

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono matematyczny model dynamiki wymiennika kanałowego, gdzie termicznemu rozdziałowi substancji towarzyszy przeponowa wymiana ciepła (H&MPE - Heat and mass plate exchanger). Należy dodać, że wymienniki tego typu nie są stosowane w przemyśle, gdyż nadal są w fazie badań. Z drugiej strony tego rodzaju rozwiązanie, nawiązujące do technologii, występującej w literaturze anglojęzycznej pod nazwą: heat-integrated distillation column (HIDiC), umożliwi zmniejszenie zużycia ciepła o 40-60% w stosunku do istniejących rozwiązań przemysłowych.

W celu zapewnienia stabilnych parametrów eksploatacyjnych rozważanego w pracy wymiennika H&MPE, wymagane jest zaprojektowanie odpowiedniego układu regulacji. Do tego celu niezbędne jest opracowanie matematycznego modelu dynamiki badanego obiektu.

Celem pracy jest potwierdzenie poprzez symulacje numeryczne, odporności wymiennika H&MPE na zmienne warunki eksploatacji przemysłowej, polegającej na zachowaniu wymaganej czystości rozdzielanych produktów. Zmianom mogą ulegać parametry wejściowe (temperatura, ciśnienie oraz strumienie masowe cieczy i oparów), stopień zapelnienia kanału wymiennika cieczą oraz zanieczyszczenie powierzchni wymiany ciepła osadami, co ma wpływ na czystość uzyskiwanych produktów destylacji.

W pracy przedstawiono matematyczny model wymiennika H&MPE w stanie ustalonym oraz nieustalonym - dynamicznym. Na podstawie równań bilansu energii i masy wyznaczono parametry dla stanu ustalonego funkcjonowania wymiennika, natomiast stosując teorię oporów cieplnych dla wymiany ciepła wyznaczono jego geometrię.

Matematyczny model dynamiki wymiennika opracowano w oparciu o powszechnie stosowany w praktyce inżynierskiej model sekcyjny o parametrach skupionych. Dalej wyznaczono transmitancje operatorowe, które wiążą ze sobą sygnały wejściowe i wyjściowe układu. Wykorzystując transmitancje, opracowano schemat blokowy wymiennika H&MPE, a następnie zaimplementowano i poddano symulacji jako model Simulinka w środowisku MATLAB. Z przeprowadzonych symulacji pracy modelu uzyskano charakterystyki dynamiczne - krzywe przedstawiające przebieg czasowy sygnału wyjściowego na zakłócenie wywołane przez określoną zmianę sygnału wejściowego.

Uzyskane z symulacji numerycznej wyniki świadczą o stabilności pracy badanego modelu wymiennika H&MPE a jego wykorzystanie może być podstawą przy opracowywaniu układów regulacji wymienników typu kanałowego do termicznej separacji substancji.

Zakres pracy obejmuje:

- przegląd literatury przedmiotu, sformułowanie problemu badawczego oraz określenie celu pracy,
- określenie bazy danych (parametrów termodynamicznych, takich jak: ciśnienie, temperatura, strumienie masowe oraz właściwości fizykochemiczne cieczy i oparów: gęstość, lepkość, ciepło właściwe, przewodność cieplna, ciepło parowania) na podstawie symulacji utworzonego modelu wymiennika H&MPE w stanie ustalonym,
- określenie parametrów geometrycznych wymiennika H&MPE z wykorzystaniem modelu oporów cieplnych oraz modelu półki teoretycznej w wymianie ciepła i masy,
- określenie sygnałów wejściowych i wyjściowych dla modelu sekcijnego dynamiki wymiennika H&MPE,
- wyznaczenie transmitancji operatorowych wiążących sygnały wejściowe i wyjściowe dla wymiennika H&MPE,
- opracowanie schematu blokowego wymiennika H&MPE,
- symulacje numeryczne wymiennika H&MPE w stanie nieustalonym,
- analizę uzyskanych charakterystyk, pod względem stabilności dynamicznej układu na zmianę sygnałów wejściowych, na podstawie przebiegu czasowego sygnałów wyjściowych,
- analizę uzyskanych charakterystyk pod względem stabilności dynamicznej układu na typowe uwarunkowania przemysłowe, takie jak stopień zatrzymania cieczy w aparacie oraz narastanie oporu cieplnego osadów,
- weryfikację hipotezy badawczej w oparciu o przebieg symulacji i uzyskane wyniki,
- opracowanie wniosków końcowych.

Słowa kluczowe: rektyfikacja, dynamika, HiDIC, integracja cieplna, wymiana ciepła

SUMMARY

The paper presents a mathematical model of the dynamics of a channel exchanger, where thermal separation of substances is accompanied by membrane heat exchange (H&MPE - Heat and mass plate exchanger). It should be added that exchangers of this type are not used in industry, as they are still in the research phase. On the other hand, this type of solution, referring to the technology used in the English-language literature under the name: heat-integrated distillation column (HIDiC), allows to reduce heat consumption by 40-60% compared to existing industrial solutions.

In order to ensure stable operating parameters of the H&MPE exchanger considered in operation, it is required to design an appropriate control system. For this purpose, it is necessary to develop a mathematical model of the dynamics of the tested object.

The aim of the work is to confirm, through numerical simulations, the resistance of the H&MPE exchanger to changing conditions of industrial operation, consisting in maintaining the required purity of the separated products. The input parameters (temperature, pressure and mass streams of liquids and vapors), the degree of filling the exchanger channel with liquid and contamination of the heat exchange surfaces with sediments may change, which has an impact on the purity of the distillation products obtained.

The paper presents a mathematical model of the H&MPE exchanger in steady and transient dynamic states. Based on the energy and mass balance equations, the parameters for the steady-state operation of the exchanger were determined, while using the thermal resistance theory for heat transfer, its geometry was determined.

The mathematical model of the exchanger dynamics was developed on the basis of the lumped-parameter approach, commonly used in engineering practice. Next, the transfer functions, connecting the input and output signals of the system with each other, were determined. Using transfer functions, a block diagram of the H&MPE exchanger was developed, and then implemented and simulated as a Simulink model in the MATLAB environment. Dynamic characteristics were obtained from the simulations of the mathematical model - curves showing the time course of the output signal to the disturbance caused by a specific change in the input signal.

The results obtained from the numerical simulation prove the stability of the tested H&MPE exchanger model and its use may be the basis for the development of channel-type exchanger control systems for thermal separation of substances.

The scope of work includes:

- review of the literature on the subject, formulation of the research problem and definition of the aim of the work,
- determination of the database (thermodynamic parameters, such as pressure, temperature, mass flow rate and properties of liquids and vapors: density, viscosity, specific heat, thermal conductivity, heat of vaporization) based on the simulation of the created H&MPE exchanger model in a steady state,
- determination of the geometric parameters of the H&MPE exchanger using the thermal resistance model and the theoretical plate model in heat and mass transfer,
- determination of input and output signals for the lumped-parameter model of the dynamics of the H&MPE exchanger,
- determination of transfer functions connecting input and output signals for the H&MPE exchanger,
- development of a block diagram of the H&MPE exchanger,
- numerical simulations of the H&MPE exchanger in a transient state,
- analysis of the obtained characteristics, from the point of view of the dynamic stability of the system to the change of input signals, based on the time behaviour of the output signals,
- analysis of the obtained characteristics from the point of view of the dynamic stability of the system for typical industrial conditions, such as: the degree of liquid retention in the apparatus and increase of thermal fouling resistance,
- verification of the research hypothesis based on the course of the simulation and the obtained results,
- preparation of final conclusions.

Keywords: rectification, dynamics, HiDIC, thermal integration, heat transfer