}$ – температура пара/ВСГ на выходе; ρ_r – плотность ВСГ, кг/м³, V_r – объем ВСГ, м³.

Материальный баланс по всему веществу в пермеаторе:

Уравнение динамики:

$$\rho_{\text{пер}} \cdot K_{\text{м}} \cdot \frac{V_{\text{об}}}{G_{\text{пер}}} \cdot \frac{dG_{\text{пер}}}{dt} = G_{\text{гпо}} - G_{\text{ост}} \cdot K_{\text{с}} - G_{\text{пер}} \cdot K_{\text{м}}, \quad (5)$$

Уравнение статики при $\frac{dG_{\text{пер}}}{dt} = 0$:

$$G_{\text{гпо}} = G_{\text{ост}} \cdot K_{\text{с}} + G_{\text{пер}} \cdot K_{\text{м}}, \quad (6)$$

где $G_{\text{гпо}}$ – расход подогретого и очищенного ВСГ, кг/с; $\rho_{\text{пер}}$ – плотность пермеата, кг/м³; $G_{\text{ост}}$ – расход остаточного газа, кг/с; $G_{\text{пер}}$ – расход пермеата, кг/с; $V_{\text{об}}$ – объем пермеатора, м³; $K_{\text{м}}$ – коэффициент, характеризующий качество мембранных волокон. $K_{\text{с}}$ – коэффициент, характеризующий качество мембранной стенки.

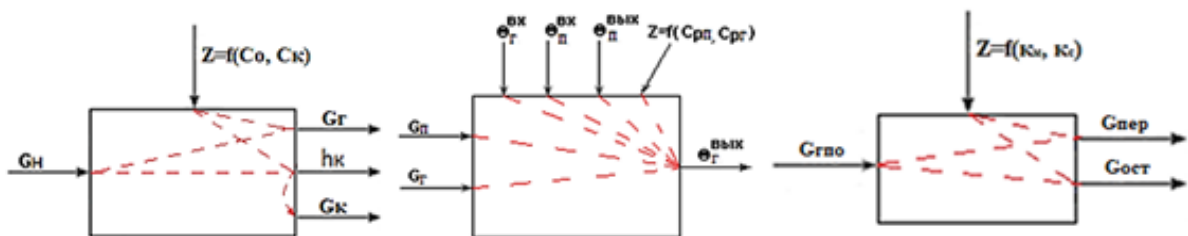


Рисунок 1 – Информационные схемы сепаратора, теплообменника и пермеатора

На основе анализа материальных балансов были разработаны информационные схемы данных аппаратов, произведен синтез системы автоматического регулирования (САР), включающий в себя исследование установки, отыскание рациональной структуры системы и установление оптимальных величин параметров ее отдельных звеньев.

Результатом синтеза САР являются предложенные решения по автоматизации установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудников Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности. - М.: Химия, 1987. - 368 с.