

УДК 544.41 664.9.047

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.2/13>**Коротинський А.П.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Абрамова А.О.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Складанний Д.М.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ У ВИРОБНИЦТВІ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ТА ЇЇ СПРОЩЕННЯ ДЛЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ

У статті проведено аналізування стану проблеми, що присвячена розробленню математичних моделей з метою їх ефективного використання у системах автоматизованого керування. Все більше авторів приділяють увагу моделям, що враховують специфіку процесів, які протікають у об'єктах моделювання. Для комп'ютерного моделювання досліджуваних процесів та побудови точних математичних моделей все частіше застосовують універсальний програмний комплекс ANSYS, що використовує метод кінцевих елементів для побудови сіток в ANSYS Meshing. Об'єктом дослідження є процес кипіння у кубі ректифікаційної колони при виробництві оцтової кислоти з метою побудови спрощеної математичної моделі для використання у задачах синтезу та керування. Проаналізовано процес виробництва оцтової кислоти та його особливості, визначено, що якість кінцевого продукту досягається шляхом ректифікації. Побудовано математичні моделі теплообміну і масообміну досліджуваного об'єкту із врахуванням початкових умов. Подальше моделювання досліджуваного об'єкту здійснювалося за допомогою програмного середовища ANSYS. Для моделювання сформовано наступні вихідні дані: геометричний опис об'єкту, фізичні властивості середовища, з яким він взаємодіє та початкові умови моделювання. Створена сіткова модель із врахуванням необхідних параметрів, вибір яких зумовлений типом процесу, що досліджується, та обчислювальною потужністю доступного обладнання. У результаті математичного моделювання в ANSYS процесу випаровування побудовано поля розподілу модельованих величин та визначено зміни параметрів у часі. Отримано складну модель, що не пристосована до задач синтезу та дослідження систем керування. Отримана модель потребує спрощення із виконанням основних вимог: відповідність її поведінки вихідній моделі та здатність швидко розраховувати стан системи. Тому проведено ідентифікацію об'єкта з використанням MatLab System Identification Toolbox. За отриманими графіками відповідності ідентифікованих моделей різних порядків встановлено, що найкращі результати дає модель сьомого порядку. На основі обраної моделі побудовано перехідні характеристики математичної моделі за каналами регулювання та збурення.

**Ключові слова:** керування, математичне моделювання, ректифікація, випаровування, ідентифікація, канал регулювання, канал збурення.

**Постановка проблеми.** Оцтова кислота, як фундаментальна органічна сполука, відіграє ключову роль у численних промислових процесах. Її виробництво, зокрема, вимагає високоточних і ефективних технологій розділення сумішей, яке відбувається в ректифікаційних колонах. Вірне розуміння фізико-хімічних явищ, що відбуваються всередині колони та врахування впливу різних параметрів, таких як температура, тиск, склад суміші тощо у поєднанні із застосуванням сучасних методів

здатне забезпечити якісне моделювання процесу та ефективного використання одержаних моделей. В той же час слід дотриматися компромісу між складністю одержаної математичної моделі та витрат ресурсів на її вирішення, що є важливим для задач синтезу та дослідження автоматизованих систем керування виробничими процесами. Тому, розроблення спрощеної моделі ректифікаційної колони у виробництві оцтової кислоти з метою використання у задачах керування залишається **актуальним**.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Число наукових публікацій, присвячених розробленню математичних моделей, які можна ефективно використовувати у системах автоматизованого керування останнім часом неухильно зростає. Їх авторами все частіше враховуються глибша суть процесів, які протікають у об'єктах моделювання. Зокрема, автори роботи [1] розробили математичну модель, яка описує процес теплообміну між скловарною піччю та навколишнім середовищем. Ця модель дозволяє значно краще розуміти процеси теплопередачі від печі до повітря, стін, інших об'єктів. Розроблена модель дозволяє оптимізувати роботу печі для досягнення максимальної ефективності та мінімізації втрат тепла, а також дозволяє передбачити, як змінюватимуться теплові потоки в печі при зміні зовнішніх умов або параметрів роботи. Подібними міркуваннями щодо підвищення ефективності процесу у своїй роботі керувалася авторка статті [2], яка в своїй роботі зосередилася на розробленні та аналізованні системи програмного керування, що використовується для оптимізації процесу випалювання вуглецевих виробів. Цей процес є критичним у багатьох галузях промисловості, таких як виробництво металургійної продукції, кераміки та інших матеріалів. У роботі [3] автори зосередилися на розробленні математичної моделі для розпилювального сушильного пристрою, яка б точно описувала фізичні процеси, що відбуваються під час сушіння розпиленних рідин. Така модель є невід'ємною частиною створення ефективних систем автоматичного керування процесом сушіння. Розроблена модель використана для розроблення алгоритмів керування, які б дозволяли оптимізувати процес сушіння за заданими параметрами. Автори статті [4] зосередилися на розробленні імітаційної моделі кожухотрубчастого теплообмінника, який широко використовується в нафтогазовій промисловості. Запропонована ними модель дозволяє вивчити процеси теплообміну в теплообміннику та оптимізувати його роботу.

В останні роки для розроблення достатньо точних моделей технологічних процесів авторами застосовується система моделювання *ANSYS* [5]. Ця система дозволяє будувати високоточні математичні моделі об'єктів, проте значний час, витрачений на розв'язання, ускладнює їх використання у системах автоматизації. Зокрема, такий підхід продемонстрований авторами у роботі [6]. Автори досліджують, вплив зміни початкової температури повітря, яке

подається для горіння палива на температурний режим процесу випалювання вуглецевих виробів. Автори [7] детально розглядають важливий етап проведення чисельних розрахунків за допомогою методу обчислювальної динаміки рідин (CFD – побудова сітки в програмному комплексі *ANSYS Meshing*). Якість побудованої сітки безпосередньо впливає на точність і збіжність розрахунків, тому цей етап є критичним для отримання достовірних результатів. Автори детально описують суть методу кінцевих елементів, який є основою для побудови сіток в *ANSYS Meshing*. Запропонувати досить точну модель, яка адекватно відображає поведінку матеріалів – бетону і арматури – під дією динамічних навантажень, вдалося авторам [8]. Зокрема, вони зосереджували увагу на впливі швидкості навантаження та методу побудови сітки на результати чисельного моделювання в програмному комплексі *ANSYS*.

**Постановка завдання.** Метою статті є побудова моделі процесу кипіння, що відбувається у кубі ректифікаційної колони у виробництві оцтової кислоти з наступним спрощенням з метою використання у задачах синтезу та дослідження систем керування.

**Виклад основного матеріалу.** Проаналізувавши процес виробництва оцтової кислоти та його особливості, визначено, що якість продукту суттєво залежить від його чистоти. В більшості випадків очищення здійснюється шляхом ректифікації, яка полягає в розділенні сумішей на фази по температурах кипіння. Очевидно, що основним керуючим впливом є температура суміші. Зазвичай температура речовини задається у зоні кипіння ректифікаційної колони – кубі колони. Таким чином, кип'ятильник ректифікаційної колони є важливим для моделювання об'єктом.

Для математичного моделювання процесу, що відбувається у будь-якому апараті, необхідно врахувати всі його складові, зокрема процеси масообміну і теплообміну. У випадку куба колони, теплообмін відбувається перенесенням тепла через стінку, а масообмін представлений перенесенням маси з об'єму рідини в процесі випаровування. Виходячи з цих міркувань, складемо математичну модель процесу випалювання з описом всіх фізико-хімічних складових.

Оскільки теплопередача у кубі ректифікаційної колони відбувається від потоку пари через стінку, то для опису цього процесу використовується система рівнянь, яка включає у себе рівняння Нав'є-Стокса (1, 2), рівняння теплопровідності (3) та рівнянням неперервності середовища (4).

$$\frac{\partial \underline{v}}{\partial t} + (\underline{v} \nabla) \underline{v} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla P + \nu \Delta \underline{v} - \beta T \underline{g} \quad (1)$$

$$\rho = \rho_0 (1 + \beta T) \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \underline{v} \nabla T = a \Delta T \quad (3)$$

$$\text{div}(\underline{v}) = 0 \quad (4)$$

Розв'язок цієї системи можливий за наявності початкових умов. Швидкість потоку виходячи з діаметру труби, густини та витрати визначається за рівнянням (5).

$$v(x) = \frac{4G}{\rho \pi d_i^2} \quad (5)$$

Визначення коефіцієнту тепловіддачі проводимо за критеріальними рівнянням (6).

$$= Nu \frac{\lambda}{d_i};$$

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,37} \varepsilon; \quad (6)$$

$$Re = \frac{v(x) d_i \rho}{\mu}, \quad Pr = \frac{C_p \mu}{\lambda}, \quad \varepsilon \approx 1.$$

Рівняння стаціонарної теплопровідності.

$$\alpha_0 \Pi_0 (T_0 - T_s) = k_i \Pi_i (T_s - T_i);$$

$$\Pi_0 = \pi d_o; \quad \Pi_i = \pi d_i$$

$$k_i = \left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_i \ln \left( \frac{d_o}{d_i} \right)}{2\lambda_m} \right)^{-1}$$

Записавши вихідні умови, маємо змогу одержати рівняння, що описує температуру стінки (7).

$$T_s = \frac{\alpha_o d_o T_o + k_i d_i T_i}{\alpha_o d_o + k_i d_i} \quad (7)$$

де  $d_i$  – внутрішній діаметр,  $d_o$  – зовнішній діаметр трубки,  $T_o$  – температура зовні трубки,  $T_i$  – температура всередині трубки,  $\alpha_o$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $k_i$  – коефіцієнт теплопровідності.

Основним масообмінним процесом у випарнику є кипіння – процес інтенсивного пароутворення, як на поверхні рідини, так і по її об'єму. По об'єму рідини утворюються зони поділу фаз, між рідиною та бульбашками повітря та пари. Основна умова початку кипіння рідини описується рівнянням (8).

$$p_n = p_0 + \rho g h + \frac{2\sigma}{R} \quad (8)$$

де  $p_n$  – це тиск насиченої пари в бульбашці,  $p_0$  – зовнішній тиск,  $\rho$  – густина,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $h$  – висота стовпа рідини над бульбашкою,  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу.

Моделювання об'єкту здійснювалося за допомогою програмного середовища ANSYS, яке дозволяє моделювати процеси, що протікають в апаратах виходячи з заданих фізичних властивостей [9]. Для моделювання необхідно задати геометричний опис об'єкту, фізичні властивості середовища, з яким він взаємодіє, та початкові умови моделювання.

З геометричної точки зору кип'ятильник являє собою рекуперативний теплообмінник, в якому теплообмін відбувається через металеву стінку. Зазвичай такий теплообмінник має одну трубу, в якій буде гріюча пара, а навколишній об'єм заповнений рідиною, що підлягає нагріванню. Для використання створеної геометрії в розрахунках потрібно визначити усі складові та на її основі створити сітку. Позначення всіх складових об'єкту представлено на рис. 1. Створення сіткової моделі є невід'ємною частиною процесу комп'ютерного інженерного моделювання. Якість сітки впливає на точність, збіжність і швидкість отримання рішення. Час, витрачений на створення сітки, часто займає значну частину загального часу комп'ютерного інженерного розрахунку. Крім того, значна кількість елементів сітки вимагає значних обчислювальних ресурсів, тож слід дотримуватися балансу точності моделювання з часом розрахунку [7]. У сучасних програмних пакетах використовуються декілька основних видів сітки для 3D моделювання: тетрагедральна, декартова і гексадральна тощо.

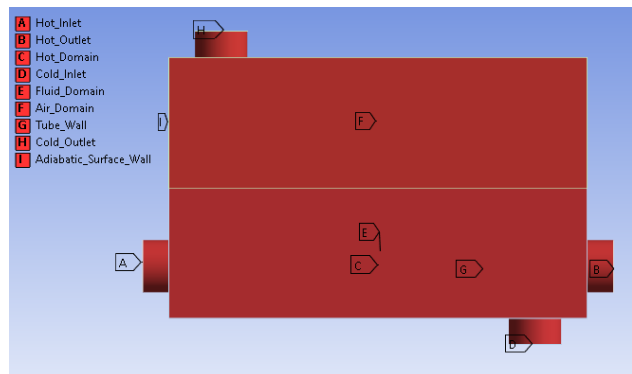


Рис. 1. Компоненти кип'ятильника

Існує ряд способів, що дозволяють вирішувати рівняння переносу в області приграничних шарів за наявності високих градієнтів параметрів потоку [8]. Для побудови сітки необхідно задати параметри, які визначають її деталізацію. Перелік обраних параметрів наведено на рис. 2. Вибір параметрів зумовлений типом процесу, що досліджується, та обчислювальною потужністю доступного обладнання.



<b>Defaults</b> Physics Preference: CFD Solver Preference: Fluent Element Order: Linear <input type="checkbox"/> Element Size: 1,e-002 m Export Format: Standard Export Preview Surface Mesh: No		<b>Quality</b> Check Mesh Quality: Yes, Errors <input type="checkbox"/> Target Skewness: Default (0,9) Smoothing: Medium Mesh Metric: None	
<b>Sizing</b> <input type="checkbox"/> Use Adaptive Sizing: No <input type="checkbox"/> Growth Rate: Default (1,2) <input type="checkbox"/> Max Size: 5,e-002 m Mesh Defeaturing: Yes <input type="checkbox"/> Defeature Size: Default (5,e-005 m) Capture Curvature: Yes <input type="checkbox"/> Curvature Min Size: Default (1,e-004 m) <input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle: Default (18,°) Capture Proximity: No Bounding Box Diagonal: 1,1 m Average Surface Area: 0,10022 m <sup>2</sup> Minimum Edge Length: 0,2 m		<b>Inflation</b> Use Automatic Inflation: None Inflation Option: Smooth Transition <input type="checkbox"/> Transition Ratio: 0,272 <input type="checkbox"/> Maximum Layers: 5 <input type="checkbox"/> Growth Rate: 1,2 Inflation Algorithm: Pre View Advanced Options: No	
		<b>Advanced</b> Number of CPUs for Parallel...: Program Controlled Straight Sided Elements: Rigid Body Behavior: Dimensionally Reduced Triangle Surface Mesher: Program Controlled Topology Checking: Yes Pinch Tolerance: Default (9,e-005 m) Generate Pinch on Refresh: No	

Рис. 2. Параметри сітки

Сітка отримана на основі заданої геометрії наведена на рис. 3.

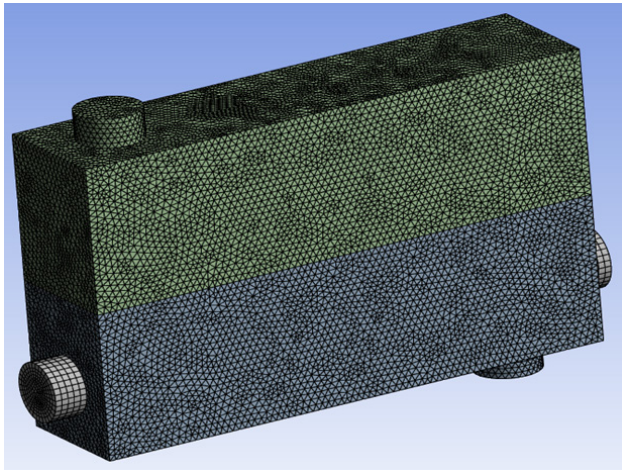


Рис. 3. Сітка, накладена на модельований об'єкт

Налаштування параметрів речовин. Розв'язання математичної моделі передбачає вказування числових значень параметрів середовища. Оскільки водяна пара розповсюджена речовина, її параметри описані у вбудованій бібліотеці речовин ANSYS. Параметри оцтової кислоти, в свою чергу, не описані, тому проведено їх пошук. Зазначимо, що для процесу в кип'ятильнику важливими є параметри, як рідкої так і газової фаз. Частину параметрів оцтової кислоти задаємо як константи, для інших параметрів вираховуємо через їх залежність від температури. Вікно встановлення параметрів речовини ANSYS показано на рис. 4. Значення запозичені з [10].

Теплоємність, теплопровідність та в'язкість сильно залежать від температури і представлені таблицями залежності [10]. Вікно введення даних

для теплопровідності показано на рис. 5, теплоємність та в'язкість вводяться аналогічно.

Density [kg/m <sup>3</sup> ]	constant	1049.2
Cp (Specific Heat) [J/(kg K)]	piecewise-linear	
Thermal Conductivity [W/(m K)]	piecewise-linear	
Viscosity [kg/(m s)]	piecewise-linear	
Molecular Weight [kg/kmol]	constant	60.05
Standard State Enthalpy [J/kgmol]	constant	-4.841e+08
Reference Temperature [C]	constant	20

Рис. 4. Вікно зміни параметрів рідини

Аналогічним чином описуємо параметри газової фази. Густина речовини 2.52861 кг/м<sup>3</sup>. Стандартна ентальпія утворення 434.8 кДж/моль. Теплоємність, теплопровідність та в'язкість парів оцтової кислоти залежить від температури. Для теплоємності ця залежність в інтервалі температур [298; 1000] K виражається у вигляді рівняння (9).

$$C_p(T) = 14,82 + 0,1967 \cdot T - 7,77 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \quad (9)$$

Вікно введення залежності для теплоємності парів оцтової кислоти представлені на рис. 6. Дві інші залежності введені таблично аналогічно рідкій фазі.

Основним процесом в апараті є кипіння, для моделювання якого необхідно вказати параметри випаровування. Для розрахунку буде використана багатозафазова модель, вікно налаштування представлено на рис. 7.

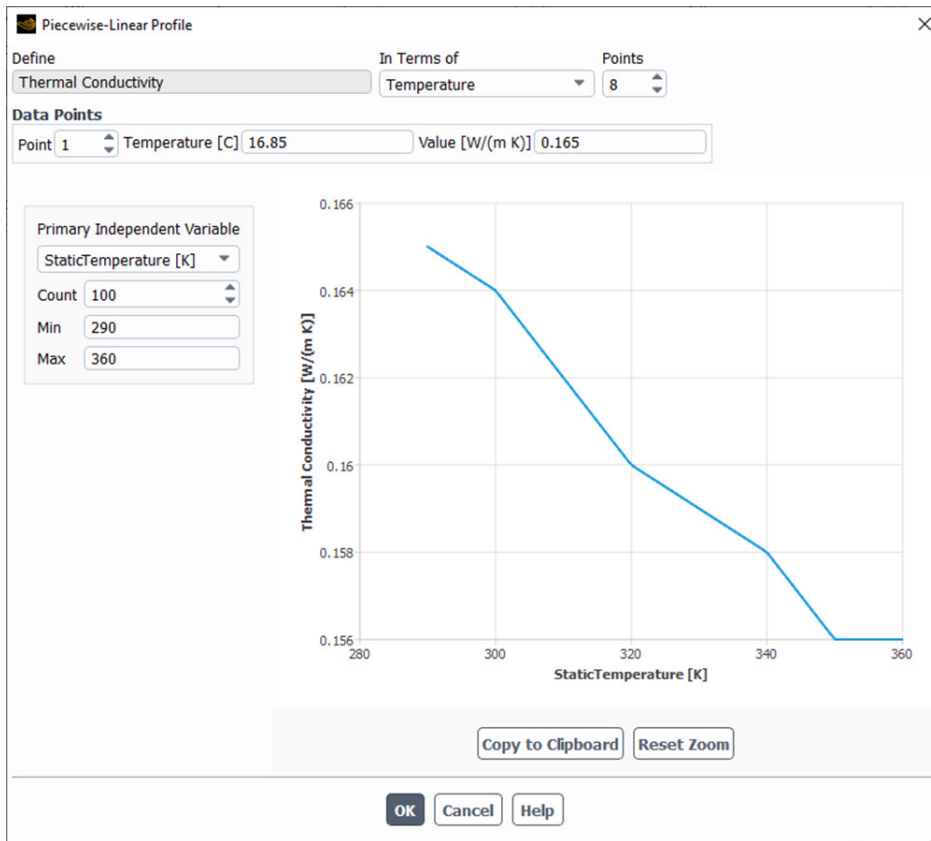


Рис. 5. Введення залежності для теплопровідності оцтової кислоти в рідкій фазі

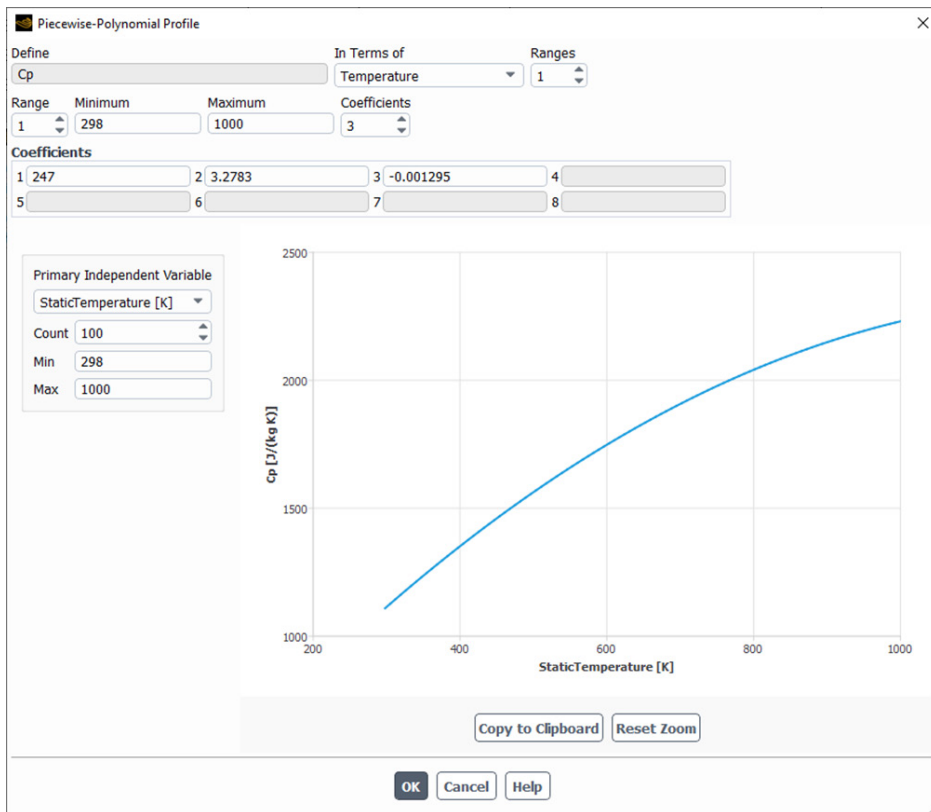


Рис. 6. Введення залежності для теплоємності парів оцтової кислоти

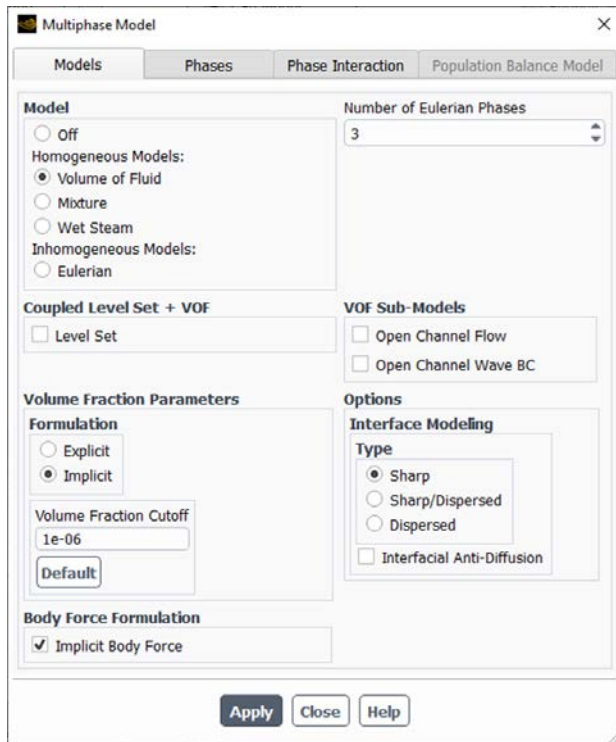


Рис. 7. Налаштування розрахунків багатофазового середовища

Сила поверхневого тертя між рідкою та газовою фазами оцтової кислоти 0.019 Н/м. Температура насичення оцтової кислоти 118°C [10]. Для обчислення потоку використано наближення к-ε, повні налаштування параметрів моделі розрахунку потоку приведено на рис. 8.

Встановимо параметри вихідних потоків. Для грючої пари витрата буде дорівнювати 0.05 кг/с, температура 200°C. Витрата холодної рідини на вході в апарат 0.04 кг/с за температури 60°C. Тривалість розрахунку багатофазової моделі склало 20 секунд, поділені на 2000 часових кроків. Для розрахунку одного часового кроку здійснюється до 20 ітерацій. Результат записується до журналу для можливості аналізу отриманих результатів і подальшої їх обробки.

*Результати моделювання.* Провівши математичне моделювання процесу випаровування побудуємо поля розподілу модельованих величин та прослідкуємо зміни параметрів у часі. На першому кроці проведемо аналізування розподілу величин у просторі в кінцевий момент часу. Це дозволить оцінити адекватність отриманої моделі. Основний процес, який нас цікавить – це випаровування. Щоб перевірити достовірність моделі для розрахунку випаровування в ANSYS передбачено показник – об’єм фракції [5], який показує концентрацію обраної фракції на одиницю об’єму, його значення можуть знаходитись в інтервалі від 0 до 1,

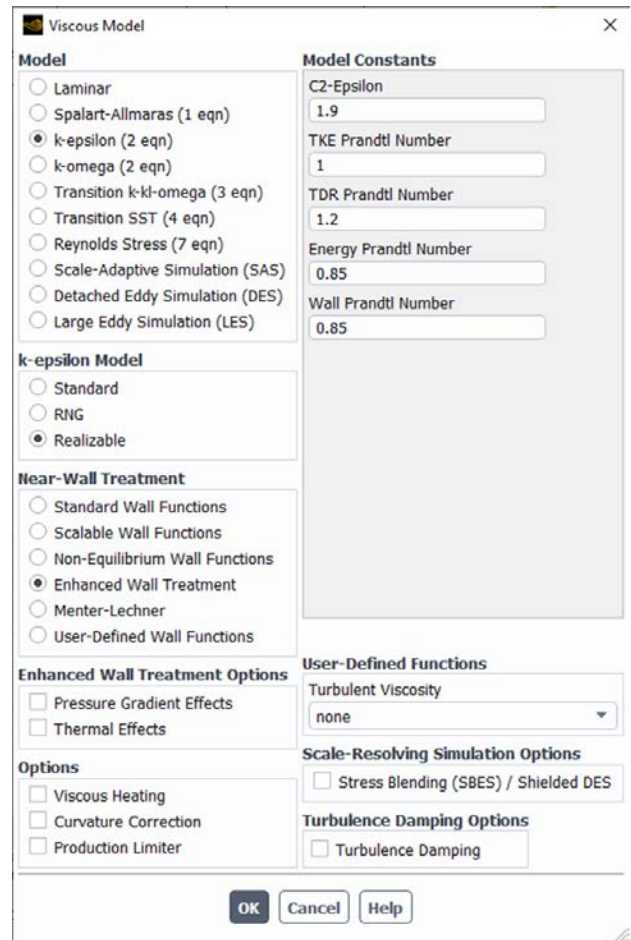


Рис. 8. Налаштування моделі розрахунку потоку

де 0 означає відсутність фракції, а 1 – обрана фракція заповнює весь об’єм. Розподіл об’єму фракції оцтової кислоти зображений на рис. 9.

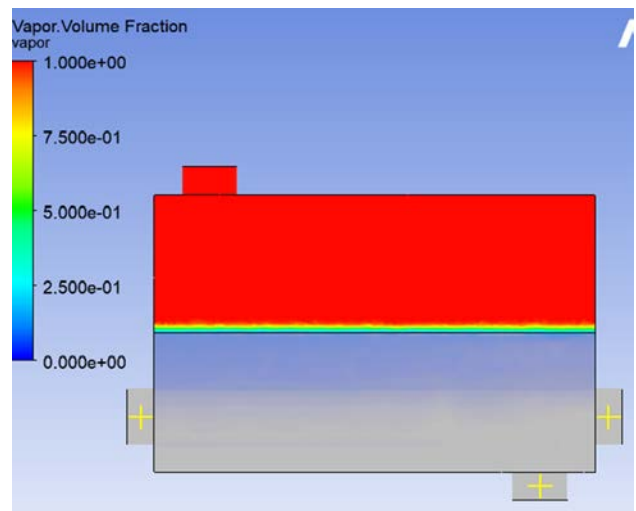


Рис. 9. Розподіл парів оцтової кислоти

Судячи з розподілу об’єму парів оцтової кислоти, процеси розподілу фаз розраховуються адекватно. На рис. 9 видно характерну зону пере-



ходу з рідкої фази до газової. Також можна спостерігати, що невелика кількість газової фази розчинена в рідині, що прилягає до зони фазового переходу, це свідчить про те, що відбувається саме процес кипіння, а не випаровування. Оскільки пара має меншу густину, ніж рідина, вона піднімається вгору. Це підтверджується рухом потоків, що представлений на рис. 10.

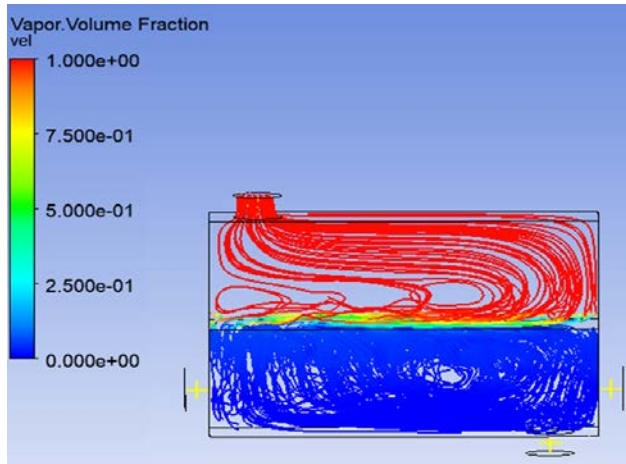


Рис. 10. Рух потоків речовини

Приведення розробленої моделі до задач керування. Перевіривши адекватність моделі, експортуємо дані зміни в часі параметрів необхідних для синтезу системи керування [11, 12, 13]. Керуючим впливом є витрата гріючої пари. Збурення – витрата холодної речовини. Вихідними параметрами є температура та витрата парів оцтової кислоти на виході з апарату.

За допомогою програмного забезпечення ANSYS отримана комплексна складна для розрахунків модель, не пристосована до задач синтезу та дослідження систем керування. Для подальшого дослідження модель потребує спрощення. Основними вимогами до спрощеної системи є відповідність її поведінки вихідній моделі та здатність швидко розраховувати стан системи [11, 13]. Для вирішення поставленого завдання проведемо ідентифікацію об'єкта з використання програмного рішення *System Identification Toolbox*, що входить в склад середовища *MatLab* [14]. У якості даних для проведення процедури ідентифікації використаємо отримані в результаті математичного моделювання в середовищі ANSYS досліджуваного апарату за різних умов та режимів його роботи.

Для ідентифікації [12, 13, 15] необхідно сформувати набори даних на вході і виході. Вихідні дані представлені витратами гріючої пари та оцтової кислоти, що надходить в апарат. Набір вихід-

них параметрів сформований таким чином, щоб параметр  $u_1$  – витрата гріючої пари – виступав керуючим впливом для об'єкту, а параметр  $u_2$  – витрата оцтової кислоти – відігравав роль збурення. Виходами моделі обрано температуру ( $y_1$ ) та витрату ( $y_2$ ) парів оцтової кислоти, який виходить з кип'ятильника. Такий вибір параметрів виходу обумовлений тим, що ці параметри визначають якість роботи об'єкта.

В якості структури математичної моделі обрана модель в просторі станів. Графік відповідності ідентифікованих моделей різних порядків наведено на рис. 11.

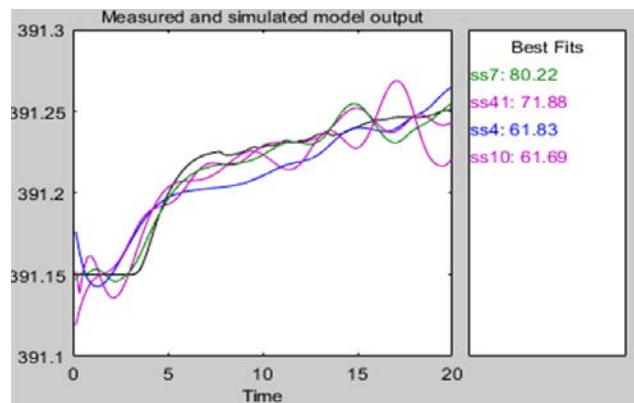


Рис. 11. Графіки відповідності отриманих моделей

З наведеного графіка можна зробити висновок, що найкращі показники якості має модель сьомого порядку. Для задачі синтезу та дослідження системи керування втрати якості моделі не критичні. Перехідні характеристики спрощеної математичної моделі представлені на рис. 12.

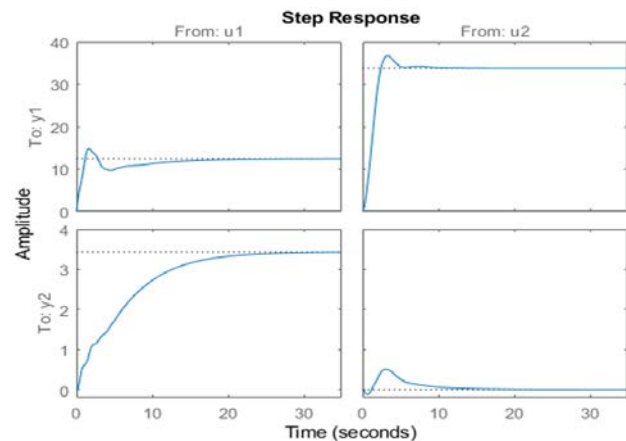


Рис. 12. Перехідні характеристики математичної моделі за каналами регулювання та збурення

**Висновки.** У статті за допомогою середовища ANSYS розроблено високоточну математичну модель технологічного об'єкту керування, а саме кип'ятильника з розподіленими параметрами, на

основі якої здійснювалося дослідження роботи даного об'єкта. Розроблена математична модель дозволила провести дослідження впливу фізико-хімічних процесів на перебіг технологічного процесу. Особливу увагу приділено розподілу парової фракції оцтової кислоти та динаміку випаровування, що є ключовим для забезпечення якості кінцевого продукту.

Враховуючи надмірну складність моделі, а саме значний час моделювання – декілька годин, та

необхідні розрахункові можливості, застосування цієї моделі при синтезі системи керування неможливе. Саме тому для задач синтезу системи керування було створено спрощену модель за допомогою ідентифікації даних отриманих з повної математичної моделі. Відтак, спрощена модель зберігає необхідну точність, що складає більше 80%, але є більш придатною для управління процесом у реальному часі – час розрахунку за нею не перевищує секунди.

#### Список літератури:

1. Жученко А. І., Ситніков О. В., Губар Б. П. Математична модель зовнішнього теплообміну скловарної печі. Київ. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. 2022. Том 33 (72). №1. С. 87–90. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/14>
2. Жученко Л. К. Система програмного керування процесом випалювання вуглецевих виробів. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2023. Т. 6. № 1. С. 46–53. <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2023-6-1-5>
3. Sytnikov O., Skladanny D., Sokolov K. Development of a spray dryer's mathematical model for control tasks. *Bulletin of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving»*. 2023. № 3 (22). 2023. №3(22). С. 52–62. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2023.288249>
4. Кубах С. О., Цапар В. С. Імітаційне моделювання кожухотрубного теплообмінника у нафтогазовій промисловості. *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2023. №3. С. 9–22. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2023.288245>
5. Tadeusz Stolarski, Nakasone Y., Yoshimoto S. Engineering Analysis with ANSYS Software. *Butterworth-Heinemann*. 2018. 562 p.
6. Жученко О. А., Коротинський А. П. Дослідження впливу початкової температури повітря на температурний режим процесу випалювання вуглецевих виробів у камері «під вогнем». *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. №36. С. 201–209. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.36.2018.142550>
7. Троханяк В. І., Богдан Ю.О. Застосування методу кінцевих елементів при побудові сітки в Ansys Meshing для CFD моделей. *ДВНЗ «ПДТУ»*. 2015. №30. Т.2. С. 181–189. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.30.2015.52799>
8. Mitkou T., Chrysanidis T. R/C column modeling using ANSYS and loading rate and mesh method influence studies. *In Proceedings of the 8th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPdyn 2021)*. 2021. pp. 1063–1084.
9. Kent L. Lawrence. ANSYS Tutorial: Release 14. SDC Publications, 2012. 178 p.
10. Acetic Acid. Compound Summary. PubChem. *An official website of the United States government*. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetic-Acid> (дата звернення 30.10.2024 р.)
11. Кубрак А. І., Ковалюк Д. О., Сполович Р. Ю. Визначення передатних функцій за системою звичайних диференціальних рівнянь у канонічній формі. *Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. 2016. №1(15). С. 135–140.
12. Жученко А. І., Кваско М. З., Кубрак Н. А. Ідентифікація динамічних характеристик. *Комп'ютерні методи*. Київ: ВІПОЛ. 2000. 182 с.
13. Жученко О. А. Параметрична ідентифікація прогнозувальної моделі у системі керування об'єктів з розподіленими параметрами. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2019. №11(1). С. 13–18. <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i1.1325>
14. Коржик М. В. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab. Навч. посібн. для студентів вищих навч. закл. Київ: НТУУ «КПІ». 2016. 174 с.
15. Yaroshchuk L., Tiurina Y. Simulation of the Industrial Oil Adsorption Purification Process for Automation Tasks. *Modelling and Simulation in Engineering*. vol. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2738654>



**Korotynskiy A.P., Abramova A.O., Skladannyi D.M. DEVELOPMENT THE RECTIFICATION COLUMN MODEL IN THE ACETIC ACID PRODUCTION AND ITS SIMPLIFICATION FOR CONTROL PROBLEMS**

*At this article the problem state analyzes devoted to the development of mathematical models for the purpose of their effective use in automated control systems. More and more authors are paying attention to models that take into account the processes occurring specifics in the modeling objects. For researched processes computer modeling and construction of accurate mathematical models, the ANSYS software package is increasingly used, which uses the finite element method for building meshes in ANSYS Meshing. The object of the research is the boiling process in the cube of the rectification column during the production of acetic acid with the aim of building a simplified mathematical model for use in synthesis and control tasks. The acetic acid production process and its features were analyzed, and it was determined that the quality of the final product is achieved by rectification. Mathematical models for heat transfer and mass transfer of the studying object is built, taking into account the initial conditions. Further modeling of the research object is carried out using the ANSYS software environment. The following initial data are generated for modeling: object geometric description, physical properties of the environment with which it interacts, and modeling initial conditions. A grid model is created, taking into account the necessary parameters, which choice is determined by the type of process under investigation and the computing power of the available equipment. As a mathematical modeling of the evaporation process result in ANSYS, the simulated values distribution fields are constructed and the parameters changes over time are determined. A complex model is obtained, which is not adapted to the control systems synthesis and research tasks. The resulting model needs to be simplified to meet the main requirements: compliance of its behavior with the original model and the ability to quickly calculate the system state. Therefore, the object was identified using the MatLab System Identification Toolbox. Based on the obtained correspondence graphs of the different orders identified models, it is established that the seventh order model gives the best results. On the basis of the selected model, the mathematical model transient characteristics are constructed according to the regulation and disturbance channels.*

**Key words:** control, mathematical modeling, rectification, evaporation, identification, regulation channel, disturbance channel.