

ЖУЧЕНКО А. І., д.т.н., проф.; МАТВІЄНКО О. І., магістрант
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКЦІЙНИХ ТРУБ ПЕЧІ ТРУБЧАСТОГО ТИПУ В КОНВЕРСІЇ МЕТАНУ

Проаналізовано математичну модель реакційної труби печі трубчастого типу – основного апарата на першій стадії конверсії метану. Одержано систему диференціальних рівнянь для подальших досліджень.

Ключові слова: конверсія метану, реакційна труба, піч трубчастого типу, математична модель.

© Жученко А. І., Матвієнко О. І., 2014.

Постановка проблеми. Парова каталітична конверсія метану в трубчастих печах є найбільш економічним способом одержання технологічного газу й водню. Відомо декілька моделей печей трубчастого типу, зокрема регресійні й побудовані на основі теорії нечіткої логіки та теорії нечітких множин [1]. Проте вони не дозволяють моделювати динаміку процесу конверсії, що робить неможливим його оптимізацію.

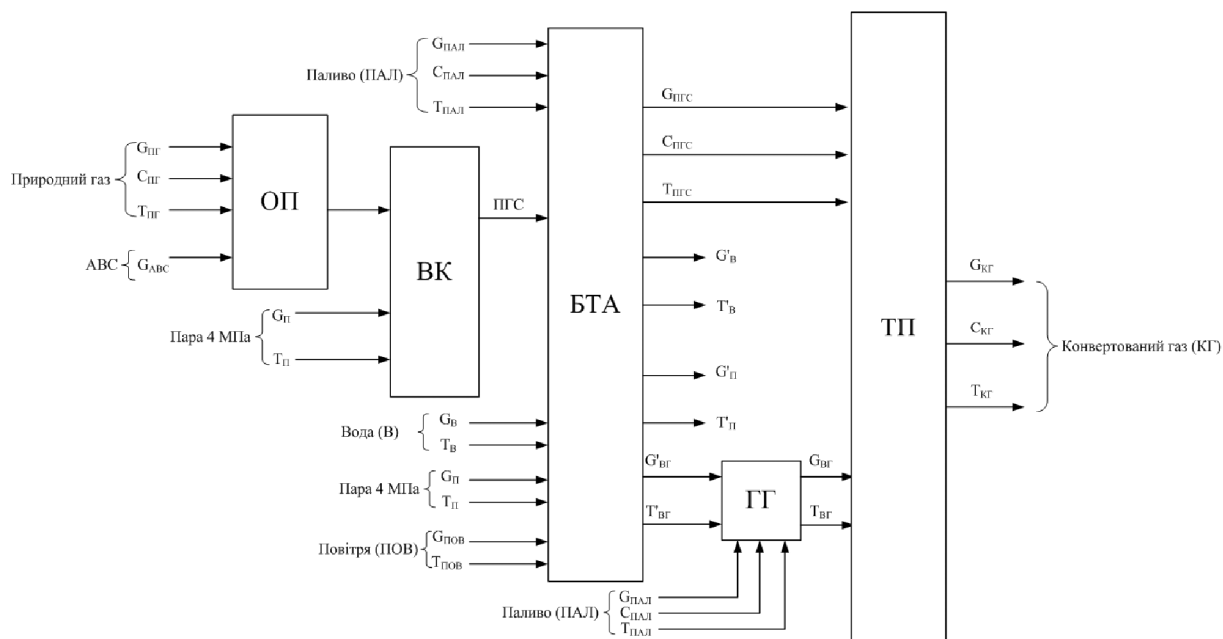
Метою статті є розроблення математичної моделі реакційних труб печі трубчастого типу, де відбувається конверсія метану.

Виклад основного матеріалу. Основним об'єктом парової конверсії є трубчаста піч, в якій відбувається високотемпературний каталітичний риформінг вуглеводневих з'єднань. Для створення її математичної моделі зроблено такі припущення: у поперечному й поздовжньому перерізах відбувається ідеальне витіснення; сировина займає весь переріз; теплові втрати в навколишнє середовище відсутні.

Аналіз трубчастої печі як об'єкта керування дозволяє виділити сукупність взаємопов'язаних вхідних і вихідних координат (рис. 1, 2):

– вектор вхідних незалежних змінних: $G_{\text{пг}}$ – витрата природного газу, що йде на конверсію; $G_{\text{п}}$ – витрата водяної пари середнього тиску, що спрямовують на змішування з природним газом; $G_{\text{пал}}$ – витрата палива, що надходить на газові пальники;

– вектор вихідних змінних: концентрація компонентів КГ $C_{\text{кг}}$ (головним показником є вміст метану в конвертованому газі), кількість конвертованого газу $G_{\text{кг}}$, його температура $T_{\text{кг}}$ і тиск $P_{\text{кг}}$ на виході з печі;



ВП – вогневий нагрівник; ВК – вхідний колектор; БТА – блок теплообмінної апаратури;
 ГГ – газові горілки; ТП – трубчаста піч

Рис. 1 – Структурно-параметрична схема процесу конверсії метану

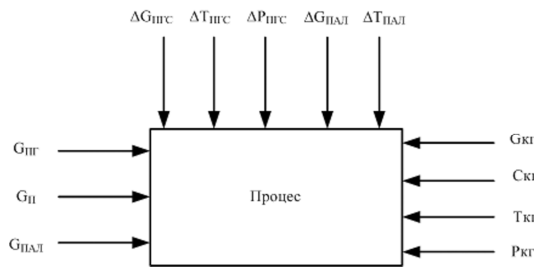


Рис. 2 – Схема об'єкта оптимізації

– вектор збурень: $\Delta G_{пгс}$ – варіювання витрати парогазової суміші, що надходить до печі; $\Delta C_{пгс}$ – варіювання складу парогазової суміші; $\Delta P_{пгс}$ – варіювання тиску парогазової суміші в печі; $\Delta G_{пал}$ – варіювання витрати палива; $\Delta T_{пал}$ – варіювання температури палива. Можна виокремити такі групи збурень: некеровані зміни фізико-хімічних властивостей сировини ($\Delta G_{пал}$, $\Delta C_{пал}$, $\Delta P_{пал}$); зміни властивостей каталізатора (отруєння, закоксовування, дезактивація); зміни властивостей теплообмінних поверхонь (вигоряння, корозія, відкладення солей); зміни розподілу

навантаження через відмову реакторів печі.

За стаціонарного режиму конверсію в трубах, що обігріваються ззовні, можна описати системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} D_r \left(\frac{\partial^2 C_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_i}{\partial r} \right) - w \frac{\partial C_i}{\partial x} - \omega_i = m \frac{\partial C_i}{\partial t} \\ \lambda_r \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) - c_p w \frac{\partial T}{\partial x} - \sum \Delta H_i \omega_i = S C_{кг} \rho_{кг} \frac{\partial T}{\partial t} \\ \frac{\Delta P}{L} = \frac{L \omega^2 \gamma}{2g} \frac{a}{\epsilon^3} f_e \\ \omega_i = k_0 \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right) C_{ікл} \end{cases}$$

де r , x – координати радіуса й довжини труб; t – координата за часом; w – швидкість потоку; λ_r – ефективна теплопровідність у поперечному напрямку; D_r – ефективний коефіцієнт дифузії в поперечному напрямку; ω_r – спостережувана швидкість реакції; $\sum \Delta H_i \omega_i$ – сумарний тепловий ефект; C_i – концентрація конвертованого газу; T – температура конвертованого газу; S – площа поперечного перерізу реакційних труб; $C_{кг}$ – питома масова теплоємність конвертованого газу; $\rho_{кг}$ – густина конвертованого газу; k_0 – константа швидкості реакції нульового порядку; E_i – кінетичний параметр.

Відповідні межові умови: $\frac{\partial C_i}{\partial r} \Big|_{r=0} = \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0$; $\lambda_r \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha (T_{ст} - T|_{r=R})$; $T|_{x=0} = T_0$; $C_i|_{x=0} = C_{i0}$, де α –

коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні труби з урахуванням теплового випромінювання. При цьому для парової конверсії достатньо розрахунку двох концентрацій CH_4 і CO_2 ($i = 1, 2$).

Висновок. Розроблено математичну модель реакційних труб печі трубчастого типу в конверсії метану. У подальшому за допомогою одержаної математичної моделі будуть розраховані профілі температур і концентрацій. Доцільно також перетворити одержану систему диференціальних рівнянь у передатні функції за каналами «керування» і «збурення» за допомогою перетворення Лапласа та скористатися програмним пакетом Autodesk Simulation CFD.

Список використаної літератури

1. Кривов М. В. Моделирование и оптимизация нечеткоопределенных технологических процессов (на примере процесса паровой конверсии углеводородов) : дисс. ... канд. техн. наук / М. В. Кривов. – Ангарск, 2000. – 154 с.

Надійшла до редакції 25.03.2014.

Zhuchenko A. I., Matvijenko O. I.

MODELING OF REACTION TUBES OF TUBE TYPE FURNACE FOR METHANE CONVERSION

The most famous technologies of making hydrogen are based on chemical and thermal processes also on electrolysis of water. However, they major shortcomings as the use of high potential energy to the costs of fossil fuels and therefore significant pollution. The disadvantage of electrolysis of water is a significant level of power consumption. Electrolytic hydrogen is the available, but more expensive product. Today, the world's largest distribution obtained technology of developing hydrogen or a mixture of hydrogen and other gases by steam reforming of natural gas – methane. But almost half of the initial volume of gas consumed in carrying out endothermic steam reforming process. So the world is making an intensive search for such technologies that produces hydrogen, which would meet the requirements of economic and energy efficiency and environmental safety.

The process of steam reforming of hydrocarbon compounds designed to produce hydrogen technology and other process gases by high-temperature catalytic reforming in the cycle of production of synthesis gas. The process of

conversion is one of the most important stages of the process of obtaining gas in ammonia synthesis loop. Despite the complexity of hardware design, steam catalytic conversion of methane in the furnace tube is currently the most economical way to get the process gas and hydrogen.

Therefore, to improve it is relevant and necessary scientific and technical challenge. Given that the full-scale study of the process of conversion is expensive, very difficult and dangerous. To solve the problems of design of process equipment, synthesis and study of control systems, simulators technical personnel, the challenge of obtaining the mathematical model of the process object that will best reproduce the properties of real prototype to a wide range of operation. However, creating of a model is based on a compromise between the complexity of the mathematical tools and depth of simplifications and neglects. Today we know a few tube type furnace models, including regression models, which are widely used because of its ability to approximate analytical relationship between input, output variables for multiple passively or actively conducted experiments, and mathematical models are based on the theory of fuzzy logic and fuzzy set theory. The general scientific problem is that with most of them do not allow modeling the dynamics of the process and, therefore, not part of the unsolved scientific problem is that it makes it impossible to optimize dynamic processes.

Keywords: *conversion of methane, the reaction tube, tube type furnace, the mathematical model.*

References

Krivov M. V. Modelirovanie i optimizacija nechetkoopredelennyh tehnologicheskikh processov (na primere processa parovoj konversii uglevodorodov) [Modeling and optimization of ill-defined processes (for example, process steam conversion of hydrocarbons)] : diss. ... kand. tehn. nauk / M. V. Krivov. – Angarsk, 2000. – 154 s.