

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ В БІОТЕХНОЛОГІЧНІЙ ГАЛУЗІ ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньою програмою «Біотехнології»
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Укладачі: В.Ю. Шибецький, М.Ф. Калініна, С.І. Костик

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензент

Плашихін С.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Відповідальний
редактор

Мельник В.М., д.т.н., професор

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 30.03.2023 р.)
За поданням Вченої ради Факультету біотехнології і біотехніки
(протокол № 9 від 27.03.2023 р.)*

Посібник містить роз'яснення щодо виконання домашньої контрольної роботи, передбаченої силябусом дисципліни «Основи моделювання в біотехнологічній галузі». Наведено приклад постановки задач дослідження, формування умов однозначності та оформлення результатів моделювання.

Призначений для здобувачів ступеня магістр за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія», освітньої програми «Біотехнології».

Реєстр. № 22/23-622. Обсяг 2 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056

<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
2 ТЕМАТИКА ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ.....	4
3 СТРУКТУРА ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ.....	5
4 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДКР	8
4.1 Послідовність виконання комп'ютерного моделювання	9
4.2 Приклад виконання комп'ютерного моделювання процесу в обраному обладнанні	10
4.2.1 Аналіз систем реалізації моделювання та вибір програмного забезпечення. Мета і задачі комп'ютерного моделювання	10
4.2.2 Побудова геометрії моделі та встановлення граничних умов.....	11
4.2.3 Аналіз результатів моделювання.....	15
4.2.4 Оптимізація конструкції теплообмінної пластини з конічними виштамповками	23
4.2.5 Висновки	27
5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ.....	29
5.1 Загальні вимоги	29
5.2 Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів	30
5.3 Ілюстрації.....	31
5.4 Оформлення таблиць	32
5.5 Оформлення переліків	33
5.6 Оформлення приміток	33
5.7 Оформлення формул та рівнянь	34
5.8 Оформлення посилань	35
5.9 Вимоги до оформлення ілюстративного матеріалу домашньої контрольної роботи.....	35
5.10 Оформлення переліку посилань	38
6 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	40
7 ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	41
Додаток А	42
Додаток Б.....	43

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Домашня контрольна робота (ДКР) з дисципліни «Основи моделювання в біотехнологічній галузі» являє практичну розробку, виконану студентом, і має на меті підтвердити його уміння самостійно вирішувати задачі інженерного рівня.

Робота виконується студентом за індивідуальним завданням. Для надання студенту допомоги, у формі консультацій, кафедрою визначається час проведення консультацій. Лектор курсу контролює роботу студента в процесі виконання роботи; видає рекомендації студенту щодо опрацювання необхідної літератури, нормативних і довідкових матеріалів, наукових видань тощо за темою домашньої контрольної роботи; перевіряє зміст, обсяг і якість виконання технічної документації – текстової частини та графічної частини у вигляді графіків та креслень.

Основні завдання виконання домашньої контрольної роботи:

- систематизація, закріплення і розширення теоретичних знань, отриманих у процесі навчання та їх практичне використання при вирішенні конкретних інженерних, наукових, виробничих питань пов'язаних з дослідженням та проектуванням обладнання біотехнологічної галузі;
- розвиток навичок самостійної роботи, оволодіння методикою комп'ютерного моделювання процесів, що протікають в обладнанні біотехнологічної галузі;
- використання сучасних інформаційних технологій для розв'язання задач, які передбачені завданням.

2 ТЕМАТИКА ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Теми ДКР присвячені розв'язанню задач пов'язаних з вивченням нових та вдосконаленням існуючого обладнання біотехнологічної галузі і повинні бути направлені на проведення досліджень в таких напрямках:

- моделювання процесів в новому обладнанні біотехнологічної галузі;

- інтенсифікація, поліпшення якості, збільшення виходу продукту, зменшення витрат енергії та сировини, використання нових фізичних методів впливу на процеси біотехнологічної галузі;
- поліпшення конструктивних параметрів обладнання біотехнологічної галузі.

Для студентів, що активно працюють з науково-дослідної тематики, тема роботи може бути продовженням наукового напрямку, який розвивається на кафедрі і підтримується науковим керівником.

Для студентів, що навчаються за індивідуальним контрактом організацій і підприємств, тема роботи може затверджуватись у відповідності до листа замовника, який оплачує навчання студента.

Завдання на виконання на ДКР (Додаток А) з урахуванням рекомендацій та вимог, наведених нижче, затверджується лектором курсу.

3 СТРУКТУРА ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

ДКР містить наступні складові:

- титульний аркуш (Додаток А);
- завдання на ДКР (Додаток Б);
- реферат (анотація);
- зміст;
- перелік скорочень, умовних позначень та термінів;
- вступ;
- розділи (глави), які розкривають основний зміст ДКР відповідно до переліку питань, наданих у завданні;
- висновки;
- перелік посилань;
- додатки.

Титульний аркуш оформлюється згідно з додатком А. Містить повні назви університету, інституту й кафедри; назву роботи; дані про студента. З

титульного аркуша починається нумерація сторінок, але номер сторінки на ньому не вказується.

Реферат (анотація), обсягом 0,5-1 друкованих аркушів, повинен стисло відображати загальну характеристику та основний зміст ДКР і містити:

- відомості про обсяг ДКР, кількість ілюстрацій, таблиць, креслень, додатків і бібліографічних найменувань за переліком посилань;
- мету ДКР, використані методи та отримані результати (характеристика об'єкту дослідження, нові якісні та кількісні показники, економічний ефект тощо);
- рекомендації щодо використання результатів дослідження;
- перелік ключових слів (зазвичай 5-8, але не більше 20), у відповідності до чинних нормативних документів.

У **Змісті** потрібно виділяти й нумерувати (арабськими цифрами) лише розділи та підрозділи. Оскільки **Вступ** і **Висновки** є автономними складовими частинами, вони не підлягають загальній нумерації.

Зміст містить номери початкових сторінок усіх розділів, підрозділів, підпунктів, вступу, висновків, списку використаної літератури, додатків. Заголовки змісту повинні бути ідентичними щодо заголовків у тексті дисертації.

Перелік умовних скорочень подають у тих випадках, коли робота містить понад п'ять умовних позначень - аббревіатур, символів, скорочень, які не є загальноприйнятими й тому потребують пояснення. Якщо в роботі спеціальні терміни, скорочення, символи, позначення тощо повторюються менше п'яти разів, перелік не складають, а їх розшифрування наводять у тексті при першому згадуванні. Список скорочень та їх детальну розшифровку розміщують у двох паралельних колонках за абеткою: ліва колонка - скорочення, права - пояснення.

У **вступі** формулюється актуальність і новизна теми ДКР та викладається:

- обґрунтування необхідності досліджень на основі аналізу сучасного

стану проблеми за даними вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури, патентного пошуку та досвіду роботи підприємств, установ, провідних фірм у відповідній галузі виробництва або науки;

- визначення об'єкту дослідження, предмету дослідження та мети дослідження;

- обґрунтування основних напрямків досліджень;

- можливі галузі застосування результатів досліджень.

Основна частина повинна включати:

- аналіз літературних джерел, щодо стану вирішення поставлених задач та формулювання задач дослідження;

- вибір і обґрунтування методів досліджень поставлених задач;

- комп'ютерне моделювання процесу в обраному обладнанні;

- практичну реалізацію результатів досліджень у вигляді конструкторської документації на виготовлення обладнання, при розробленні якої використовуються результати дослідження (креслення модифікованої деталі або складальної одиниці);

- загальні висновки щодо відповідності отриманих результатів завданню та висунутим вимогам, можливість впровадження або застосування результатів.

Висновки є завершальною й особливо важливою частиною ДКР, що має продемонструвати результати дослідження, ступінь реалізації поставленої мети та завдань. Викладають найбільш важливі наукові та практичні результати, одержані в роботі, які повинні містити формулювання розв'язаної наукової проблеми (задачі), її значення для науки і практики. У висновках необхідно наголосити на якісних та кількісних показниках здобутих результатів, обґрунтувати достовірність результатів. Далі формулюють висновки та рекомендації щодо наукового та практичного використання здобутих результатів.

Висновки краще представляти у вигляді послідовно пронумерованих абзаців. При цьому кожен абзац має містити окремий завершений логічно

висновок чи рекомендацію.

На підставі отриманих висновків у роботі можуть надаватися рекомендації. Рекомендації розміщують на новій сторінці. У рекомендаціях визначають необхідні, на думку автора, подальші дослідження проблеми; подають пропозиції щодо ефективного використання результатів дослідження.

Після висновків необхідно подати **список використаної літератури**. Він відображає обсяг та ступінь вивченості досліджуваної теми, свідчить про рівень володіння навичками роботи з науковою літературою. Список повинен містити бібліографічний опис джерел, використаних студентом під час роботи над темою. Кожний бібліографічний запис треба починати з нового рядка, літературу необхідно розташовувати в алфавітному порядку авторів та назв праць, спочатку видання українською мовою, потім - іноземними. Бібліографічні записи в списку літератури повинні мати порядкову нумерацію.

До **додатків** виносяться:

- технічне завдання на ДКР;
- специфікації (за необхідності);
- виведення розрахункових формул;
- інші матеріали, які допомагають більш повно і докладно розкрити задум та шляхи реалізації ДКР.

4 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДКР

Для проведення моделювання необхідно забезпечити наступні умови однозначності моделі реальному фізичному процесу [1]:

1. Геометричні умови;
2. Фізичні умови;
3. Граничні умови;
4. Початкові умови.

Перед початком виконання моделювання необхідно визначити всі ці умови для конкретної задачі.

4.1 Послідовність виконання комп'ютерного моделювання

Методика виконання моделювання полягає у виконанні наступної послідовності кроків:

1. Побудова 3D моделі області моделювання. Для течії рідини в трубах і каналах – це внутрішня порожнина де рухається теплоносії. Для процесів перемішування – внутрішня порожнина реактору або ферментеру. Для теплообмінників – трубний або між трубний простір.

2. Розбиття 3D моделі на сукупність кінцевих елементів за допомогою модулю Mesh. Вибір типу сітки (структурована, неструктурована), налаштування розмірів елементів, вибір зон з покращеною роздільною здатністю. Створення іменованих областей для подальшого задання граничних умов.

3. Вибір системи вирішення (Fluent, CFX). Задання граничних та початкових умов. В цьому блоці необхідно визначити наступні параметри:

- задати тип моделювання (стаціонарне чи нестаціонарне) обриси час моделювання та крок зміни часу;

- задати фізичні закономірності, що використовуються при моделюванні: наявність сили гравітації; параметри речовин, які приймають участь в моделюванні; наявність теплообміну та його типи; наявність масообміну; тип моделі, що описує рух рідини; наявність фазових переходів;

- задати граничні умови на межах зони моделювання (температури, швидкості, тиски, масові витрати, коефіцієнти масо та теплопередачі, особливості взаємодії зі стінкою);

- задати початкові умови для всієї зони чи для елементів.

4. Проведення моделювання.

5. Обробка результатів моделювання: Побудова контурів, векторів, графіків для відображення результатів моделювання.

4.2 Приклад виконання комп'ютерного моделювання процесу в обраному обладнанні

4.2.1 Аналіз систем реалізації моделювання та вибір програмного забезпечення. Мета і задачі комп'ютерного моделювання

Комп'ютерне моделювання використовується для аналізу складних систем та процесів на основі комп'ютерної моделі. Завдяки сучасному програмному забезпеченню легко можна створити тривимірну деталь або модель та провести дослідження. Комп'ютерна модель дозволяє багаторазово проводити необхідні випробування. Вона допомагає дослідити процеси, що відбуваються з різними матеріалами або поведінку рідини всередині апаратів.

Зараз з допомогою комп'ютерів можна легко провести випробування на міцність, стійкість, навантаження необхідної конструкції та інші. При моделюванні рідких середовищ можна дослідити рух рідини, температурні зміни, вплив різних процесів на рідину. Подібні дослідження проводять за допомогою таких програмних продуктів як SolidWorks – для дослідження твердих тіл та ANSYS – для дослідження рідких середовищ.

Для даної роботи дослідження було реалізоване в універсальній програмній системі кінцево-елементного аналізу ANSYS.

Моделювання проведено з метою аналізу впливу геометрії пластини на коефіцієнт тепловіддачі та підбору оптимальних параметрів. Для забезпечення поставленої мети було сформульовано наступні задачі:

- Моделювання теплообміну при русі рідини в каналі з плоскими стінками.
- Моделювання теплообміну при русі рідини в каналі, утвореному сітчасто-потокowymi пластинами.
- Моделювання теплообміну при русі рідини в каналі, утвореному пластинами з конічними виштамповками.
- Оптимізація конструкції теплообмінної пластини з конічними виштамповками.

Для вирішення цих задач використано модуль Fluid Flow CFX системи кінцево-елементного аналізу ANSYS.

4.2.2 Побудова геометрії моделі та встановлення граничних умов

Для проведення дослідження було побудовано 3D-моделі трьох різних типів геометрії порожнини, утворених між двома сусідніми пластинами (рисунок 1):

- плоска теплообмінна пластина;
- сітчасто-потокова теплообмінна пластина;
- пластина з кінчними виштамповками.

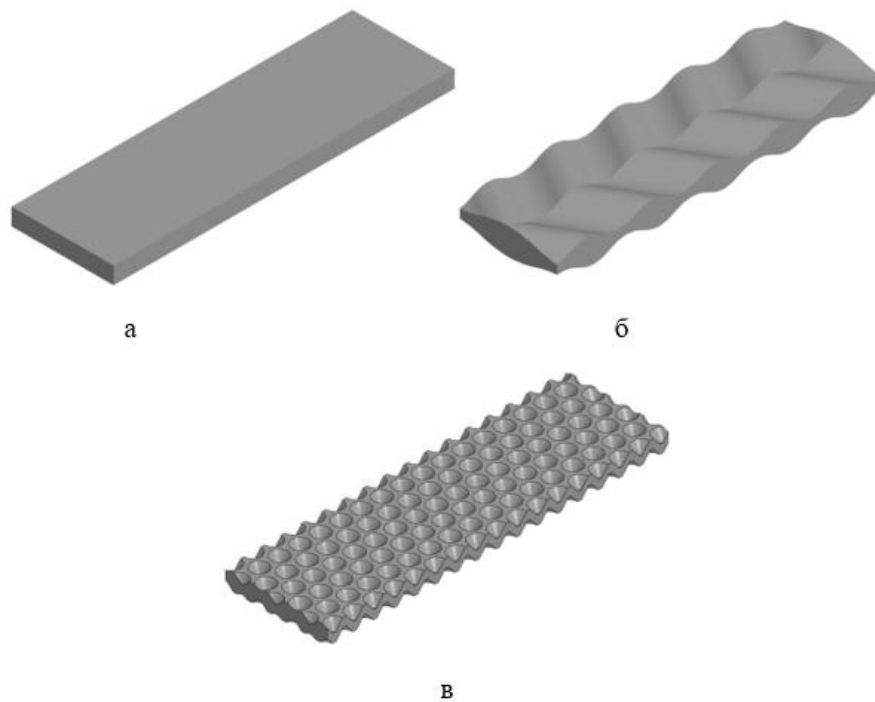


Рисунок 1 – Розрахункова область моделювання: а – плоска теплообмінна пластина; б – сітчасто-потокова теплообмінна пластина; в – пластина з кінчними виштамповками

Розміри розрахункових областей для кожної моделі вказані на прикладі геометрії з плоскими пластинами (рисунок 2) та дорівнюють:

- висота $H = 5\text{мм}$;
- довжина $L = 100\text{мм}$;
- ширина $D = 30\text{мм}$.

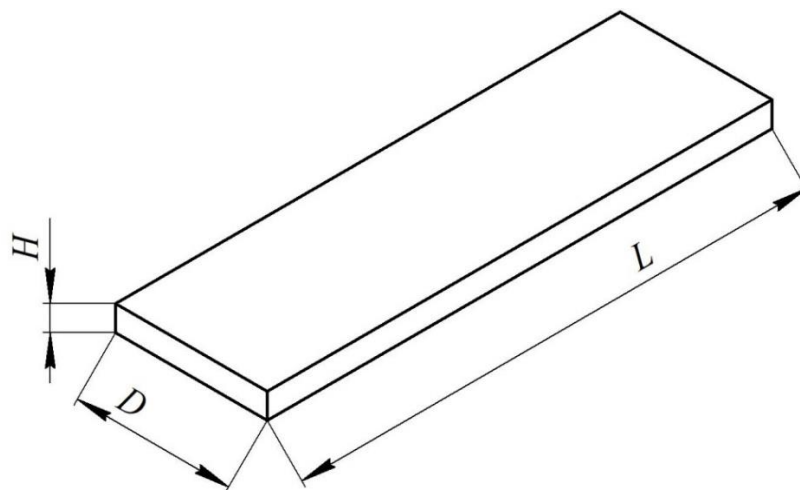


Рисунок 2 – Розміри розрахункових областей

Характерні розміри для сітчасто-поточної теплообмінної пластини (рисунок 3):

- крок розміщення виштамповок $t = 21\text{мм}$;
- радіус округлення $R = 10\text{мм}$;
- найменша відстань між пластинами $h = 2,5\text{мм}$;
- висота $H = 5\text{мм}$.

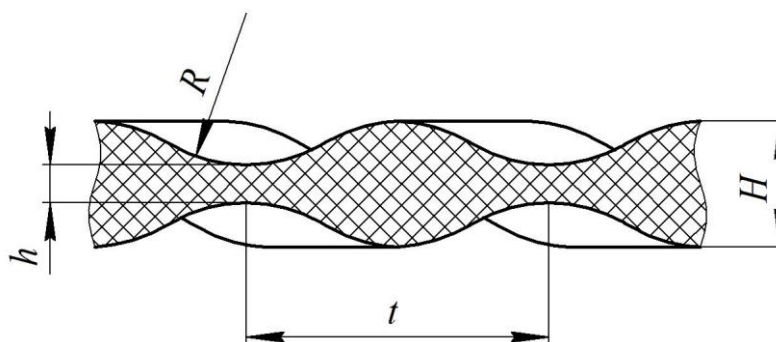


Рисунок 3 – Характерні розміри області, утвореної сітчасто-поточними теплообмінними пластинами

Для встановлення впливу параметрів геометрії теплообмінної пластини з конічними виштамповками моделювання проводилося для наступних параметрів (рисунок 4):

- більший діаметр конуса $d = 5\text{мм}$;
- висота конуса h приймала значення $2,5\text{мм}$, 2мм , $1,5\text{мм}$, 1мм ;
- крок розміщення виштамповок $t = 6\text{мм}$
- виштамповки розміщені по вершинам правильних трикутників;

- кут нахилу твірної конуса α змінювався в діапазоні $50 - 65^\circ$, з кроком 5° ;
- висота $H = 5\text{ мм}$.

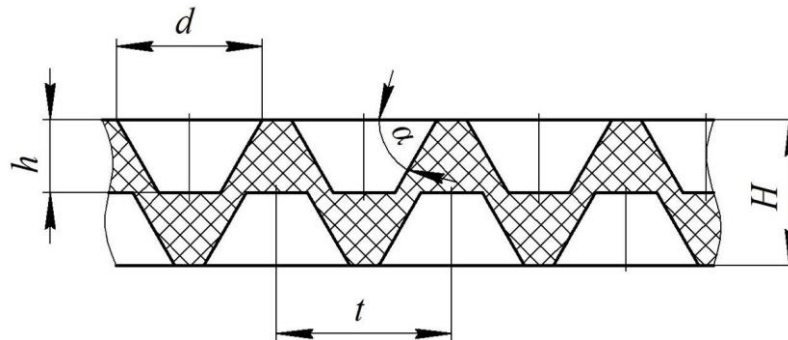


Рисунок 4 – Характерні розміри області, утвореної пластинами з конічними виштамповками

В якості теплоносія використовується матеріал «Water» вбудованої бібліотеки, що має наступні параметри при температурі $t_{\text{поч}} = 20^\circ\text{C}$:

- густина $\rho = 1000\text{ кг/м}^3$;
- коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu = 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с}$;
- питома теплоємність $c = 4200\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$;
- коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0,6\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$

Схема проекту представлена на рисунку 5.

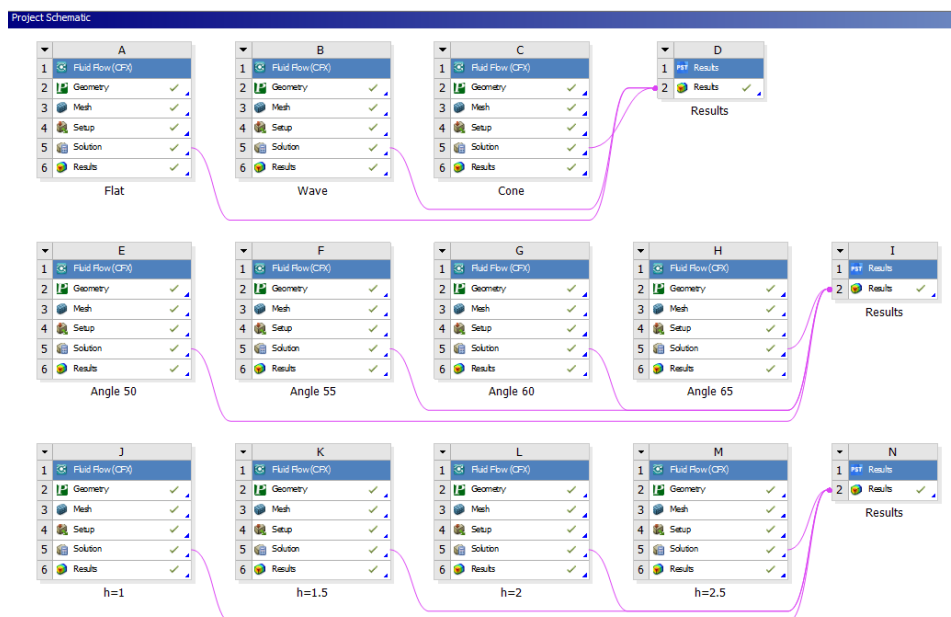


Рисунок 5 – Схема проекту в Workbench

Для реалізації методу кінцевих елементів розрахункові області розбиваються на елементи основних визначальних розмірів за допомогою модуля Mesh (рисунок 6). Параметри побудови сітки:

- сітка складається з тетраедрів (функція Method control: Tetrahedrons);
- при побудові сітки включена функція «Use adaptive Sizing» з встановленням параметру «Resolution» 7.

Середня кількість елементів отриманої сітки рівна 69 000, кількість вузлів – 14 500.

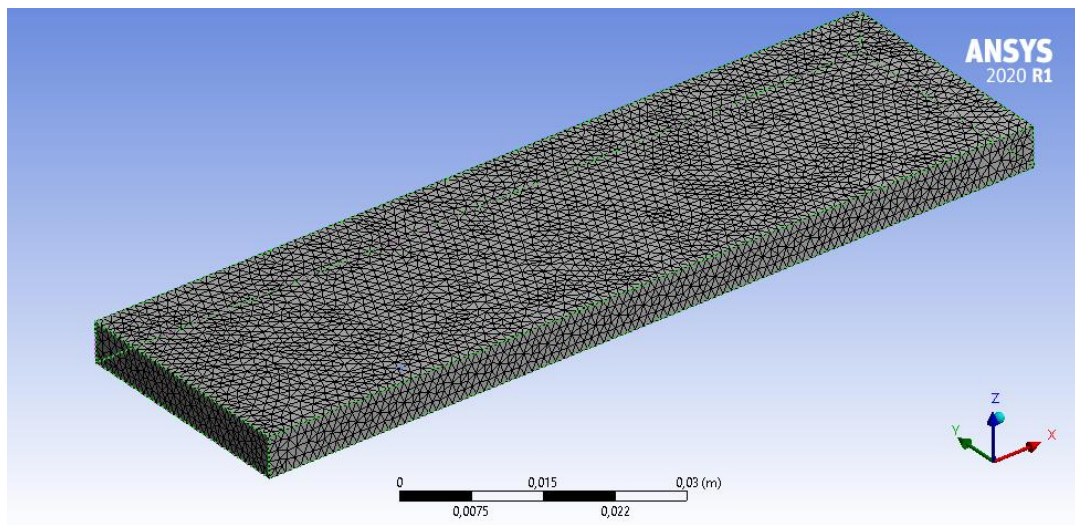


Рисунок 6 – Розбиття на елементи розрахункової області, що утворена плоскими теплообмінними пластинами

Граничні умови процесу:

- вода входить через передній торець зі швидкістю $v = 0,5 \text{ м/с}$ та температурою $t_{\text{поч}} = 20^\circ\text{C}$, гранична умова «Inlet» (рисунок 7, позиція 1);
- вихід води розміщений з протилежної сторони об'єму, гранична умова «Outlet», тиск на виході з об'єму $p = 0,1 \text{ МПа}$ (рисунок 7, позиція 2);
- для бічних торців встановлено тип границі «Symmetry» для зменшення часу моделювання (рисунок 7, позиція 3);
- верхня та нижня поверхні об'єму моделюють контакт з теплообмінними пластинами, що мають температуру $t_{\text{ст}} = 60^\circ\text{C}$, гранична умова «Wall» (рисунок 7, позиція 4).

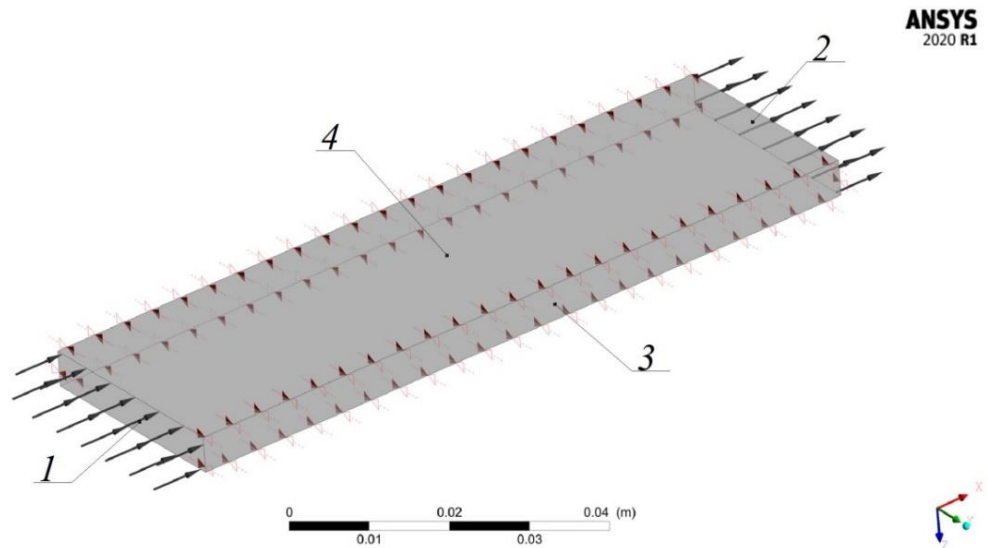


Рисунок 7 – Граничні умови: 1 – «Inlet»; 2 – «Outlet»; 3 – «Symmetry»;
4 – «Wall»

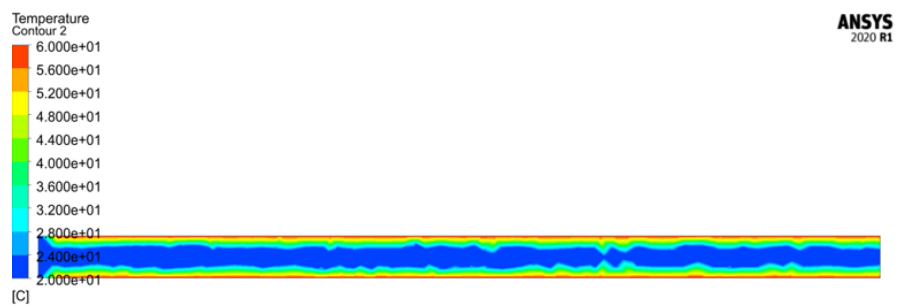
Моделювання проводиться для стаціонарної задачі. Для моделювання теплообміну активовано опцію «Total Energy» в налаштуваннях домену.

4.2.3 Аналіз результатів моделювання

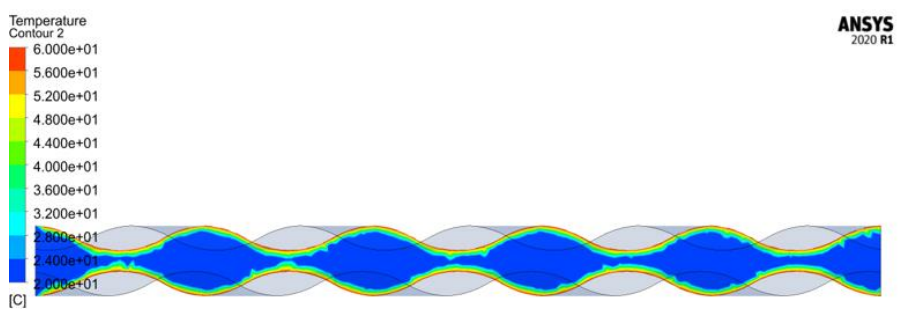
Було проведено дослідження впливу геометрії пластини на коефіцієнт тепловіддачі.

На рисунку 8 представлені контури розподілу температур вздовж теплообмінної пластини для трьох випадків.

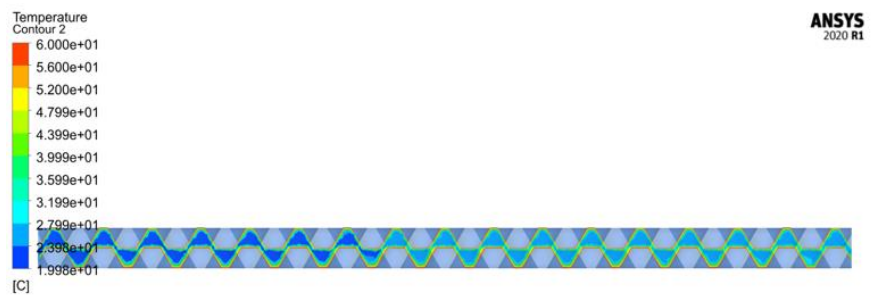
Видно, що найбільші значення температури знаходяться на поверхні теплообмінних пластин $t_k = 60^\circ\text{C}$. В середині потоку температури найнижчі $t_n = 20^\circ\text{C}$. Температура теплоносія вздовж потоку змінюється рівномірно. Для пластин з плоскою геометрією та сітчасто-потоківих пластин температури в середині потоку на вході та виході майже не змінюються.



а



б



в

Рисунок 8 – Контури розподілу температур: а – плоска теплообмінна пластина; б – сітчасто-потокова теплообмінна пластина; в – пластина з конічними виштамповками

При використанні пластин з конічними виштамповками значення температури в середині потоку на виході збільшується на 8°C .

На рисунку 9 представлені траєкторії руху часток рідини вздовж пластини для трьох випадків.

Теплоносії між пластинами рухаються по чітко заданим траєкторіям. У випадку плоскої теплообмінної пластини ця траєкторія має вигляд прямої. Тоді швидкість теплоносія буде найбільшою і відсутні застійні зони, оскільки руху часток нічого не перешкоджає, але рідина в цьому випадку майже не прогрівається.

Для сітчасто-потокової пластини траєкторія має вигляд великих хвиль. Швидкість теплоносія в цьому випадку зменшується і є шанс виникнення застійної зони через зміну поперечного перерізу каналу. Тут як і в попередньому випадку рідина в середині потоку майже не прогрівається.

Для пластини з конічними виштамповками траєкторія руху часток представляє собою дрібні хвилі. Швидкість теплоносія значно менша, оскільки пластини утворюють значно менші канали для руху рідини ніж в попередніх випадках. Рідина в цьому випадку краще прогрівається в середині потоку. Застійні зони виникають ближче до виходу теплоносія.

На рисунку 10 представлені вектори швидкості руху рідини в середньому перерізі об'єму. Швидкість теплоносія залежить від конфігурації каналу по якому він рухається. У випадку плоских пластин геометрія каналу найпростіша, швидкість однакова по всій довжині і приймає значення $v_{nl} = 0,511 \text{ м/с}$. У каналі утвореному сітчасто-потоковими пластинами найбільше значення швидкості дорівнює $v_{cn} = 1,127 \text{ м/с}$. Через зміни поперечного перерізу каналу швидкість розподіляється нерівномірно і на різних ділянках має різні значення. Пластини з конічними виштамповками утворюють найменші канали по яким рухається рідина. Швидкість теплоносія рівномірна по всьому перерізі каналу і приймає значення $v_k = 0,294 \text{ м/с}$.

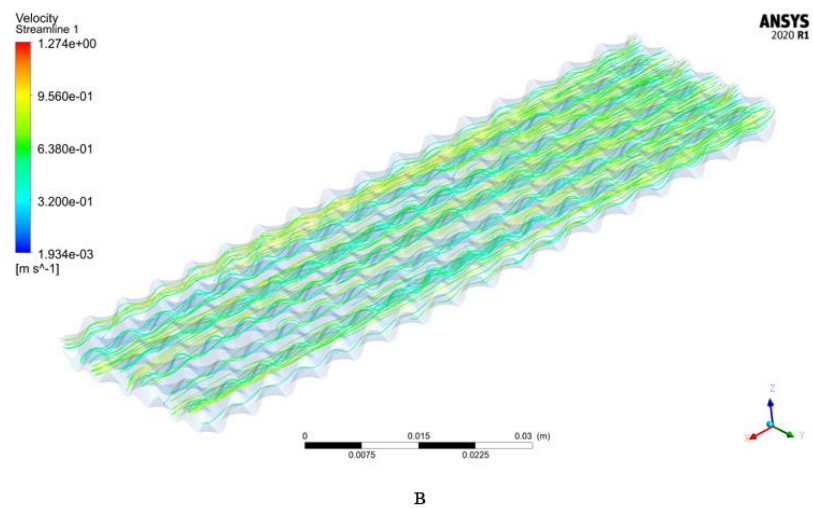
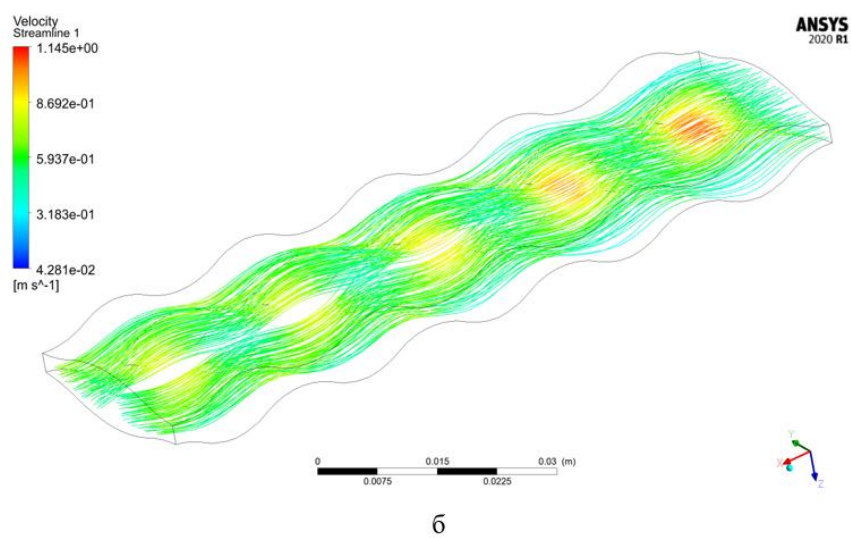
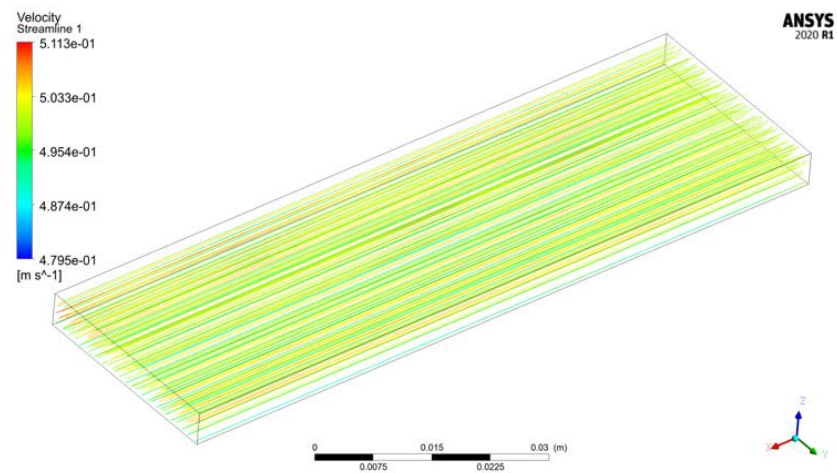
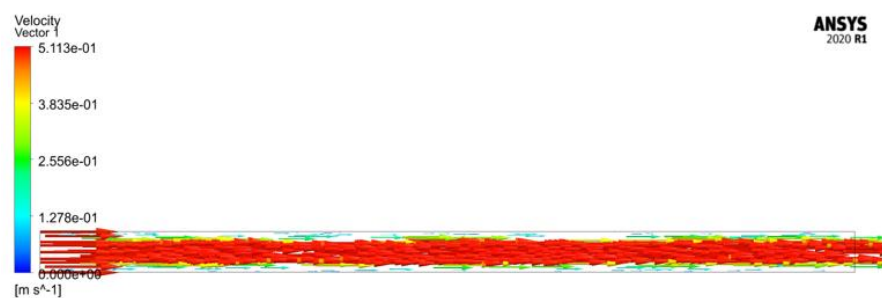
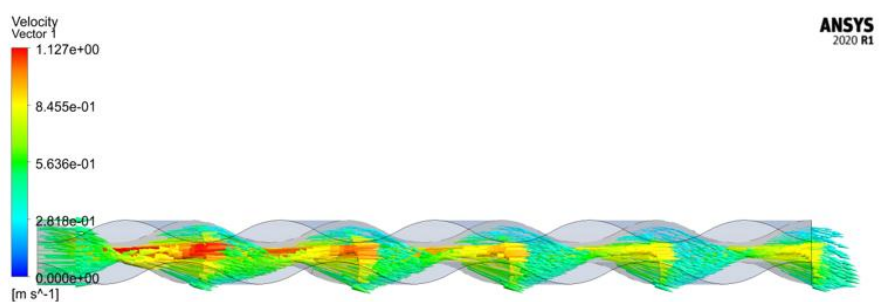


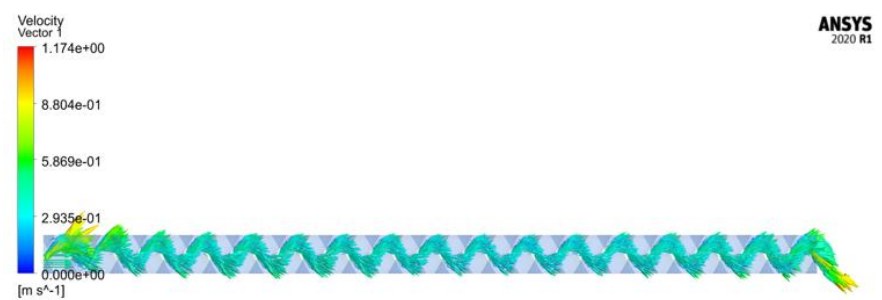
Рисунок 9 – Траєкторії руху часток: а – плоска теплообмінна пластина; б – сітчасто-потоківа теплообмінна пластина; в – пластина з конічними виштамповками



а



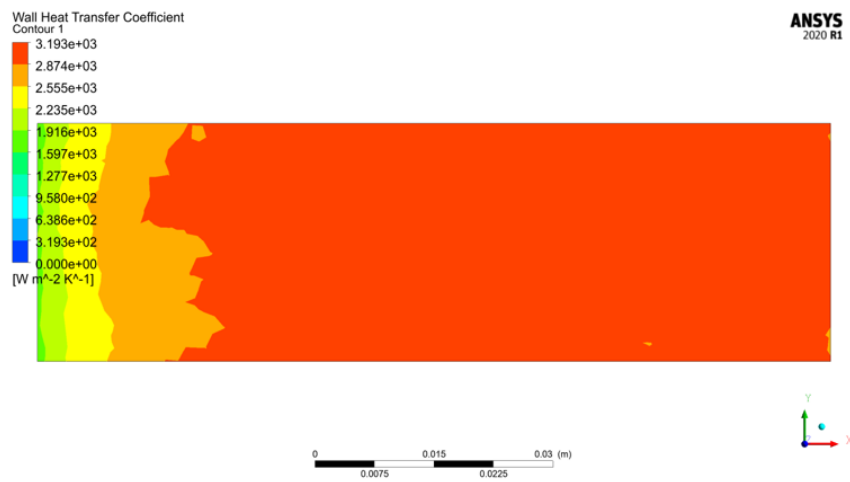
б



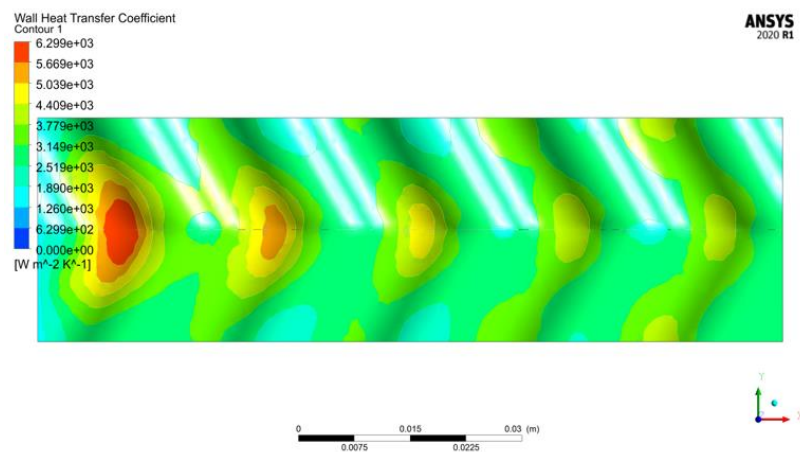
в

Рисунок 10 – Вектори швидкості руху рідини: а – плоска теплообмінна пластина; б – сітчасто-потокова теплообмінна пластина; в – пластина з конічними виштамповками

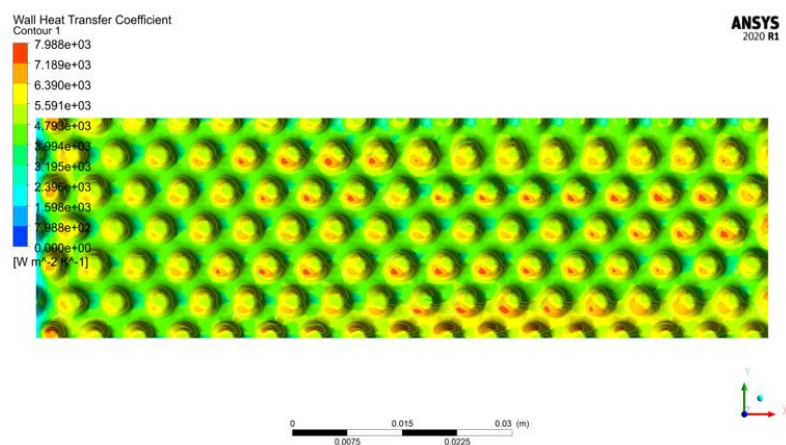
На рисунку 11 Представлені контури зміни коефіцієнту тепловіддачі від стінки до потоку рідини.



а



б



в

Рисунок 11 – Контури зміни коефіцієнту тепловіддачі від стінки до потоку рідини: а – плоска теплообмінна пластина; б – сітчасто-потоківа теплообмінна пластина; в – пластина з конічними виштамповками.

Найбільше значення коефіцієнт тепловіддачі приймає для випадку пластин з конічними виштамповками $\alpha_k = 7988 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Для плоских пластин він дорівнює $\alpha_{пл} = 3193 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Для сітчасто-потоккових пластин найбільше значення коефіцієнта рівне $\alpha_{сн} = 6299 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. З даних видно, що чим складніша конфігурація каналу тим більший коефіцієнт тепловіддачі.

Результати досліджень були об'єднані в один модуль «Results». Це дозволяє відобразити зміни температури та втрати тиску для кожної моделі на спільних графіках зображених на рисунках представлених нижче.

На рисунку 12 Представлені графіки зміни температури в середньому потоці.

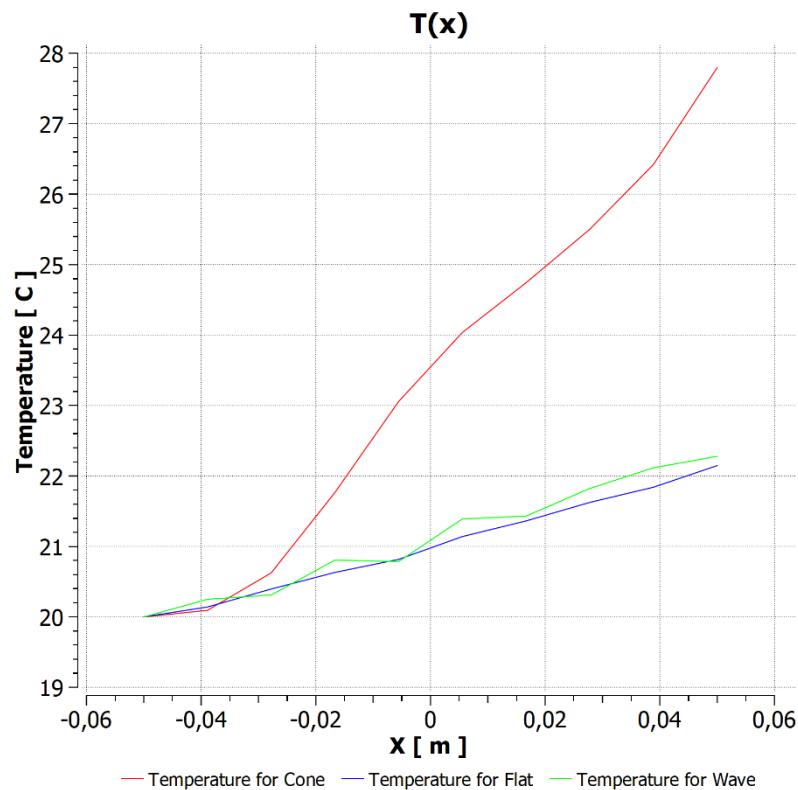


Рисунок 12 – Графік зміни температури: синя лінія – плоска теплообмінна пластина; зелена лінія – сітчасто-потоккова теплообмінна пластина; червона лінія – пластина з конічними виштамповками.

З графіків видно, що найбільш високе значення температури було досягнуто при дослідженні теплообмінної пластини з конічними виштамповками $t_k = 27,8^\circ\text{C}$. Температури в двох інших випадках змінюються

майже однаково і приймають значення: $t_{nl} = 22,2^{\circ}\text{C}$ для плоскої теплообмінної пластини та $t_{cn} = 22,4^{\circ}\text{C}$ для сітчасто-поточної теплообмінної пластини.

На рисунку 13 Представлений графік втрати тиску.

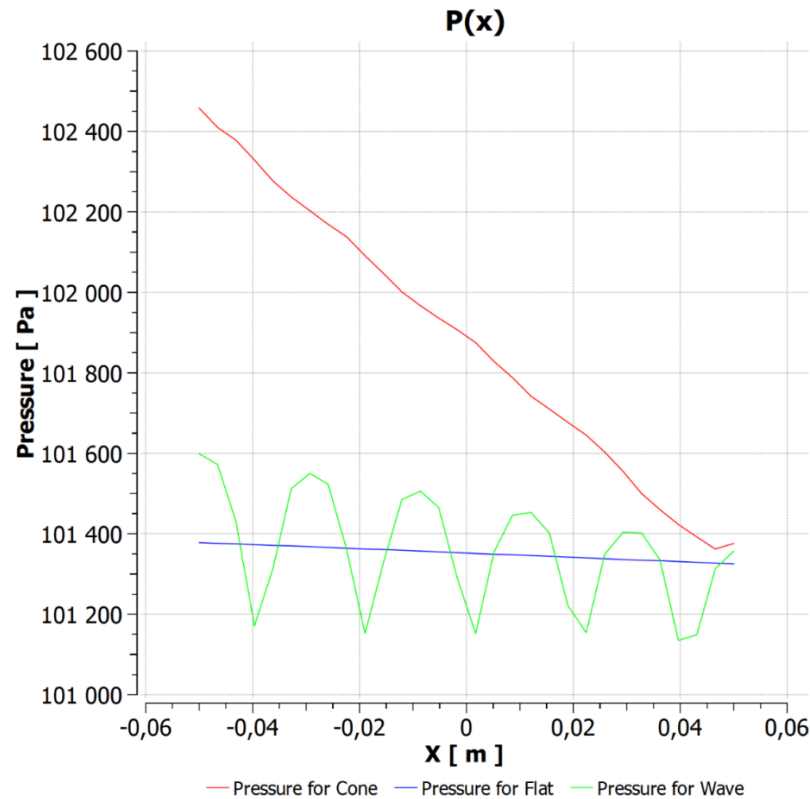


Рисунок 13 – Графік втрати тиску: синя лінія – плоска теплообмінна пластина; зелена лінія – сітчасто-поточна теплообмінна пластина; червона лінія – пластина з конічними виштамповками

З графіку видно зміну тиску що відбувається при русі рідини вздовж пластини. У плоскій теплообмінній пластині та пластині з конічними виштамповками тиск змінюється лінійно. У сітчасто-поточній теплообмінній пластині відбуваються коливання тиску. Це відбувається за рахунок зміни площі поперечного перетину між теплообмінними пластинами.

Втрати тиску теплоносія визначаються як різниця тисків між тиском на вході та тиском на виході: $p_{nl} = 101380 - 101340 = 40 \text{ Па}$ для плоскої теплообмінної пластини; $p_{cn} = 101600 - 101350 = 250 \text{ Па}$ для сітчасто-поточної теплообмінної пластини; $p_k = 102450 - 101390 = 1060 \text{ Па}$ для теплообмінної пластини з конічними виштамповками. З отриманих даних

видно що найбільші втрати тиску відбуваються для пластини з конічними виштамповками $p_k = 1060 \text{ Па}$; для плоскої теплообмінної пластини найменші і складають $p_{nl} = 40 \text{ Па}$; для сітчасто-поточної пластини – $p_{cn} = 250 \text{ Па}$.

Середні значення коефіцієнту тепловіддачі від стінки до рідини складають: $\alpha_{nl} = 2472 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ для плоскої теплообмінної пластини;
 $\alpha_{cn} = 3340 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ для сітчасто-поточної теплообмінної пластини;
 $\alpha_k = 5339 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ для теплообмінної пластини з конічними виштамповками.

4.2.4 Оптимізація конструкції теплообмінної пластини з конічними виштамповками

Для оптимізації конструкції теплообмінної пластини з конічними виштамповками проведено моделювання для значень висоти конуса 2,5 мм, 2 мм, 1,5 мм та 1 мм і кута нахилу твірної конуса 50° , 55° , 60° та 65° .

На рисунку 14 представлені графіки зміни температури теплоносія при русі між виштамповками для різних кутів нахилу твірної конуса.

З графіків видно що найбільшого значення температури можна досягти при куті нахилу твірної конуса рівному 65° – $t_{k4} = 28,7^\circ \text{C}$. Найменша зміна температури відбувається при куті рівному 50° – $t_{k1} = 25,3^\circ \text{C}$. Значення температури для кута рівного 55° складе $t_{k2} = 27,1^\circ \text{C}$, для кут 60° – $t_{k3} = 27,9^\circ \text{C}$. Значення різниці температур на вході та на виході для кута нахилу твірної конуса 50° , 55° , 60° та 65° відповідно: $t_1 = 25,3 - 20 = 5,3^\circ \text{C}$; $t_2 = 27,1 - 20 = 7,1^\circ \text{C}$; $t_3 = 27,9 - 20 = 7,9^\circ \text{C}$; $t_4 = 28,7 - 20 = 8,7^\circ \text{C}$.

На рисунку 15 представлені графіки втрати тиску при русі між виштамповками для різних кутів нахилу твірної конуса.

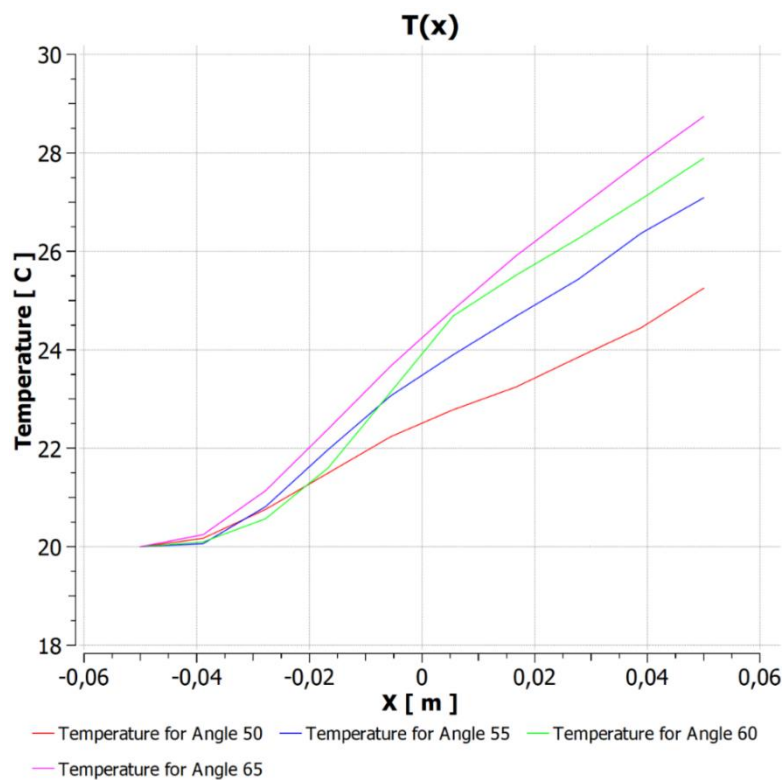


Рисунок 14 – Графік зміни температури: червона лінія – кут 50° ; синя лінія – кут 55° ; зелена лінія – кут 60° ; фіолетова лінія - кут 65°

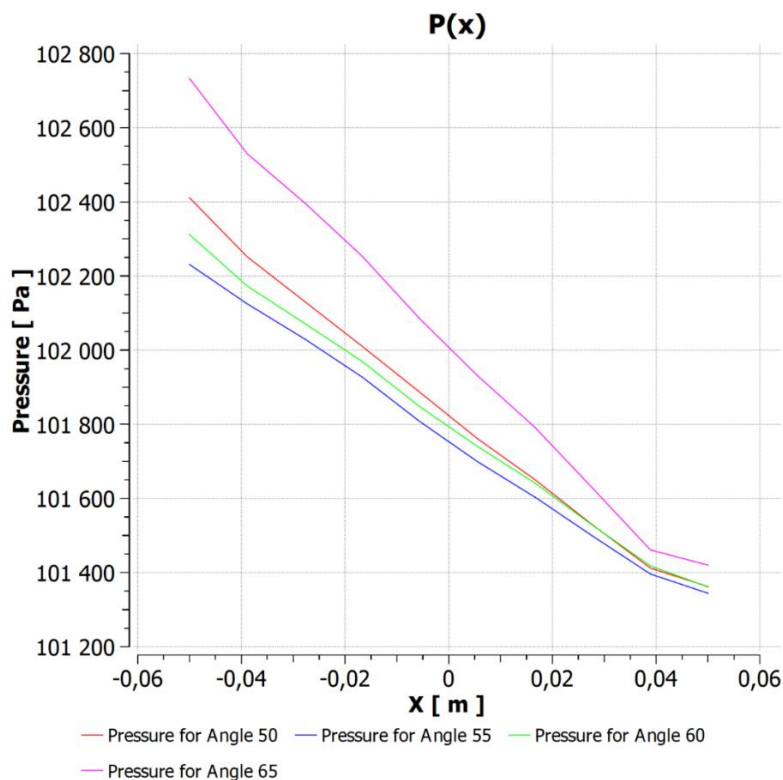


Рисунок 15 – Графік втрати тиску: червона лінія – кут 50° ; синя лінія – кут 55° ; зелена лінія – кут 60° ; фіолетова лінія - кут 65°

Значення втрати тиску для різних кутів нахилу твірної конуса рівні: для кута 50° $p_1 = 102410 - 101360 = 1050 \text{ Па}$; для кута 55° $p_2 = 102220 - 101350 = 870 \text{ Па}$; для кута 60° $p_3 = 102310 - 101360 = 950 \text{ Па}$; для кута 65° $p_4 = 102740 - 101420 = 1320 \text{ Па}$. З отриманих даних видно що найбільші втрати тиску відбуваються при куті нахилу твірної конуса рівному 65° .

Після аналізу даних з графіків 14, 15 видно, що оптимальним кутом нахилу твірної конуса для пластини з конічною виштамповкою є кут 65° .

Середні значення коефіцієнту тепловіддачі від стінки до рідини наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – середні значення коефіцієнту тепловіддачі

№ п/п	Кут нахилу твірної, $^\circ$	Середнє значення коефіцієнту тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
1	50	4922
2	55	5722
3	60	5207
4	65	5216

З таблиці видно, що найбільше значення коефіцієнту тепловіддачі можна отримати при куті 55° ; найменше при 50° .

На рисунку 16 представлені графіки зміни температури теплоносія при русі між виштамповками для різних значень висоти конуса.

З графіків видно що найбільшого значення температури можна досягти при висоті конуса рівній 2,5 мм – $t_{k4} = 26^\circ \text{C}$. Найменша зміна температури відбувається при висоті рівній 1 мм – $t_{k1} = 22,8^\circ \text{C}$. Значення температури для висоти рівній 1,5 мм складе $t_{k2} = 24,5^\circ \text{C}$, для висоти 2 мм – $t_{k3} = 25,8^\circ \text{C}$. Значення різниці температур на вході та на виході для значень висоти конуса 1 мм, 1,5 мм, 2 мм та 2,5 мм відповідно: $t_1 = 22,8 - 20 = 2,8^\circ \text{C}$;

$$t_2 = 24,5 - 20 = 4,5^\circ\text{C}; \quad t_3 = 25,8 - 20 = 5,8^\circ\text{C}; \quad t_4 = 26 - 20 = 6^\circ\text{C}.$$

На рисунку 17 представлені графіки втрати тиску при русі між виштамповками для різних значень висоти конуса.

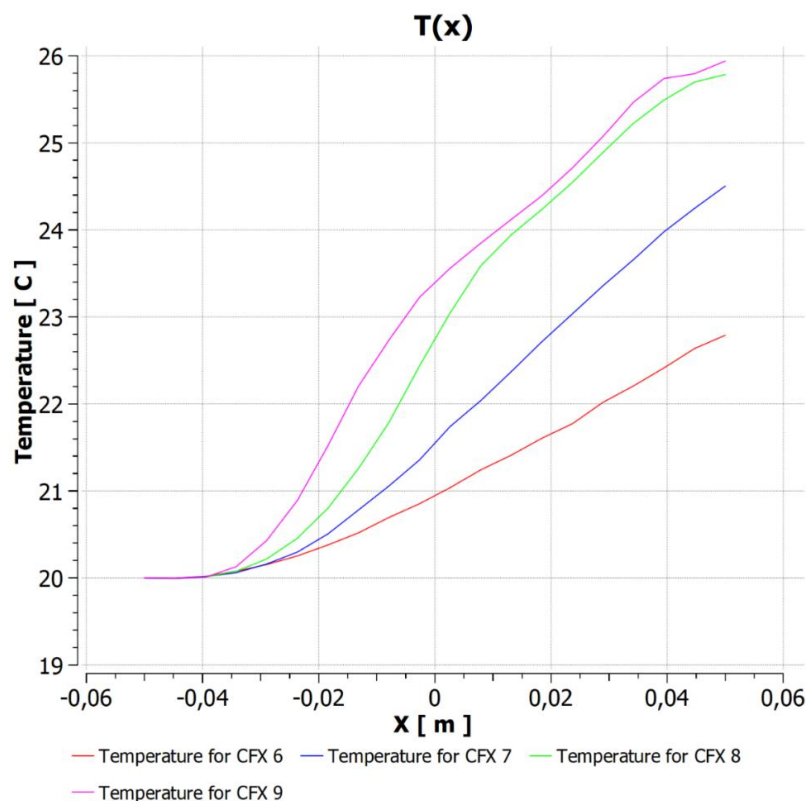


Рисунок 16 – Графік зміни температури: червона лінія – висота 1 мм; синя лінія – висота 1,5 мм; зелена лінія – висота 2 мм; фіолетова лінія – висота 2,5 мм

Значення втрати тиску для різних значень висоти конуса рівні: для висоти 1 мм $p_1 = 101740 - 101490 = 250 \text{ Па}$; для висоти 1,5 мм $p_2 = 101830 - 101350 = 480 \text{ Па}$; для висоти 2 мм $p_3 = 101950 - 101320 = 630 \text{ Па}$; для висоти 2,5 мм $p_4 = 102020 - 101340 = 680 \text{ Па}$. З отриманих даних видно що найбільші втрати тиску відбуваються при висоті конуса рівній 2,5 мм.

Після аналізу даних з рисунків 16, 17 видно, що оптимальною висотою конуса для пластини з конічною виштамповкою є висота 2,5 мм.

Середні значення коефіцієнту тепловіддачі від стінки до рідини при зміні висоти виштамповки наведені в таблиці 2.

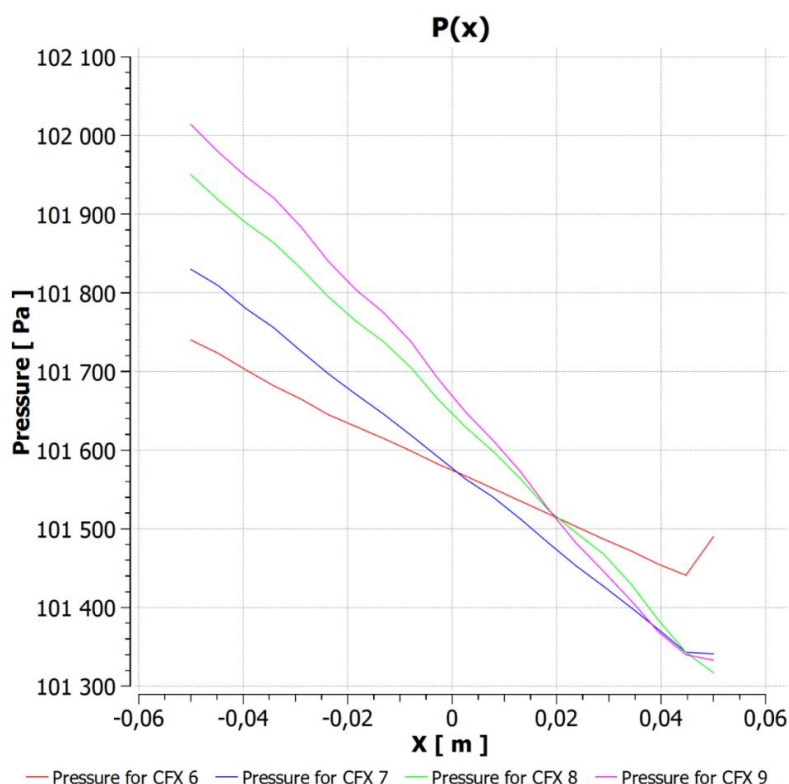


Рисунок 17 – Графік втрати тиску: червона лінія – висота 1 мм; синя лінія – висота 1,5 мм; зелена лінія – висота 2 мм; фіолетова лінія – висота 2,5 мм

Таблиця 2 – Середні значення коефіцієнту тепловіддачі

№ п/п	Висота виштамповки, мм	Середнє значення коефіцієнту тепловіддачі, Вт/(м ² · К)
1	1	3720
2	1,5	4366
3	2	5026
4	2,5	5993

З таблиці видно, що найбільше значення коефіцієнту тепловіддачі можна отримати при висоті 2,5 мм, а найменше при 1 мм.

4.2.5 Висновки

Побудована комп'ютерна модель дає можливість вибору оптимальної конструкції теплообмінної пластини для проведення теплообмінних процесів.

Було проведено два дослідження.

Значення температур для трьох типів виштамповки відповідно: $t_{nl} = 22,2^{\circ}C$; $t_{cn} = 22,4^{\circ}C$; $t_{\kappa} = 27,8^{\circ}C$. Значення витрат тисків для трьох типів виштамповки відповідно: $p_{nl} = 40Па$; $p_{cn} = 250Па$; $p_{\kappa} = 1060Па$. Значення коефіцієнту тепловіддачі для трьох типів виштамповки відповідно: $\alpha_{nl} = 2472 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{cn} = 3340 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{\kappa} = 5339 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. За цими даними було обрано теплообмінну пластину з конічними виштамповками.

Другий дослід проводився для оптимізації конструкції теплообмінної пластини з конічними виштамповками для різних значень висоти конуса та кута нахилу твірної конуса. Для них також були визначені зміни температури, тиску та значення коефіцієнту тепловіддачі. Значення температури для кута нахилу твірної конуса 50° , 55° , 60° та 65° відповідно: $t_{\kappa 1} = 25,3^{\circ}C$; $t_{\kappa 2} = 27,1^{\circ}C$; $t_{\kappa 3} = 27,9^{\circ}C$; $t_{\kappa 4} = 28,7^{\circ}C$. Значення витрат тисків для кута нахилу твірної конуса 50° , 55° , 60° та 65° відповідно: $p_1 = 1050Па$; $p_2 = 870Па$; $p_3 = 950Па$; $p_4 = 1320Па$. Значення коефіцієнту тепловіддачі для кута нахилу твірної конуса 50° , 55° , 60° та 65° відповідно: $\alpha_1 = 4922 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_2 = 5722 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_3 = 5207 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_4 = 5216 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Значення витрат тисків для значень висоти конуса 1 мм , $1,5 \text{ мм}$, 2 мм та $2,5 \text{ мм}$ відповідно: $p_1 = 250Па$; $p_2 = 480Па$; $p_3 = 630Па$; $p_4 = 680Па$. Значення коефіцієнту тепловіддачі для значень висоти конуса 1 мм , $1,5 \text{ мм}$, 2 мм та $2,5 \text{ мм}$ відповідно: $\alpha_1 = 3720 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_2 = 4366 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_3 = 5026 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_4 = 5993 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. За цими даними було обрано теплообмінну пластину з конічними виштамповками з висотою конуса рівною $2,5 \text{ мм}$ та кутом нахилу твірної конуса 65° .

5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ

ДКР представляє послідовне текстове викладення матеріалу, що містить креслення, діаграми, графіки, таблиці, малюнки, тощо.

Орієнтовний обсяг ДКР – 20-50 друкованих аркушів формату А4 (без додатків).

5.1 Загальні вимоги

ДКР подають у вигляді спеціально підготовленого рукопису друкованому вигляді на аркушах формату А4 шрифтом Times New Roman 14 пунктів, міжрядковий інтервал 1,5 Lines у м'якому переплетенні дотримуючись таких розмірів полів: верхній, лівий і нижній — не менше 20 мм, правий — не менше 10 мм.

Заголовки структурних частин ДКР друкують симетрично до тексту, шрифтом Times New Roman, кеглем 14. Заголовки підрозділів друкують маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу. Крапку в кінці заголовків не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Заголовки пунктів друкують маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу в підбір до тексту. У кінці заголовка, надрукованого в підбір до тексту, ставиться крапка [2].

Кожну структурну частину (ЗМІСТ; ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ; ВСТУП; РОЗДІЛИ, ВИСНОВКИ; СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ; ДОДАТКИ) ДКР треба починати з нової сторінки. Під час виконання ДКР необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності й чіткості зображення. У ДКР мають бути чіткі, не розпливчасті лінії, літери, цифри та інші знаки. Всі лінії, літери, цифри і знаки повинні бути однаково чорними.

Сторінки слід нумерувати арабськими цифрами, дотримуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту. Номер сторінки проставляють у правому нижньому куті сторінки без крапки в кінці.

Титульний аркуш включають до загальної нумерації сторінок. Номер

сторінки на титульному аркуші не проставляють.

Ілюстрації й таблиці, розміщені на окремих сторінках, включають до загальної нумерації сторінок.

Розділи і підрозділи повинні мати заголовки. Пункти і підпункти можуть мати заголовки.

Не допускається розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту в нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту.

5.2 Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів

Розділи, підрозділи, пункти, підпункти звіту слід нумерувати арабськими цифрами.

Розділи звіту повинні мати порядкову нумерацію в межах викладення суті звіту і позначатися арабськими цифрами без крапки, наприклад, 1, 2, 3 і т. д.

Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу.

Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, відокремлених крапкою.

Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2 і т. д.

Пункти повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу.

Номер пункту складається з номера розділу і порядкового номера пункту, або з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, відокремлених крапкою. Після номера пункту крапку, не ставлять, наприклад, 1.1,1.2 або 1.1.1, 1.1.2 і т. д.

Якщо текст поділяють тільки на пункти, їх слід нумерувати, за винятком додатків, порядковими номерами.

Номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу, порядкового номера пункту і порядкового номера підпункту, відокремлених крапкою, наприклад, 1.1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.1.3 і т. д.

Якщо розділ, не маючи підрозділів, поділяється на пункти і далі — на підпункти, номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера пункту і порядкового номера підпункту, відокремлених крапкою, наприклад, 1.1.3, 1.2.1 і т. д.

Після номера підпункту крапку не ставлять.

Якщо розділ або підрозділ складається з одного пункту, або пункт складається з одного підпункту, його нумерують.

5.3 Ілюстрації

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) слід розміщувати безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації мають бути посилання у ДКР.

Якщо ілюстрації створені не автором, необхідно при поданні їх дотримуватись вимог чинного законодавства про авторські права.

Креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, розміщені у роботі, мають відповідати вимогам стандартів «Єдиної системи конструкторської документації».

Фотознімки розміром менше за формат А4 мають бути наклеєні на аркуші білого паперу формату А4.

Ілюстрації можуть мати назву, яку розміщують під ілюстрацією. За необхідності під ілюстрацією розміщують пояснювальні дані (підрисунковий текст).

Ілюстрація позначається словом «Рисунок ____ », яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад, «Рисунок 3.1 — Схема розміщення».

Ілюстрації слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках.

Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою, наприклад, рисунок 3.2 — другий рисунок третього розділу.

Якщо у роботі вміщено тільки одну ілюстрацію, її теж нумерують.

Якщо ілюстрація не вміщується на одній сторінці, можна переносити її на інші сторінки, вміщуючи назву ілюстрації на першій сторінці, пояснювальні дані — на кожній сторінці, і під ними позначають: «Рисунок , аркуш _____».

Ілюстрації, за необхідності, можуть бути перелічені в змісті з зазначенням їх номерів, назв і номерів сторінок, на яких вони вміщені.

5.4 Оформлення таблиць

Цифровий матеріал, як правило, оформлюють у вигляді таблиць відповідно.

Горизонтальні та вертикальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, а також лінії зліва, справа і знизу, що обмежують таблицю, можна не проводити, якщо їх відсутність не ускладнює користування таблицею.

Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті.

Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, що наводяться у додатках.

Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 2.1 — перша таблиця другого розділу.

Якщо у роботі одна таблиця, її теж нумерують.

Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею. Назва має бути стислою і відбивати зміст таблиці.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під одною, або поруч, або переносючи частину таблиці на наступну сторінку, повторюючи в кожній частині таблиці її оголовок.

При поділі таблиці на частини допускається її оголовок замінити відповідно номерами граф чи рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами у першій частині таблиці.

Слово «Таблиця__» вказують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть: «Продовження таблиці» з зазначенням номера таблиці.

Заголовки граф таблиці починають з великої літери, а підзаголовки — з малої, якщо вони складають одне речення з заголовком.

Підзаголовки, що мають самостійне значення, пишуть з великої літери. В кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Заголовки і підзаголовки граф указують в однині.

Таблиці, за необхідності, можуть бути перелічені у змісті з зазначенням їх номерів, назв (якщо вони є) та номерів сторінок, на яких вони розміщені.

5.5 Оформлення переліків

Переліки, за потреби, можуть бути наведені всередині пунктів або підпунктів. Перед переліком ставлять двокрапку.

Перед кожною позицією переліку слід ставити малу літеру української абетки з дужкою, або, не нумеруючи — дефіс (перший рівень деталізації).

Для подальшої деталізації переліку слід використовувати арабські цифри з дужкою (другий рівень деталізації).

Переліки першого рівня деталізації друкують малими літерами з абзацного відступу, другого рівня — з відступом відносно місця розташування переліків першого рівня.

5.6 Оформлення приміток

Примітки вміщують у роботі за необхідності пояснення змісту тексту, таблиці або ілюстрації.

Примітки розташовують безпосередньо після тексту, таблиці, ілюстрації, яких вони стосуються.

Одну примітку не нумерують. Слово «Примітка» друкують з великої літери з абзацного відступу, не підкреслюють, після слова «Примітка» ставлять крапку і з великої літери в тому ж рядку подають текст примітки.

Декілька приміток нумерують послідовно арабськими цифрами з крапкою. Після слова «Примітки» ставлять двокрапку і з нового рядка з абзацу після номера примітки з великої літери подають текст примітки.

Пояснення до окремих даних, наведених у тексті або таблицях, допускається оформляти виносками.

Виноски позначають надрядковими знаками у вигляді арабських цифр (порядкових номерів) з дужкою.

5.7 Оформлення формул та рівнянь

Формули та рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки.

Вище і нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Формули і рівняння у роботі (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу.

Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, формула (1.3) - третя формула першого розділу.

Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні.

Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають з абзацу словом «де» без двокрапки.

Переносити формули чи рівняння на наступний рядок допускається

тільки на знаках виконуваних операцій, повторюючи знакові операції на початку наступного рядка. Коли переносять формули чи рівняння на знакові операції множення, застосовують знак «х».

Формули, що йдуть одна за одною й не розділені текстом, відокремлюють комою.

5.8 Оформлення посилань

Посилання в тексті на джерела слід зазначати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад, «... у роботах [1—7] ...».

Допускається наводити посилання на джерела у виносках, при цьому оформлення посилання має відповідати його бібліографічному опису за переліком посилань із зазначенням номера.

Приклад:

Цитата в тексті: «... у загальному обсязі робочого часу частка інформаційної роботи перевищує 70% [6]*».

Відповідний опис у переліку посилань:

6. Автоматизація робіт в установах //ТІЕР. -М 4. -М: Мир, 1983.-С.66 — 76.

При посиланнях на розділи, підрозділи, пункти, підпункти, ілюстрації, таблиці, формули, рівняння, додатки зазначають їх номери.

При посиланнях слід писати: «... у розділі 4 ...», «... дивись 2.1 ...», «... за 3.3.4 ...», «... відповідно до 2.3.4.1 ...», «... на рис. 1.3 ...» або «... на рисунку 1.3 ...», «... у таблиці 3.2 ...», «... (див 3.2) ...», «... за формулою (3.1) ...», «... у рівняннях (1.23) – (1.25) ...», «... у додатку Б ...»

5.9 Вимоги до оформлення ілюстративного матеріалу домашньої контрольної роботи

Обов'язковий ілюстративний матеріал ДКР складається не менше ніж з 1 аркушу креслень формату А3, представленого в тексті ДКР. На кресленні

представлена практична реалізація результатів досліджень у вигляді креслень обладнання (складальної одиниці, деталі), при розробленні якого використовуються результати дослідження.

При розробці креслень передбачають:

- а) оптимальне застосування стандартних і покупних виробів, а також виробів, освоєних виробництвом і відповідних сучасному рівню техніки;
- б) раціонально обмежену номенклатуру різьблень, шліців та інших конструктивних елементів, їх розмірів, покриттів і та ін.;
- в) раціонально обмежену номенклатуру марок і сортamentів матеріалів, а також найбільш дешевих і найменш дефіцитних матеріалів;
- г) необхідний ступінь взаємозамінності, найвигідніші способи виготовлення і ремонту виробів, а також їх максимальна зручність обслуговування в експлуатації.

На кресленні розміщують основний напис відповідно до вимог Державних стандартів України

На кресленнях застосовують умовні позначення (знаки, лінії, літери і літерно-цифрові позначення), встановлені в стандартах.

Умовні позначення застосовують без роз'яснення їх на кресленні і без указівки номера стандарту. Виключення складають умовні позначення, у яких передбачено вказувати номер стандарту, наприклад: **"Отвір центровий С12 ГОСТ14034-74"**.

На робочому кресленні виробу вказують розміри, граничні відхилення, шорсткість поверхонь і інші дані, яким він повинен відповідати перед складанням.

Розміри, граничні відхилення і шорсткість поверхонь елементів виробу, отримані в результаті обробки і в процесі складання або після нього, указують на складальному кресленні. На кресленні деталі такі розміри дають в дужках і в технічних вимогах креслення роблять запис: **"Розміри в дужках після складання"**.

Якщо необхідно вказати розміри і шорсткість поверхні після покриття, то

їх позначають знаком "*" і в технічних вимогах креслення роблять запис типу:
"*Розміри і шорсткість поверхні після покриття".

Якщо ребро необхідно виготовити гострим або округлити, то на кресленні поміщають відповідну вказівку. Якщо на кресленні немає ніяких вказівок про форму крайок або ребер, то вони повинні бути притуплені. При необхідності, в цьому випадку можна указати розмір притуплення (радіус, фаску), який розміщують поруч зі знаком.

Зображення на кресленнях повинні виконуватися в масштабах, установлених в Державних стандартах України.

Масштаби зображень повинні вибиратися з наступного ряду:

- масштаби зменшення 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100 та ін.;
- натуральна величина 1:1;
- масштаби збільшення 2:1; 2,5:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1.

Кращим є зображення в натуральних розмірах (1:1).

В обґрунтованих випадках (наприклад, при зміні розмірів на кресленні в процесі його розробки, коли переоформлення креслення недоцільно) допускається відступ від масштабу зображення, якщо це не утрудняє читання креслення.

Зображення в графічних документах повинні виконуватися лініями, товщина і на креслення яких повинні відповідати [3].

Товщина ліній того самого типу повинна бути однакова для всіх зображень на даному кресленні, що креслять в однаковому масштабі.

Написи на кресленнях повинні виконуватися креслярським шрифтом, форма і розміри якого встановлені [3].

Зображення предметів (виробів, споруд і їхніх складових частин) на кресленнях повинні виконуватися за правилами, встановленим [3].

Зображення на фронтальній площині проекцій приймається на кресленні за головне. При цьому предмет повинен розташовуватися щодо фронтальної площини проекцій так, щоб зображення на ній давало найбільш повне

уявлення про його форму і розміри.

Розташування предмета на головному виді повинно відповідати розташуванню предмета при його виготовленні або його функціональному призначенню.

Кількість зображень (видів, розрізів, перетинів) повинна бути найменшим, але забезпечувати найбільш повне уявлення про предмет при застосуванні встановлених у відповідних стандартах умовних позначок, знаків і написів.

Найменування, розташування і позначення зображень (видів, розрізів, перетинів, виносних елементів) повинні відповідати вимогам [3].

При кресленні зображень допускається застосовувати умовності і спрощення, правила виконання яких встановлені Державними стандартами України.

5.10 Оформлення переліку посилань

Після тексту роботи необхідно подати список використаної літератури. Він відображає обсяг та ступінь вивченості досліджуваної теми, свідчить про рівень володіння навичками роботи з науковою літературою. Список повинен містити бібліографічний опис джерел, використаних студентом під час роботи над темою. Кожний бібліографічний запис треба починати з нового рядка, літературу необхідно розташовувати в алфавітному порядку авторів та назв праць, спочатку видання українською мовою, потім – іноземними. Бібліографічні записи в списку літератури повинні мати порядкову нумерацію.

Укладаючи список використаної літератури, необхідно дотримуватися вимог державного стандарту «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання». Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел, який наводять у роботі, надані у ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення

та правила складання».

У тексті для посилань на наукову літературу слід використовувати квадратні дужки, наприклад: [2, с. 364-367]; [5, с. 127], де перша цифра позначає видання у списку використаної літератури, наступні цифри – сторінки. Якщо дається посилання на декілька джерел, то їх потрібно відділяти одне від одного крапкою з комою, наприклад: [13; 56], посилання на джерела ілюстративного матеріалу треба здійснювати в круглих дужках, наприклад: (реферат № 5).

6 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. X. Chen and Y. Liu, Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench, CRC press, 2018.
2. Madenci, E., Guven, I., 2015. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS®. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7550-8>.
3. ANSYS Help System, ANSYS Mechanical User's Guide, vol. 3304, Release 15, ANSYS, Inc., 2012.
4. ANSYS 2020 R1, ANSYS DesignXplorer User's Guide, vol. 15317, ANSYS, Inc., 2021.
5. A. Gauchia, B. L. Boada, M. J. L. Boada, and V. Diaz, "Integration of MATLAB and ANSYS for advanced analysis of vehicle structures," MATLAB applications for the practical engineer, vol. 2017, 2014.
6. G. Grebenişan and N. Salem, "The multi-objective genetic algorithm optimization, of a superplastic forming process, using Ansys®," in MATEC Web of Conferences, vol. 126, 2017.
7. Kohnke, P.C., ANSYS, I., 1999. ANSYS Theory Reference: Release 5.6. ANSYS Incorporated.
8. Korobiichuk, I.; Mel'nick, V.; Shybetskyi, V.; Kostyk, S.; Kalinina, M. Optimization of Heat Exchange Plate Geometry by Modeling Physical Processes Using CAD. *Energies* 2022, 15, 1430. <https://doi.org/10.3390/en15041430>.

7 ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новиков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв. Навч. посібник у 3 ч. – 4.ІІІ. Основи проектування мікробіологічних виробництв – Львів, Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004 – 252 с.
2. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб. / За ред. проф. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2012. – 543 с.
3. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв [Електронний ресурс] : підручник / І. В. Коваленко, В. В. Малиновський ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 6,81 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011.
4. ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»
5. ДСТУ ГОСТ 2.104:2006. Єдина система конструкторської документації. Основні написи.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

з дисципліни: ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ В БІОТЕХНОЛОГІЧНІЙ
ГАЛУЗІ

тема: _____

Виконав: _____

студент групи _____

спеціальності: Біотехнології та біоінженерія

Керівник: _____

національна шкала _____

кількість балів _____

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

Завдання

На домашню контрольну роботу з дисципліни
«Основи моделювання в біотехнологічній галузі»

Студент

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: "___" _____ 20__ р.

3. Вихідні дані:

4. Зміст ДКР, перелік завдань, що їх належить виконати:

1. _____

2. _____

3. _____

5. Дата видачі завдання "___" _____ 20__ р.

Керівник

(прізвище, ініціали)

(підпис)

Завдання прийнято до виконання
студент

(прізвище, ініціали)

(підпис)