

В. В. Савуляк
Д. О. Салін
В. В. Васиришен

Покращення ефективності кожухотрубного теплообмінника за допомогою імітаційного моделювання в САЕ-системах

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Для кожухотрубного теплообмінника розглянуто вплив кількості та розташування перегородок на характер течії пару, утворення конденсату та ефективність тепловіддачі теплоносія. Розроблено рекомендації щодо зміни конструкції теплообмінника та окремих його елементів.

Ключові слова: SolidWorks, Flow Simulation, кожухотрубний теплообмінник, трубний пучок.

Abstract

For the shell-and-tube heat exchanger, the influence of the number and location of the partitions on the nature of the steam flow, the formation of condensate and the efficiency of the heat transfer of the coolant is considered. Recommendations for changing the design of the heat exchanger and its individual elements have been developed.

Keywords: SolidWorks, Flow Simulation, shell and tube heat exchanger, tube bundle.

Вступ

Покращення готових рішень за допомогою CAD/CAE-систем дуже популярне. Імітаційне моделювання робочих процесів забезпечує зменшення витрат на виготовлення експериментальних зразків та економії часу на експериментальні дослідження. Метою роботи є покращити енергетичні характеристики кожухотрубного теплообмінника.

В дослідженні розглянуто кожухотрубний теплообмінник [1], які використовуються для підігріву бражки в спиртовому виробництві. В якості теплоносія для підігріву цільової речовини використовується перегрітий пар, при температурах від 130°C до 204°C і тиску в 5,6 МПа. Основними параметрами які впливають на ефективність енерговіддачі теплоносія є площа контакту, тривалість контакту, різниця температур теплоносія і бражки, коефіцієнт теплопередачі, теплопровідності матеріалів труб, корпусу, перегородок. Температура теплоносія і бражки є заданими, вплинути на них не можемо. Матеріал труб перегородок і корпусу можна замінити на мідний, який має кращий коефіцієнт теплопередачі, але її використання є економічно невиправдане, оскільки мідь має менші конструкційні характеристики і більшу ціну (у декілька разів більша ніж нержавіюча сталь). Площа самого теплообмінника є розрахунковою, єдиними параметрами, які можна змінювати і покращувати це площа і час контакту теплоносія із трубами в яких протікає бражка.

Тривимірну модель теплообмінної частини теплообмінника розроблено в CAD/CAE-системі SolidWorks та показано на рис. 1, а. Основним параметрами моделі є: 160 нержавіючих труб $\text{Ø}25$ мм, які об'єднані в один трубний пучок, в залежності від кількості і розташування труб обирається діаметр корпусу, який становить 610 мм, довжина теплообмінної частини 2980 мм., додатково трубний пучок розділений на 8 «ходів». (див. рис. 1, б).

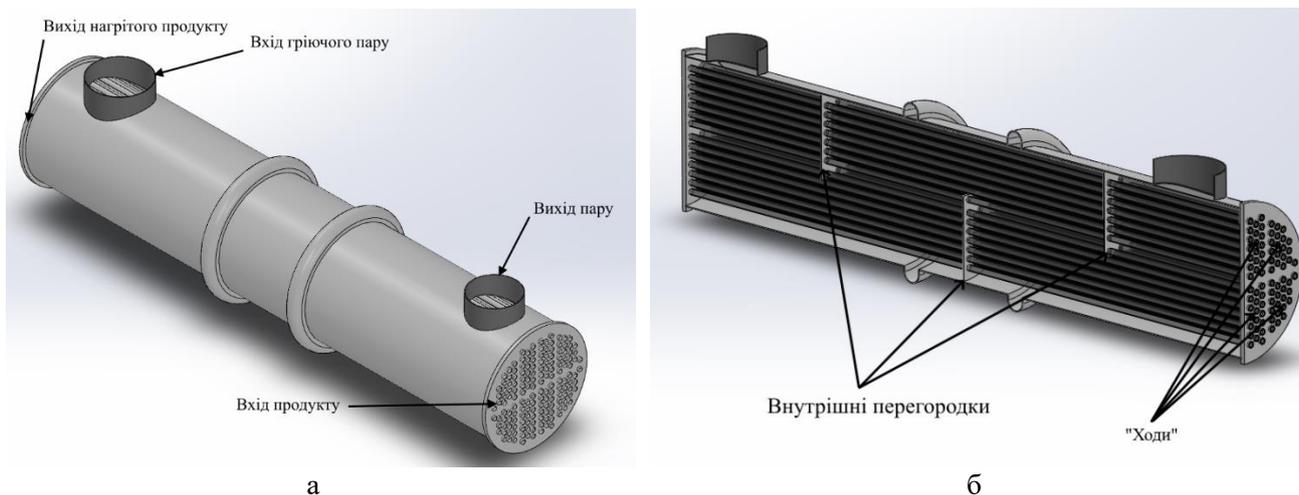


Рисунок 1 – Тривимірна модель кожухотрубного теплообмінника а) та елементи які задіяні б)

Результати дослідження

На основі вище наведеного аналізу, в якості базових розглядалися наступні конфігурації теплообмінників: без перегородок, з однією, трьома і п'ять внутрішніх перегородок. Для аналізу було використано модуль Flow Simulation, який дозволяє змоделювати процес течії в корпусі теплообмінника.

На рис. 2, а показано теплообмінник без перегородок, де характер потоку близький до ламінарного, тобто весь об'єм пару переміщується одним потоком, не відбувається перемішування пару по об'єму. Температуру на виході з теплообмінника показано на рис. 3. і становить 142°C. Середня швидкість потоку теплоносія (наприкінці перехідного процесу, тобто 195 ітерація) дорівнює $v = 2,34 \text{ м / с}$.

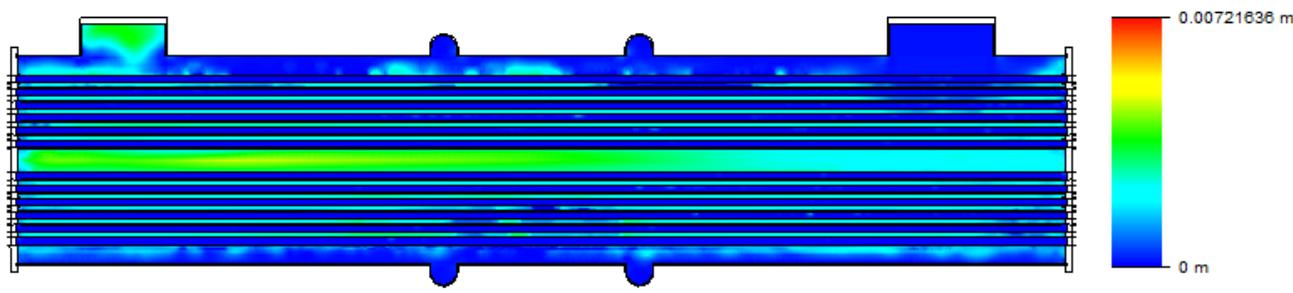


Рисунок 2 – потік у корпусі без перегородок

ВИСНОВОК: відсутність перемішування пару по об'єму скорочує тривалість контакту теплоносія і трубного пучка.

Рис. 3 демонструє характер потоку за наявності однієї перегородки. Як видно із нього в теплообміннику появляються зони із закручуванням потоку, що позитивно впливає на теплообмін (збільшує тривалість контакту, температура на виході зменшилася до 132°C, рис. 5). Разом із цим утворюються зони ускладненого руху потоку. Середня швидкість потоку теплоносія (наприкінці перехідного процесу, тобто 200 ітерація) дорівнює $v = 2,66 \text{ м / с}$.

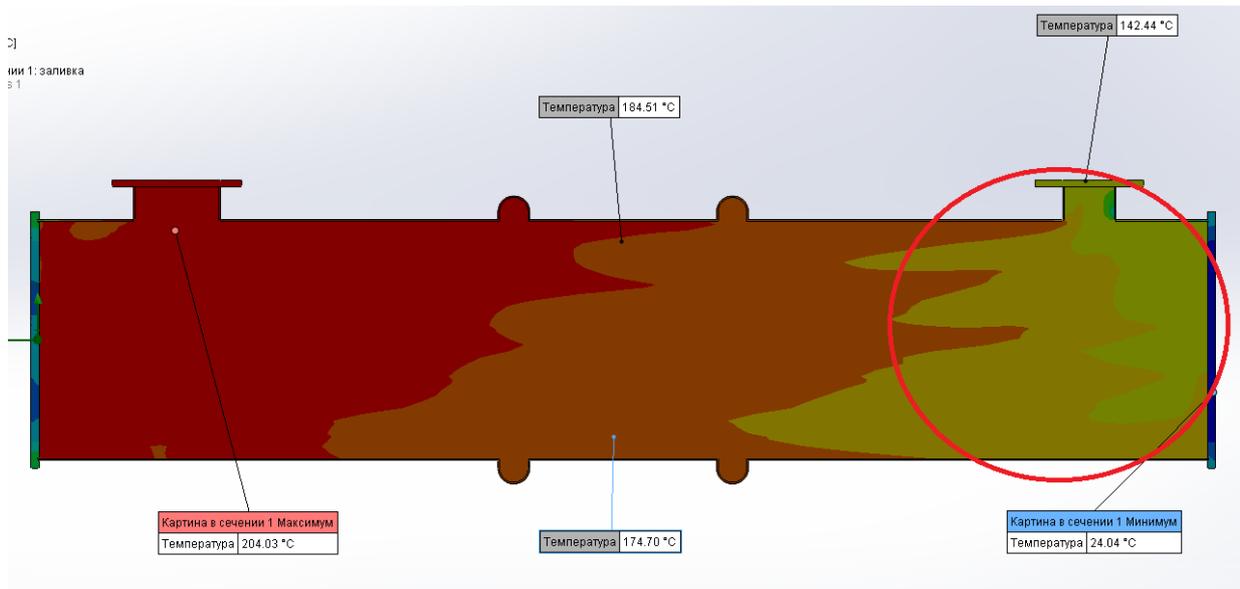


Рисунок 3 – температура пару на виході

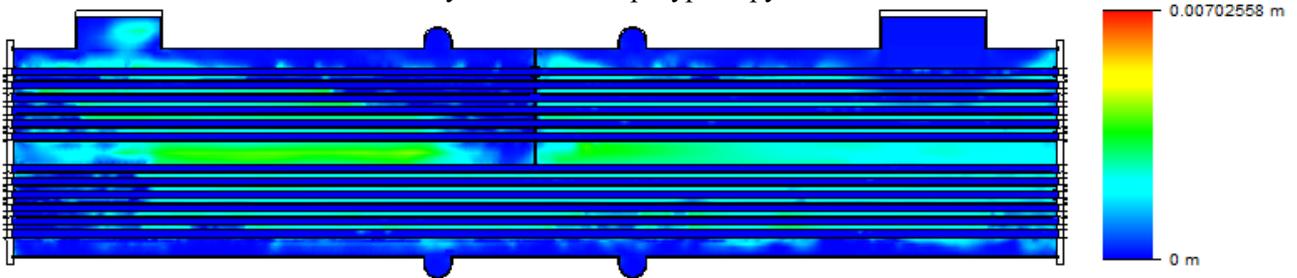


Рисунок 4 – потік у корпусі з однією перегородкою

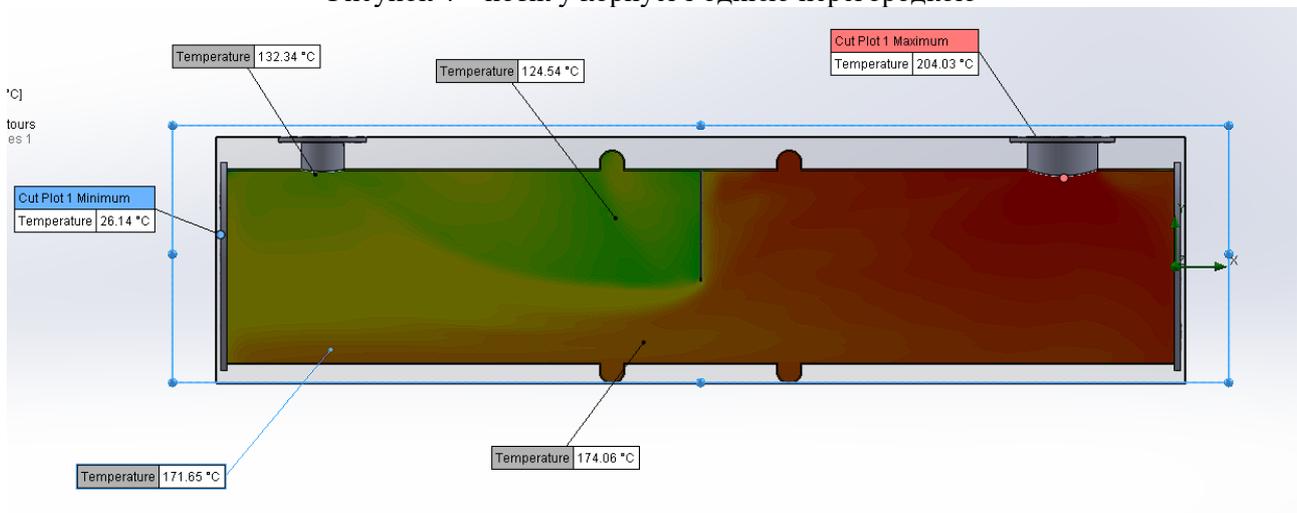


Рисунок 5 – температура пару на виході з однією перегородкою

Число Рейнольдса характеризує характер течії, чим більша ступінь турбулентності тим більший шлях і час взаємодії теплоносія і трубного пучка, що покращує теплообмін. На рис. 6, показано потік при встановленні у корпусі трьох перегородок, як бачимо, потік уже немає чіткої траєкторії та активно взаємодіє із внутрішнім об'ємом самого теплообмінника, температура на виході зменшилася до 117°C, рис. 7. Середня швидкість потоку теплоносія (наприкінці перехідного процесу, тобто 195 ітерація) дорівнює $v = 3,1 \text{ м / с}$.

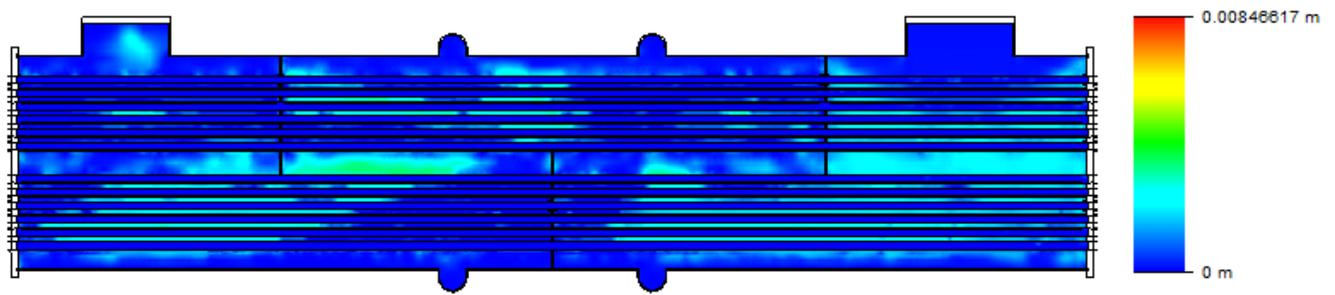


Рисунок 6 – потік при трьох перегородках

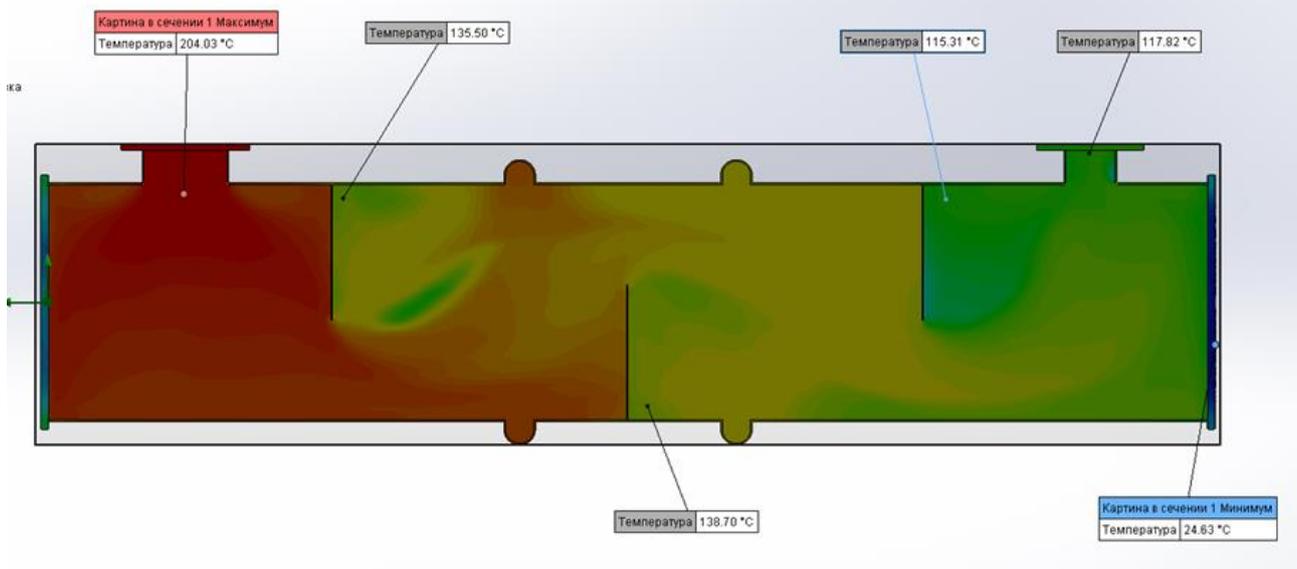


Рисунок 7 – температура пару на виході з трьома перегородками

Подальше збільшення кількості перегородок більше п'яти, рис. 8 не є доцільним (температуру пару на виході було зменшено до 107°C, рис. 9), тому що при великій кількості перегородок очевидно, що крок зменшується – з'являються зони високого тиску, потік теплоносія значно ускладнюється, збільшується кількість сліпих зон, пар застоюється, тобто не дає потрібного ефекту та збільшує матеріалоемність, що є небажаним з економічної точки зору. Середня швидкість потоку теплоносія для 5-и перегородок (наприкінці перехідного процесу, тобто 210 ітерацій) дорівнює $v = 3,47 \text{ м / с}$.

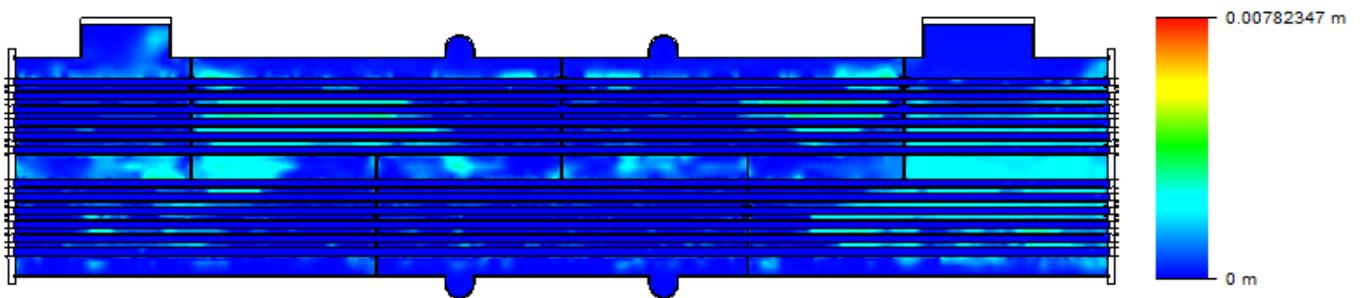


Рисунок 8 – потік при п'яти перегородках

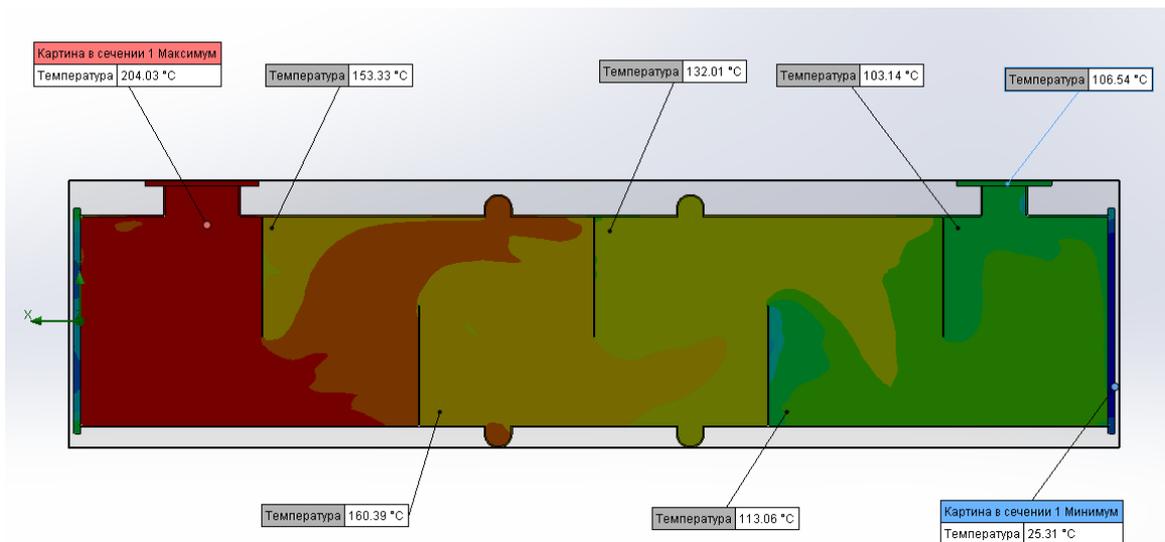


Рисунок 9 – температура пару на виході з п'ятьма перегородками

Висновки

В результаті дослідження тривимірних моделей за рахунок зміни кількості внутрішніх перегородок, було зменшено температуру гріючого пару на виході із теплообмінника та підвищено швидкість потоку теплоносія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Цыганков П.С. Ректификационные установки спиртовой промышленности. М. «Легкая и пищевая пром-сть», 1984. – 336 с.
2. ГОСТ 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
3. РД 26 14 88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Элементы теплообменных аппаратов.
4. Блог: «Сборка теплообменника в SolidWorks 2020» Интернет ресурс: https://www.youtube.com/watch?v=3XDWT45_WPE.
5. Блог: «SolidWorks. Flow Simulation. Исследование резервуара / SolidWorks Flow Simulation» Интернет ресурс: <https://www.youtube.com/watch?v=V7T-olOLb8Q&t=579s>.

Савуляк Віктор Валерійович – к-т техн. наук, доцент, викладач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: vvsv81@gmail.com

Салін Дмитро Олександрович – студент групи ІПМ-21м, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Василюшен Вадим Васильович – студент групи ІПМ-21м, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Savuliak V. V. – Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering Vinnytsa National Technic University, Vinnytsia, e-mail: vvsv81@gmail.com

Salin D. O. – student gr. 1PM-21m, Department of Machine-building and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Vasylyshen V. V. – student gr. 1PM-21m, Department of Machine-building and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.