

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТЕПЛО ВІДВЕДЕННЯ ПІД ЧАС ПРОЦЕСУ КУЛЬТИВУВАННЯ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ

Самсоненко М.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, samsonekoma@gmail.com

Abstract

This paper presents a thermal simulation of a fermenter with a cooling jacket for citric acid cultivation using SolidWorks. The study analysed heat transfer during the first 30 seconds of fermentation. Results showed cooling near the walls, while the centre retained heat due to no mixing. Future improvements include CFD modelling and mixing device integration.

Keywords: citric acid, thermal analysis, fermenter

Вступ. Підтримання стабільного температурного режиму є критично важливим чинником у процесі культивування лимонної кислоти, оскільки температура безпосередньо впливає на метаболічну активність мікроорганізмів. З метою забезпечення ефективного тепловідведення та попередження перегріву культурального середовища, було змодельовано ферментер із сорочкою для охолодження у середовищі SolidWorks Simulation.

Матеріали та методи. Моделювання проводилось для ферментера з наступними геометричними характеристиками:

Висота апарата $H = 4175$ мм;

Діаметр обичайки $D = 1820$ мм;

Діаметр сорочки $d = 1900$ мм;

Загальна площа теплообміну $S_d = 8,5$ м²;

Коефіцієнт заповнення апарата рідиною 0,6.

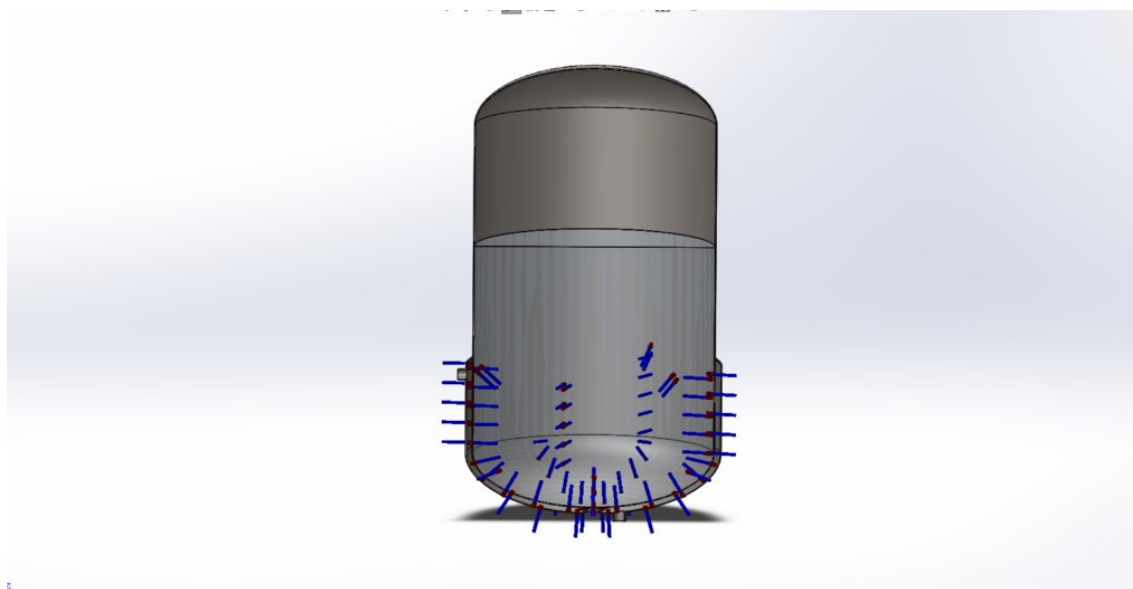


Рис. 1. Початкова модель.

Матеріал корпусу та сорочки – нержавіюча сталь марки 12X18Н10Т, яка має високу корозійну стійкість та забезпечує достатню теплопровідність для теплообміну в межах заданої температури.

Термічні параметри середовищ на початковому етапі моделювання були такими:

Температура культуральної рідини: 35 °С;

Температура стерильного повітря: 20 °С;

Температура охолоджувальної води в сорочці: 15 °С;

Температура навколишнього середовища: 20 °С.

Результати моделювання та обговорення. У ході моделювання в середовищі SolidWorks Simulation було здійснено тепловий аналіз ферментера із сорочкою, в якому культивується лимонна кислота. Аналіз охоплював часовий інтервал 30 секунд, з інтервалом кроку 5 секунд, що дозволило простежити динаміку змін температури в культуральному середовищі протягом короткого періоду після запуску процесу охолодження.

На початковому етапі температура культуральної рідини становила 35 °С, тоді як охолоджувальна вода в сорочці мала температуру 15 °С, що створює достатній температурний градієнт для ефективного тепловідведення. Температурна різниця сприяла інтенсивному початковому теплопереносу, який з часом поступово сповільнювався через зменшення градієнта між рідиною в апараті та охолоджувачем.

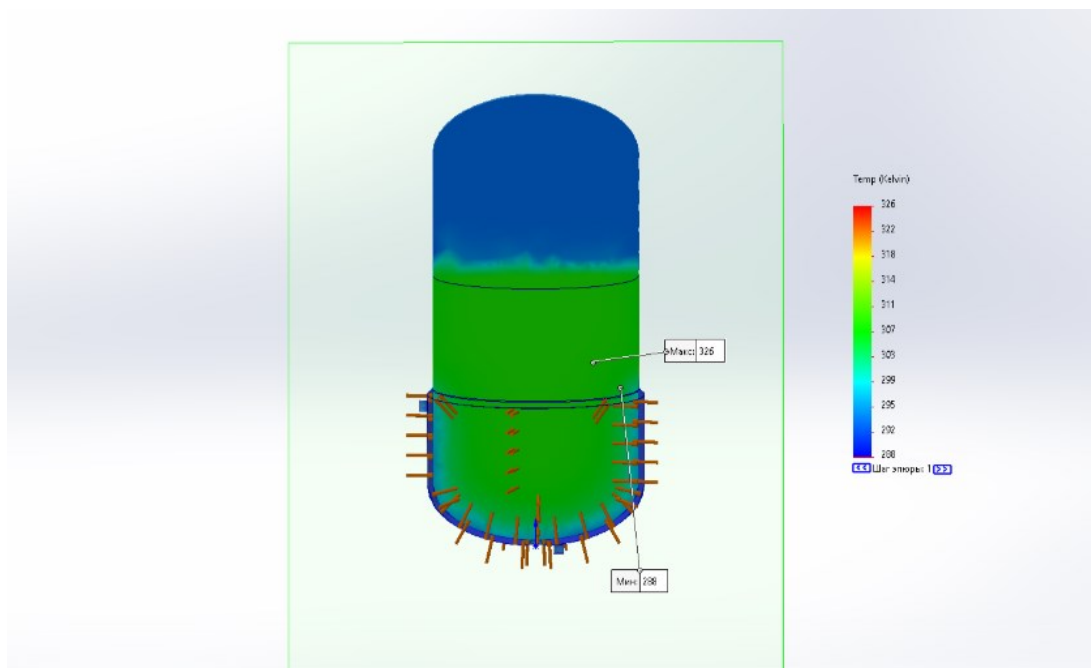


Рис. 2. Початок процесу охолодження.

На візуалізованих результатах симуляції можна чітко спостерігати зниження температури по всьому об'єму культуральної рідини, з переважно рівномірним розподілом температурних зон, особливо поблизу стінок апарата, де теплообмін був найбільш інтенсивним. Температурна карта з часом демонструє зміну кольорового профілю з червоного (вищі температури) до жовто-зеленого, що свідчить про ефективне охолодження.

Водночас результати моделювання виявили певні термічні градієнти в центральній частині об'єму, які зумовлені відсутністю внутрішнього

перемішування. У реальних умовах глибинного культивування використовується турбінна або якірна мішалка, яка забезпечує постійну циркуляцію рідини, перешкоджаючи утворенню температурних зон зі зниженою ефективністю обміну.

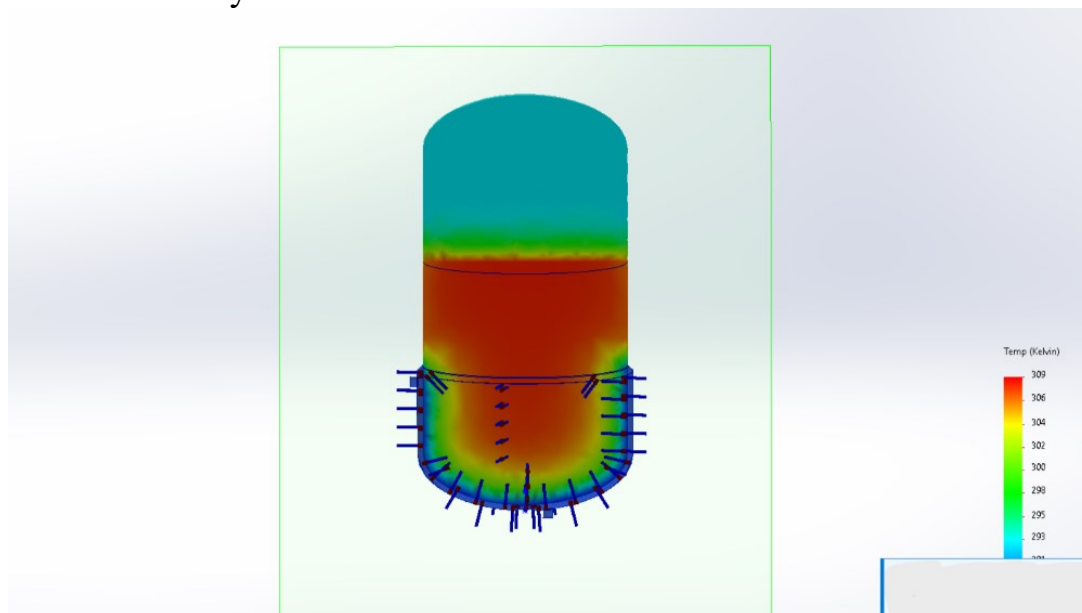


Рис. 3. Кінець процесу охолодження.

Таким чином, хоча змодельована система демонструє задовільні результати охолодження в умовах зовнішнього тепловідведення через сорочку, відсутність гомогенізації температури по всьому об'єму рідини вказує на обмеження даної моделі. У майбутніх етапах дослідження доцільно включити CFD-аналіз (Computational Fluid Dynamics) для змодельовання турбулентного потоку в апараті та точнішого відображення розподілу температурного поля.

Крім того, зазначено, що ефективність теплообміну напряду залежить від товщини стінок апарата, теплопровідності сталі 12X18H10T, а також від температурного перепаду і швидкості циркуляції охолоджувального середовища в сорочці. Для підвищення точності моделювання можна включити параметри швидкості потоку води, її режиму (ламінальний або турбулентний), а також теплових втрат у навколишнє середовище.

Висновок. Змодельована система охолодження здатна забезпечити ефективне первинне тепловідведення з культурального середовища, проте для забезпечення однорідної температурної структури в усьому об'ємі апарата необхідна робота перемішуючого пристрою. Саме він є ключовим елементом, що запобігає утворенню зон локального перегріву або недостатнього охолодження, які можуть негативно вплинути на активність мікроорганізмів та, відповідно, на ефективність виробництва лимонної кислоти.

Список використаної літератури:

1. Мельников О. Г., Ситник Л. М. Розрахунок конструкцій в машинобудуванні: посібник. Львів : Львів. політехніка, 2020.
2. Corporation S. SolidWorks simulation user guide. Dassault Systèmes, 2023.