

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт з курсу
«Твердотільне моделювання і основи інженерних
розрахунків»

Частина 2

для студентів денної і заочної форми навчання
спеціальності
131 «Прикладна механіка»
спеціалізації «Технології машинобудування»
галузі знань «Механічна інженерія»

2020

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу “Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків”, частина 2, для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності 131 “Прикладна механіка”, спеціалізації «Технології машинобудування», галузь знань «Механічна інженерія» / Укл.: Гончар Н.В., Степанов Д.М. – Запоріжжя: – НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 46 с.

Укл: Гончар Н.В., доц., канд. техн. наук
Степанов Д.М, доц., канд. техн. наук

Рецензент: Павленко Д.В., професор, доктор технічних наук

Відповідальний за випуск: Дядя С.І., доц., канд. техн. наук

Затверджено
на засіданні кафедри ТМБ
(протокол № 4
від 06.08.2024 р.)

Схвалено НМК
машинобудівного факультету
(протокол № 2
від 27.08.2024 р.)

ЗМІСТ

1 Модальний аналіз деталей на прикладі несучих площин літаків	4
2 Аналіз вібраційних характеристик конструкції.....	10
3 Стаціонарний тепловий аналіз.....	16
4 Розрахунок термонапруженого стану пластини.....	22
5 Тепловий розрахунок об'ємної пластини.....	27
6 Нестационарний тепловий режим.....	32
7 Стаціонарний та нестационарний тепловий аналіз. Термоміцно- стний аналіз деталей авіаційних двигунів.....	36
Перелік джерел.....	46

Вимоги з техніки безпеки:

1. Пам'ятати про особисту відповідальність за дотримання правил охорони праці і техніки безпеки.
2. Протягом усього робочого часу утримувати в порядку робоче місце, не захаращувати проходи до нього.
3. Повідомити про недоліки у роботі комп'ютера або несправність обладнання, якщо, наприклад, при ввімкненні комп'ютера на дисплеї не з'являється ніяка інформація (екран порожній), або по центру висвічується яскрава смуга.
4. Помітивши порушення інструкції іншими особами або небезпеку для навколишнього середовища, не залишатися байдужими, попередити їх про необхідність дотримання вимог, що забезпечують безпеку робіт, або повідомити викладача чи адміністратора класу.
5. При виявленні запаху гару в пристроях ПЕОМ негайно вимкнути апаратуру, удруге не включати і звернутися до адміністратора комп'ютерного класу і викладача.

Забороняється:

1. Залишати своє робоче місце без відома викладача.
2. Вмикати і вимикати (крім аварійних випадків) устаткування і механізми, робота на яких не доручена.
3. Від'єднувати (приєднувати) будь-які пристрої і кабелі ПЕОМ в увімкненому в електромережу комп'ютері.
4. Працювати та ремонтувати несправне устаткування.
5. Торкатися до струмопровідних частин, електричних дротів (навіть ізольованих), кабелів, клем, наступати на переносні дроти на підлозі.
6. Відволікатися сторонніми справами і розмовами, ходити по приміщенню, відволікаючи інших.
7. Виконувати розпорядження адміністрації, якщо воно суперечить правилам охорони праці і може призвести до нещасного випадку.

1. МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДЕТАЛЕЙ НА ПРИКЛАДІ НЕСУЧИХ ПЛОЩИН ЛІТАКІВ

Мета роботи: Вивчити можливості і основні концепції модального аналізу деталей.

Постановка задачі: Відпрацювати основні задачі, які вирішуються за допомогою модального аналізу, на прикладі моделі крила літака. Визначити власні частоти і вузли коливань крила.

Необхідне обладнання та матеріали:

1. ПК (персональний комп'ютер з операційною системою Windows XP).
2. Програма ANSYS 8.0.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи.
4. Комплект індивідуальних завдань.

Порядок виконання роботи

Перетин крила, однаковий по всій довжині, утворюється двома прямими лініями, як показано на рис. 1.1. Крило закріплено з одного кінця (на фюзеляжі літака) по всіх можливих ступенях свободи, з іншого – вільне. Розміри крила приведені на рис. 1.1. Крило виготовлено з поліетилену низької густини з модулем Юнга $3,8 \cdot 10^5$ МПа, з числом Пуассона 0,3 і густиною $8,3 \text{ г/см}^3$ – ізотропне тверде тіло з постійними властивостями.

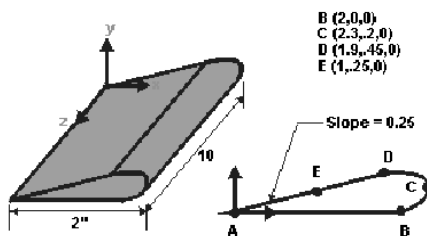


Рисунок 1.1 – Модель крила літака

Геометричні побудови

- 1.1. Запустіть систему ANSYS 8.0.
- 1.2. Побудуйте точки за заданими координатами, обов'язково введіть номери точок.

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Keypoints →
→ In Active CS

Точка 1 – A(0,0,0);

Точка 2 – B(2,0,0);

Точка 3 – C(2.3,0.2,0);

Точка 4 – D(1.9,0.45,0);

Точка 5 – E(1,0.25,0).

1.3. Побудуйте лінії, що з'єднують точки.

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Lines → Lines →
→ Straight Line

Кликніть мишею на точки 1,2,5,1 у вказаному порядку (з'являться дві прями 1-2 і 5-1). Потім [OK].

Точки з 2 по 5 використовуються для побудови плавно зігнутої частини крила. ANSYS забезпечує визначення дотичних векторів, направлених назовні в першій і останньої точках сполучної лінії. Визначте лінію так, щоб вона мала кут нахилу, рівний нулю, в основі крила і 0,25 у верхній частині крила, як показано на рисунку 1.1.

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Lines → Splines →
→ With Options Spline → Spline thru KPs

Кликніть мишею на точки 2,3,4,5 у вказаному порядку, потім [OK].

Введіть -1,0,0 для XV1,YV1,ZV1.

Введіть -1, -0.25,0 для XV6,YV6,ZV6. Потім [OK].

1.4. Створіть площину за одержаними лініями (рис. 1.2).

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas →
→ Arbitrary → By lines

Виберіть всі 3 лінії. Потім [OK].

Збережіть результати вибору в DB-файл.



Рисунок 1.2 – Площина, створена по лініях моделі

1.5. Визначте константи матеріалу.

Main Menu → Preferences

Поставте галочку Structural. Потім [OK].

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models

Виберіть по черзі Structural, Linear, Elastic, Isotropic у вікні, що з'явилося.

Введіть 3.8E11 в полі EX. Введіть 0.3 в полі PRXY. Потім [OK].

Виберіть Density (щільність).

Введіть 8.3E3 в полі DENS. Потім [OK].

Побудова сітки секції крила

1.6. Визначте тип елементів.

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete...

Виберіть Solid в списку Structural Mass.

Виберіть наступні типи елементів: плоский – Quad 4node (Plane42) і об'ємний – Brick 8node (Solid45).

Збережіть результати вибору.

1.7. Побудуйте сітку секції крила.

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh Tool...

Натисніть кнопку Set навпроти напису Global в списку Size Controls.

- Введіть 0.25 в полі Element edge length. Потім [OK].

Натисніть Mesh. Потім Pick All. Якщо з'явиться попередження – необхідно натиснути Close.

Закрийте вікно Mesh Tool.

Збережіть результат.

Примітка. При виконанні цієї задачі було враховано максимальне можливе число вузлів програми ANSYS/ED. Саме тому вибрали 4-х вузловий елемент Plane42, а не 8-ми вузловий Plane82. Зверніть увагу, що сітка містить трикутник Plane42, через який на екран виводиться попередження. Якщо Ви не використовуєте ANSYS/ED, то рекомендується вибрати елемент Plane82 в процесі завдання типу елементів, тим самим Ви уникнете появи цього попередження. Зазначимо також, що Plane82 не підійде до тих пір, поки Ви не зміните параметр Global Element Edge Length, якому було привласнено значення 0.25.

1.8. Перетворення площини з сіткою в об'ємну тривимірну фігуру.

На цьому етапі тривимірний об'єм буде створено шляхом зміни типу елементу на Solid45, який визначено, як елемент типу 2, з подальшим протягуванням плоскої області в об'єм.

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Extrude → → Elem Ext Opts.

Виберіть 2 (Solid45) в полі Element type number.

Введіть 10 в полі No. Elem divs. Потім [OK].

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Extrude → → Areas → XYZ Offset.

Натисніть Pick All.

Введіть 0,0,10 в полі Offsets for extrusion in Z direction. Потім [OK].

Якщо випаде попередження – натисніть Close.

Примітка. Використання Solid 45 для вирішення цієї задачі в ANSYS/ED приведе до появи цього попередження. Якщо Ви не використовуєте ANSYS/ED, то як елемент 2 можна вибрати Solid95 (20-node brick). Користування Plane82 і Solid95 призводить до появи попередження "shape warning limits for 10 127 elements in volume".

Потім:

Utility Menu → PlotCtrls → Pan, Zoom, Rotate.

- Виберіть ISO. Потім Close.

На екрані через деякий час з'явиться зображення тривимірної фігури. Тривалість формування малюнка визначається потужністю вашого комп'ютера.

Збережіть результат.

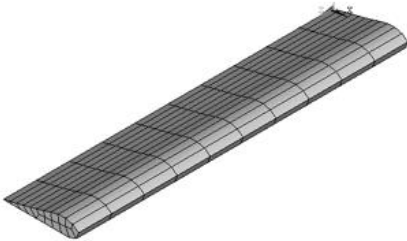


Рисунок 1.3 – Об'ємна тривимірна модель крила

Завдання навантажень

1.9. Виключення двовимірних елементів.

Перед додаванням граничних умов для зафіксованого кінця крила виключаємо всі Plane42 елементи, що використовуються в двовимірній області сітки, оскільки вони не будуть використані при аналізі.

Utility Menu → Select → Entities.

Виберіть Elements. Потім By Attributes. Виберіть Elem type num.

- Введіть 1 в полі Min,Max,Inc. Виберіть Unselect. Натисніть Apply. Цю панель не закривайте.

1.10. Завдання граничних умов для моделі.

Граничні умови задаватимуться до всіх точок, в яких крило кріпиться до фюзеляжу. В цьому ж вікні можна до всіх точок з координатами $Z=0$ задати граничні умови. Це виконується таким чином.

Виберіть Nodes. Виберіть By Location. Виберіть Z coordinates.

Введіть 0 в полі Min,Max. Виберіть From Full. Натисніть Apply. Панель Select Entities не закривайте.

Main Menu → Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply →
→ Structural → Displacement → On Nodes.

Натисніть Pick All в меню, що з'явилося, для вибору всіх виділених точок.

Виберіть All DOF. Потім [OK]. (*Зауваження:* залишаючи поле змінної величини порожнім, ми тим самим привласнюємо йому значення, що за умовчанням, дорівнює нулю).

1.11. Повторне виділення всіх точок в тій же панелі Select Entities.
- Виберіть Num/Pick.

Натисніть Sele All для негайного виділення всіх крапок.

Натисніть Cancel для закриття цього вікна.

Збережіть результат.

Отримання рішення

1.12. Завдання типу рішення і його властивостей.

Визначення типу аналізу.

Main Menu → Solution → Analysis Type → New Analysis.

- Виберіть Modal. Потім [OK].

Main Menu → Solution → Analysis Type → Analysis Options.

Виберіть Block Lanczos.

Введіть 5 в полі No of modes to extract.

Введіть 5 в полі No of modes to expand. Потім [OK].

У панелі, що з'явилась, Block Lanczos Method натисніть [OK]. (Всі значення за умовчанням підходять для даного аналізу.)

Збережіть результат.

1.13. Отримайте рішення з поточними настройками.

Main Menu → Solution → Solve → Current LS.

Прогляньте інформацію в статусному вікні, потім закрийте його.

- Натисніть [OK] для початку рішення.

Натисніть Yes в панелі, що з'явилась. В наступній – також Yes.

З попередніх міркувань виходить, що зі всіма попередженнями треба погодитися. Повідомлення у вікнах Verify з'являються унаслідок того, що елементи Plane42 були визначені, але не використані при аналізі. Вони використовувалися для побудови двовимірної сітки.

Закрийте вікно з повідомленням SOLUTION is done.

1.14. Визначення власних частот.

Main Menu → General Postproc → Results Summary

Після оглядання списку, закрити вікно.

Зауваження. Ваші результати можуть трохи відрізнятись. Це пояснюється тим, що сітка може бути побудована по-різному.

1.15. Анімація результатів.

1.15.1. Анімація першої моди.

Main Menu → General Postproc → Read Results → First Set.

Utility Menu → PlotCtrls → Animate → Mode Shape. Потім [OK].

Ви можете спостерігати форму першої моди.

1.15.2 Поміняйте різні опції у вікні Animation Controller (наприклад, змініть швидкість відображення коливань), потім закрийте вікно – Close.

1.15.3 Анімація наступної моди.

Main Menu → General Postproc → Read Results → Next Set.

Utility Menu → PlotCtrls → Animate → Mode Shape. Потім [OK].

Повторіть кроки 15.2 – 15.3, як було показано вище, і прогляньте три моди, що залишилися (форми третьої, четвертої, п'ятої моди коливань моделі крила).

1.16. Прогляньте переміщення точок крила літака і визначте вузлові перетини.



Рисунок 1.4 – Форма п'ятої моди коливань моделі крила літака

1.17. Оформіть звіт практичної роботи, в якому необхідно відобразити мету роботи, ескіз моделі, вихідні дані, схематичні ескізи різних форм коливань, розраховані частоти власних коливань по перших п'яти модах і вузлові перетини. Висновки.

Контрольні питання

1. Основні задачі, що вирішуються при модальному аналізі.
2. Завдання геометричної моделі профілю крила літака. Прийняті спрощення геометрії крила. Принцип отримання об'ємної моделі.
3. Завдання властивостей матеріалу моделі деталі.
4. Типи елементів, які вживаються при модальному аналізі несучої площини. Їх особливості.
5. Особливості визначення граничних умов при модальному аналізі.
6. Анімація одержаних мод коливань деталей.
7. Аналіз результатів модального аналізу.

2. АНАЛІЗ ВІБРАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЇ

Мета роботи: Піддати конструкцію, представлену на рис. 2.1, що складається із пластин з різними фізичними властивостями, гармонійному аналізу та одержати: переміщення й прискорення на заданому інтервалі частот, форму коливань на резонансній частоті.

Тип аналізу: *Структурний*

Тип КЕ: *Оболонка (Shell)*

Тип граничних умов: *Жорстке зацмлення бічної грані й рівномірно розподілене навантаження*

Можливості: *Одержання резонансної частоти, форми коливань на резонансній частоті й прискорення на заданому інтервалі частот.*

Необхідне обладнання та матеріали:

1. ПК (персональний комп'ютер з операційною системою Windows XP).
2. Програма ANSYS 8.0.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи.
4. Комплект індивідуальних завдань.

Порядок виконання роботи

2.1. Визначаємо структурний тип аналізу:

Main Menu → Preferences... Вибираємо Structural → ОК.

2.2. Будуємо деталь згідно ескізу (рис. 2.1). Матеріал площин – різний (1 – сталь, 2 та 3 – магнієвий сплав).

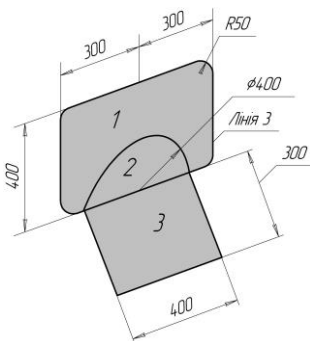


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі (кут між площинами 135°)

2.2.1. При побудові цієї конструкції в ANSYS спочатку побудуйте фігуру 1: кутові точки, лінії, радіуси скруглень, площину 1. Півколо можна намалювати як дугу (за центром та радіусом). Замкніть її лінією та створіть площину 2. Або намалюйте дугу як цільне півколо: Partial Circle.

2.2.2 Для завершення конструкції повернемо систему координат проти годинникової стрілки на кут, рівний 135° :

Utility Menu → WorkPlane → Offset WP by Increments...

В вікні Degrees XY, YZ, ZX Angles потрібно ввести 0,135,0. Це означає поворот в площині YZ (навколо осі X).

Будуємо прямокутник 3 за розмірами (рис. 2.1).

2.2.3. З'єднуємо в одне ціле всі отримані раніше частини конструкції, для цього:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans →
→ Partition → Areas...

Виділяємо курсором спочатку другу фігуру (рис. 2.1), потім перший прямокутник, натискаємо ОК. Тепер склеюємо всі пластини:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans → Glue →
→ Areas → Pick all.

Таким чином, ми одержуємо єдину конструкцію.

2.3. Визначаємося з типом елементів – для плоскої поверхні (оболонки) – SHELL63:

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete →
→ Add... → Structural → Shell (elastic 4 node 63) [Ok] → Close

2.4. Задаємо властивості матеріалів. Спочатку визначаємо товщини використуваних пластин, для цього:

Main Menu → Preprocessor → Real Constants → Add/Edit/Delete → Add →
Ок. В Пункті Shell thickness at node I TK(I)

Задаємо товщину пластини, рівну 0.006 метрам, і повторюємо операцію ADD → ОК, задаємо товщину другого матеріалу, рівну 0.012 метрам і натискаємо [Close].

Далі задаємо властивості для обох матеріалів:

Main menu → Preprocessor → Material props → Material models.

2.4.1. Подвійним натисканням миші на зазначені папки виконуємо:

Structural → Linear → Elastic → Isotropic.

У вікні Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 задаємо: модуль Юнга $2e11$ Па й коефіцієнт Пуассона 0.27.

2.4.2. Аналогічно розкрийте DENSITY і в поле щільність DENS задайте 7800 кг/м^3 .

2.4.3. Натисніть: Material → New Model... і вже для другого матеріалу повторюємо перші дві операції, привласнивши: $EY = 1e11$ Па;

PRXY = 0.23; DENS = 2700 кг/м³.

2.5. Призначаємо кожному прямокутнику свій матеріал:

Main menu → Preprocessor → Meshing → Mesh Attributes → Picked Areas:

– натискаємо на перший прямокутник (рис. 2.1) [OK], у вікні, що з'явилося, виставляємо: MAT = 1, REAL = 1, TYPE = 1 SHELL63, ESYS = 0 і натискаємо [OK];

– потім натискаємо Picked Areas і натискаємо на площини 2 та 3 по черзі, натискаємо [OK], у вікні Area Attributes виставляємо: MAT = 2, REAL = 2, TYPE = 1 SHELL63, ESYS = 0.

2.6. Розбиваємо конструкцію на кінцеві елементи:

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Size Cntrls → Manual Size → → Global → Size

змінній SIZE привласнюємо значення 0.03; потім натискаємо [OK]

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh → Areas → Free → Pick All

2.7. Проводимо розрахунок гармонійної вібрації:

2.7.1. Призначаємо тип аналізу – гармонійний:

Main menu → Solution → Analysis Type → New analysis... → Harmonic... [OK]

2.7.2. Закріплюємо конструкцію за вертикальну лінію 3 (рис.2.1) – за всіма напрямками переміщення дорівнює нулю:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → → Displacement → On Lines...

і вибираємо лінію 3, [OK], у вікні, що з'явилося, вибираємо ALL DOF, [OK].

2.7.3. Навантажуємо конструкцію розподіленою силою на прямокутну поверхню 3, як показано на рис. 2.1:

Main menu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → → Pressure → On areas

виділяємо зазначену поверхню 3, натискаємо [OK], і у вікні змінної VALUE Load PRES Value задаємо значення розподіленого навантаження, що дорівнює 1000 Н/м².

2.7.4. Проводимо розрахунок:

Main Menu → Solution → Load Step Opts → Time/Frequenc → Freq And Substps...

і виставляємо значення: HARFRQ = від 1 до 50 Гц – інтервал частот, а NSUBST = 50 – кількість кроків та галочку STEPPED. Натискаємо [OK].

Потім:

Main Menu → Solution → Solve → Current LS [OK].

2.8. Переглядаємо результати розрахунку:

2.8.1. Вибираємо послідовно три вузли, для яких будуюмо графіки переміщень і прискорень залежно від частоти навантаження:

Main menu → TimeHist Postpro → Define Variables...

тобто, визначаємо вузли, з яких будуть зчитуватися значення переміщень.

Вікно, що з'явилося необхідно закрити. Далі натискаємо на кнопку ADD... і вибираємо NODAL DOF RESULT, натискаємо [OK]. Вибираємо спочатку вузол 1, як показано на рис. 2.2. Підтверджуємо вибір натисканням [OK]. У вікні, що з'явилося, виставляємо: NVAR (номер змінної) рівний 2, Data item рівний DOF Solution і Translation UY (всі результати по осі Y), натискаємо [OK]. Потім знову натискаємо на кнопку ADD... і вибираємо NODAL DOF RESULT, натискаємо [OK]. Вибираємо вузол 2, як показано на рис. 2.2. Підтверджуємо вибір натисканням [OK]. У вікні, що з'явилося, виставляємо: NVAR (номер змінної) рівний 3, DATA ITEM рівний DOF Solution і Translation UZ (всі результати по осі Z), натискаємо [OK]. Повторюємо другий крок для змінної 4. Вибираємо вузол 3 (рис. 2.2) і привласнюємо NVAR (номер змінної) рівний 4, Data item рівний DOF Solution і Translation UZ

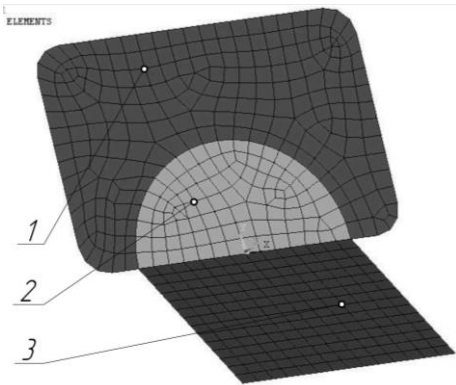


Рисунок 2.2 – Розташування вузлів, в яких досліджуємо прискорення і переміщення

2.8.2. Будуємо графіки:

Main menu → TimeHist Postpro → Graph Variables...

і у вікні наберемо: NVAR1 привласнимо значення 2, NVAR2 привласнюємо значення 3, NVAR3 привласнюємо значення 4; і натискаємо [OK]. У результаті цього одержуємо графік значень переміщень залежно від частот у раніше визначених вузлах. За графіком визначаємо за якої частоти відбувається перший резонанс (сплеск значень переміщень).

2.8.3. Вивчаємо форму коливань конструкції при визначеній частоті:

Main Menu → General Postproc → Read Results → By time/freq...,

у вікні, що з'явилося, виставляємо всі значення, як зображено на рис. 2.3. Крім змінної TIME Value of time or freq, якій привласнюємо значення

раніше визначеної в пункті 8.2 резонансної частоти і натискаємо [OK]. Після цього:

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu...

у вікні, що з'явилося, змінній PLNSOL привласнюємо значення Stress, Von Misses і потім [OK]; а якщо в останнім вікні змінної PLNSOL привласнюємо значення DOF Solution, Translation USUM, одержуємо переміщення конструкції на резонансній частоті.

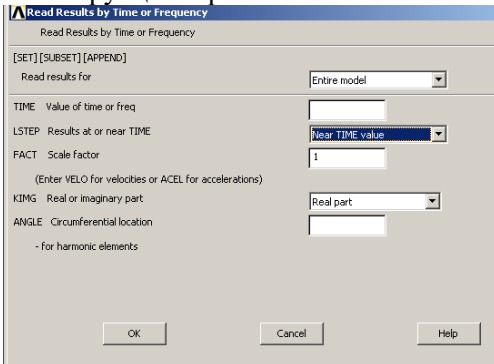


Рисунок 2.3 – Панель зчитування результатів

2.8.4. Будуємо графіки прискорень раніше обраного вузла. При гармонійному аналізі прискорення являє собою добуток переміщення на квадрат частоти. Тобто для одержання прискорень досить зробити просте перемноження:

Main Menu → Timehist Postpro → Math Operations → Multiply...

у вікні, що з'явилося, виставляємо: IR=5 - номер змінної в якій буде зберігатися результат перемноження – прискорення, IA=2 – номер змінної в якій зберігаються значення переміщень, IB=1 та IC=1 – номер змінної у якій зберігаються значення частот раніше заданого інтервалу, і натискаємо [OK]. Далі виконуємо візуалізацію графіка:

Main Menu → TimeHist Postpro → Graph Variables...

у вікні, що з'явилося, змінній NVAR1 привласнюємо значення 5. Значення інших змінних видаляємо і натискаємо [OK]. Одержуємо графік прискорень в обраному вузлі для заданого раніше діапазону частот.

2.9. Зміст звіту: ескіз деталі, вихідні дані, короткі теоретичні відомості, докладний опис всіх кроків розрахунку за допомогою ANSYS при розрахунку гармонійної вібрації, малюнки впливу вібрації на деталь із параметрами переміщення й прискорення на заданому інтервалі частот, форма коливань на резонансній частоті. Висновки.

Контрольні питання

1. Що Ви розумієте під визначенням гармонійного аналізу?
2. Чи є обов'язковим задання щільності в моделі матеріалу при проведенні гармонійного аналізу?
3. Яким чином визначити резонансну частоту конструкції?
4. Чому дорівнює віброприскорення?
5. Назвіть етапи проведення аналізу гармонійних вібрацій.
6. Як визначають переміщення елементів конструкції на резонансній частоті?
7. Як визначають коливання еквівалентних напружень конструкції при резонансній частоті?

3. СТАЦІОНАРНИЙ ТЕПЛОВИЙ АНАЛІЗ

Мета роботи: Провести та відпрацювати стаціонарний тепловий аналіз конструкції пластини з отворами.

Тип аналізу: *Нелінійний тепловий розрахунок конструкції.*

Тип кінцевого елемента: *Двовимірний твердотільний (Solid).*

Тип граничних умов: *Конвекція.*

Можливості: *Завдання теплопровідності як функції температури, побудова графіка температур і теплового потоку.*

Необхідне обладнання та матеріали:

1. ПК (персональний комп'ютер з операційною системою Windows XP).
2. Програма ANSYS 8.0.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи.
4. Комплект індивідуальних завдань.

Порядок виконання роботи

3.1. Визначаємо тип аналізу:

Main Menu → Preferences... → Thermal [OK] (тепловий розрахунок).

3.2. Визначимо одиниці виміру температури – градуси Цельсія:

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Temperature Units...

- Виберіть „Celsius” [OK].

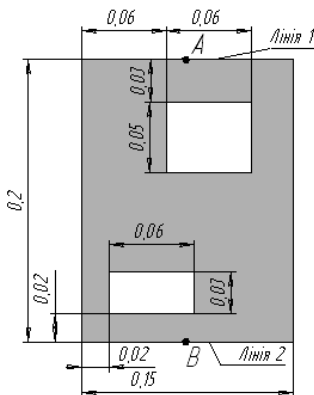


Рисунок 3.1 – Ескіз пластини з отворами

3.3. Будуємо модель пластини з прямокутними отворами (рис. 3.1).

3.3.1. Будуємо прямокутник зі сторонами 150 і 200 мм.

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas →
→ Rectangle → By Dimensions...

- задаємо координати X1, X2 і Y1, Y2 відповідно 0, 0.15, 0, 0.2[ОК].

3.3.2. Аналогічно будуємо прямокутник першого отвору (координати X1, X2 і Y1, Y2 відповідно 0.02, 0.08, 0.02, 0.05).

3.3.3. Будуємо прямокутник другого отвору (координати X1, X2 і Y1, Y2 відповідно 0.06, 0.12, 0.12, 0.17).

3.4. Створюємо конструкцію за допомогою логічного вирахування геометричних об'єктів:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans →
→ Subtract → Areas

- Кликніть на елемент, що залишається – це площа прямокутника, далі [ОК]

- Кликніть на елементи, що необхідно видалити – для цього вкажіть послідовно два прямокутні отвору, [ОК]

3.5. Визначаємося із властивостями матеріалу:

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models

3.5.1. Виберіть по черзі Thermal → Conductivity → Isotropic.

Задайте теплопровідність як функцію температури. Створіть ще три додаткові комірки для завдання змінної теплопровідності в табличній формі. У вікні Conductivity for material number натисніть три рази на кнопку Add temperature і в полях Temperatures та KXX задайте відповідні значення температур T_1, T_2, T_3, T_4 та теплопровідності (табл. 3.1) і натисніть[ОК].

Таблиця 3.1 – Залежність теплопровідності від температури

Температура, °C	20	40	60	100
Теплопровідність, Вт/м ·°C	30	35	55	95

3.5.2. Виберіть Density і в полі DENS задайте 7800 кг/м^3 [ОК].

3.6. Вибираємо тип кінцевого елемента, PLANE55:

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete...

- Виберіть в правому вікні – Thermal Mass Solid → Quad4 Node 55 → [ОК]

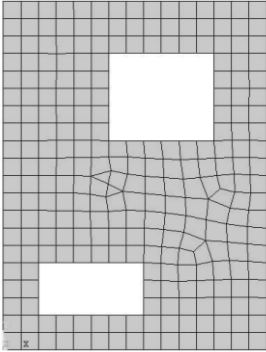


Рисунок 3.2 – Модель пластини з сіткою KE

3.7. Розбиваємо конструкцію на кінцеві елементи (рис.3.2):

3.7.1. Задаємо середній розмір кінцевих елементів:

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Size Controls → Manual Size → Global → Size

У вікні розміру KE привласнюємо SIZE значення 0.01, [OK].

3.7.2. Проводимо розбивку:

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh → Areas → Free → Pick all.

3.8. Задаємо граничні умови до лінії 1 (див. рис.3.1) – кімнатну температуру (20°C), до лінії 2 – температуру 110°C.

3.8.1. Задаємо температуру навколишнього середовища, що контактує з лінією

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal → Convection → On lines...

- натисніть на лінію 1 (рис. 3.1), [OK]. У вікні, привласніть VAL1 і VAL2 значення 20, [OK].

3.8.2. Задаємо температуру, що діє на лінію 2:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal → Convection → On lines

- натисніть на лінію 2, [OK]. У вікні VAL1 і VAL2 привласнюємо значення 110 [OK].

3.8.3. Визначаємо величину часового кроку:

Main Menu → Solution → Load Step Opts → Time/Frequec → Time and Substps

- у вікнах TIME і NSUBST задайте значення 1, [OK].

3.9. Проводимо розрахунок:

Main Menu → Solution → Solve → Current LS.,

3.10. Переглядаємо результати:

3.10.1. Картина розподілу температури:

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot →

→ Nodal Solution → DOF Solution, [OK].

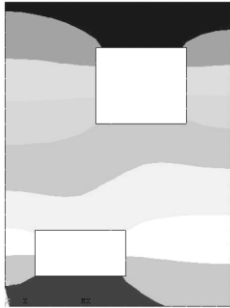


Рисунок 3.3 – Розподіл температур в моделі пластини

3.10.2. Для одержання графіка температури на заданому шляху необхідно визначити шлях по прямій від точки А до точки В (рис. 3.1):

Main Menu → General Postproc → Path Operations → Define Path →
→ By Nodes...

- виділяємо два вузли на протилежних сторонах конструкції (рис. 3.1), де точка А – початок шляху й В – його кінець, [OK]; у вікні ім'я шляху – NAME привласнюємо ім'я *TEMP*, [OK].

3.10.3. Визначаємо, що виводити на графіку (значення температур):

Main Menu → General Postproc → Path Operations → Map Onto Path...

- вибираємо DOF SOLUTION і Temperature *TEMP*;
- /PBC встановлюємо галочку YES, [OK]. Зауваження ігноруємо.

Отримаємо графік розподілення температур.

Main Menu → General Postproc → Path Operations → Plot Path Item →
→ On Graph...

- вибираємо задане ім'я шляху *TEMP*, [OK].

Намалюйте графік розподілу температур по лінії *AB* у відповідному масштабі.

3.10.4. Графік величини теплового потоку за заданим шляхом:

Main Menu → General Postproc → Path Operations → Map Onto Path...

- вибираємо PDEF значення Flux & Gradient, Thermal Flux – TFSUM [OK].

Main Menu → General Postproc → Path Operations → Plot Path Item →
→ On Graph...

- вибираємо TFSUM, щоб отримати тільки графік зміни потоку, [OK].

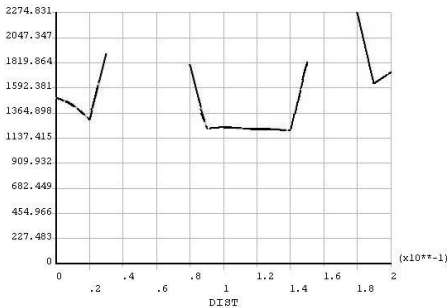


Рисунок 3.4 – Графік величини теплового потоку в моделі за лінією АВ

3.11. Зміст звіту: ескіз моделі пластини, вихідні дані, короткі теоретичні відомості, докладний опис всіх кроків розрахунку за допомогою ANSYS при проведенні теплового аналізу, ескіз стану деталі, два графіки $T=f(x)$; $Q=f(x)$ у відповідному масштабі. Висновки.

Контрольні питання

1. Основні задачі, що вирішуються при стаціонарному тепловому аналізі.
2. Завдання нелінійного теплового аналізу в ANSYS.
3. Визначення одиниць виміру температури.
4. Типи елементів, які вживаються при тепловому аналізі.
5. Завдання властивостей матеріалу моделі деталі в тепловому аналізі.
6. Теплопровідність матеріалів. Можливість завдання постійної та змінної від температури теплопровідності.

Самостійна робота 3.1

Проведіть стаціонарний нелінійний аналіз конструкції деталі – кільця (рис. 3.5) за варіантами (табл. 3.2). Кільце виготовлене з нікелевого сплаву.

Геометричні розміри кільця – зовнішньої поверхні – $D1$, внутрішньої – $D2$. Задано також температуру навколишнього середовища та теплопровідність матеріалу, змінна в залежності від температури матеріалу деталі.

Необхідно отримати картину розподілу температур, а також графіки температур та теплового потоку перерізу KL.

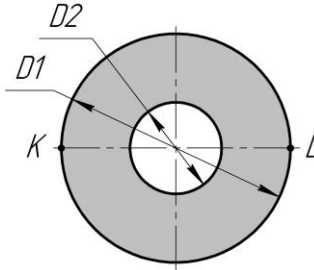


Рисунок 3.5 – Ескіз кільця

Таблиця 3.2

Вариант	D1, мм	D2, мм	Температура кільця, °С		Змінна теплопровідність Вт/м·град, від температури	
			на зовнішній поверхні	на внутрішній поверхні	20 °С	70 °С
1	100	40	120	20	35	55
2	105	40	115	20	35	55
3	110	45	110	20	35	60
4	115	45	105	20	35	60
5	120	50	100	20	40	65
6	125	50	95	20	40	65
7	130	55	120	20	40	70
8	135	55	115	20	40	70
9	140	60	110	20	45	75
10	145	60	105	20	45	75
11	150	65	100	20	45	80
12	155	65	95	20	45	80
13	160	70	120	20	50	85
14	165	70	115	20	50	85
15	170	75	110	20	50	55
16	175	75	105	20	50	55
17	180	80	100	20	55	60
18	185	80	95	20	55	60
19	190	85	120	20	55	65
20	195	85	115	20	55	65
21	200	90	110	20	60	70
22	205	90	105	20	60	70
23	210	95	100	20	60	75
24	215	95	95	20	60	75
25	220	100	120	20	65	80

4. РОЗРАХУНОК ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПЛАСТИНИ

Мета роботи: Виконати зв'язану теплову й міцностну задачу для конструкції неоднорідної біметалічної пластини (з двох матеріалів: сталі і алюмінію).

Тип аналізу: *Зв'язаний тепловий і міцностний розрахунок для неоднорідної конструкції.*

Тип KE: *Двовимірний твердотільний (Thermal Solid).*

Тип граничних умов: *Призначення температури вузлам сітки.*

Можливості: *Накладення температурного поля в міцностному аналізі як навантаження.*

Необхідне обладнання та матеріали:

1. ПК (персональний комп'ютер з операційною системою Windows XP).
2. Програма ANSYS 8.0.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи.
4. Комплект індивідуальних завдань.

Порядок виконання роботи

- 4.1. Визначаємо тип аналізу (тепловий розрахунок), та одиницю виміру температури – градуси Цельсію.
- 4.2. Вибираємо тип кінцевого елемента (PLANE55):
Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete...
- виберіть в центральному вікні – Thermal Mass → Solid, а в правому вікні виберіть – Quad4 Node 55 → [OK]
- 4.3. Визначаємося із властивостями матеріалу:
Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models
 - 4.3.1. Спочатку задамо властивості сталі. Виберіть по черзі
Favorites → Linear Static → Linear Isotropic...
- задайте у відповідних вікнах модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа та коефіцієнт Пуассона – 0,3: EX = 2 E11 та PRXY = 0.3, [OK];
- задайте щільність DENS = 7800 кг/м^3 , [OK]:
Favorites → Linear Static → Density...
- задайте коефіцієнт теплового розширення ($10 \cdot 10^{-6} \text{ м/}^\circ\text{C}$) ALPX = 1E-7, [OK];
Favorites → Linear Static → Thermal Expansion (secant –iso)...
- задайте теплопровідність $30 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$: KXX = 30, [OK]:
Thermal → Conductivity → Isotropic...

- задайте теплоємність: $C = 100$, [ОК]. Не закриваємо цю панель.
Thermal → Specific Heat...

4.3.2. Визначаємо властивості іншого матеріалу, алюмінію, з якого зроблено другу частину конструкції деталі.

Material → New Model: 2, [ОК].

- повторюємо пункт 4.3.1, задаємо властивості алюмінію з параметрами: $E_X = 1.69E10$, $PRXY = 0.25$, $DENS = 2780$, $ALPX = 1E-6$, $KXX = 40$, $C = 80$.

4.4. Будуємо модель пластини – Прямокутник зі сторонами 200×40 мм (0.2×0.04 м):

4.4.1. В отриманому прямокутнику створимо точки E і F посередені відрізків AB і CD відповідно:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Keypoints →
→ KP between KPs...

- клікніть по черзі на точки A і B (означені на рис. 4.1), [ОК]. Значення $RAT1$ залиште 0.5 , [ОК]. Отримуємо точку E .

Після повтору останньої операції (п. 4.4.1) й вибору точок C і D , одержимо точку F .

4.4.3. Через точки E та F проведемо лінію.

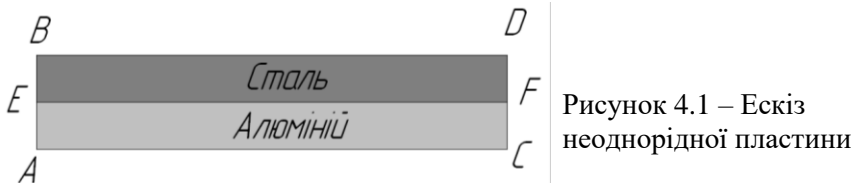


Рисунок 4.1 – Ескіз неоднорідної пластини

4.5. Розділяємо отриманий прямокутник на дві площини за лінією EF :

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Operate → Booleans →
→ Divide → Area by Line...

- натискаємо на прямокутник, [ОК]; натискаємо на лінію, [ОК].

У вікні попередження натискаємо Close.

4.6. Задаємо кожній половині свій матеріал:

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh Attributes →
→ Picked Areas...

- виділяємо верхню половину [ОК], номер матеріалу залишаємо 1 , [ОК].

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh Attributes →
→ Picked Areas...

- виділяємо нижню половину [ОК], зазначте Material Number = 2 , [ОК].

4.7. Розбиваємо конструкцію на KE (аналогічно п.3.7) – розмір KE прийняти 0.01 м.

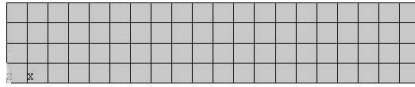


Рисунок 4.2 – Модель пластини з сіткою KE

4.8. Задаємо граничні умови для теплового розрахунку.

Зазначимо температуру лінії *BD*.

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal →
→ Temperature → On lines...

- виділяємо лінію *BD* (рис. 4.1), [OK]. Введіть All DOF і введіть значення температури VALUE = 20, [OK].

Аналогічно задаємо температуру лінії *AC* (40°C).

4.9. Проводимо розрахунок.

Main Menu → Solution → Solve → Current LS.

4.10. Перемикаємо розрахунок на міцностний аналіз, використовуючи результати теплового:

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Switch Elem Type →
→ Thermal to Structural → OK.

Визначаємо тип аналізу:

Main Menu → Preferences... → Thermal + Structural [OK]

Використовуємо результати теплового аналізу:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Structural →
→ Temperature → From Therm Analy...

- вибираємо файл із розширенням file.rth, де file – назва робочого файлу, розташованого в робочій директорії. Для цього у вікні, що з'явилося необхідно натиснути Browse і вибрати файл з необхідним розширенням. Потім натиснути [OK].

4.11. Закріплюємо конструкцію по лінії *AB* (рис.4.1) за всіма напрямками:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Structural →
→ Displacement → on Lines...

- виділяємо лінії *AE* і *EB*, [OK], вибираємо ALL DOF, [OK].

4.12. Проводимо розрахунок:

Main Menu → Solution → Solve → Current LS.

4.13. Переглядаємо результати розрахунку:

4.13.1. Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot →
→ Nodal Solu

Розглянемо вигин пластини під дією температури: в центральному вікні – DOF Solution, а в правому вікні виберіть – Translation USUM

→ [OK]. Запишіть значення максимального вигину Δu_{\max} у звіт.

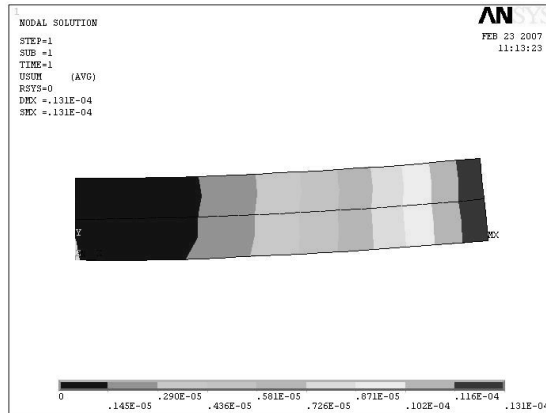


Рисунок 4.3 – Загальне зміщення біметалічної пластини під впливом нагріву

4.13.2. Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu

Розглянемо напружений стан пластини: в центральному вікні – Stress, а в правому вікні виберіть – von Mises → [OK]. Запишіть значення σ_{\max} у звіт.

4.3.13. Увімкніть анімацію: зміна напружено-деформованого стану під впливом нагріву.

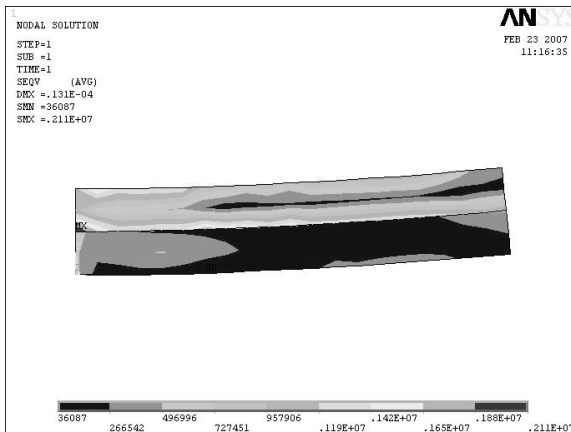


Рисунок 4.4 – Напружено-деформований стан біметалічної пластини

4.14. Зміст звіту: ескіз моделі пластини, вихідні дані, короткі теоретичні відомості, докладний опис всіх кроків розрахунку, ескізи стану деталі після закріплення і нагріву. Висновки.

Контрольні питання

1. Особливості біметалічних пластин та їх термонапруженого стану.
2. Причини виникнення термічних напружень в біметалічних пластинах.
3. Способи завдання температурного поля. Способи переходу від теплового аналізу до міцносного, використовуючи результати першого для другого.
4. Залежність величини максимальних еквівалентних напружень біметалічних пластин від величини різниці граничних температур протилежних поверхонь.
5. Залежність термонапруженого стану біметалічних пластин від величини теплопровідності складових її матеріалів при даній схемі граничних умов.

Самостійна робота 4.1

Проведіть дослідження впливу величини розбігу температур протилежних поверхонь біметалічної пластини BD і AC на її термонапружений стан. Заповніть таблицю 4.1 та викресліть графіки залежностей $\sigma_{\max} = f(\Delta t)$ та $\Delta y = f(\Delta t)$.

Таблиця 4.1 – Результати дослідження термонапруженого стану біметалічної пластини

$t_1, ^\circ\text{C}$ (лінія BD)	20	20	20
$t_2, ^\circ\text{C}$ (лінія AC)	40	70	100
$\Delta t, ^\circ\text{C}$			
$\sigma_{\max}, \text{МПа}$			
$\Delta y, \text{мм}$			

Для цього необхідно двічі перерахувати пластину, попередньо змінюючи значення температури прямої AC.

5. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМНОЇ ПЛАСТИНИ

Мета роботи: Проаналізувати вплив двох точкових джерел А і В тепла на деталь, ескіз якої наведено на рис. 5.1.

Тип аналізу: *Тепловий аналіз конструкції*

Тип кінцевого елемента: *Тривимірний твердотільний (Solid)*

Тип граничних умов: *Конвекція, локальні джерела тепла*

Необхідне обладнання та матеріали:

1. ПК (персональний комп'ютер з операційною системою Windows XP).
2. Програма ANSYS 8.0.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи.
4. Комплект індивідуальних завдань.

Порядок виконання роботи:

5.1. Будуємо модель деталі з точками А і В.

5.1.1 Будуємо кубічний блок розміром $100 \times 100 \times 100$ мм за координатами вершин:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Volumes →
→ Block → By Dimensions ...

- Введіть значення координат у відповідні вікна: X1=0; X2=0.1;
Y1=0; Y2=0.1; Z1=0; Z2=0.1 [ОК].

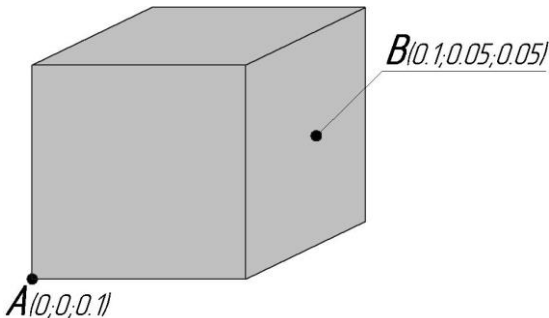


Рисунок 5.1 – Ескіз блока з точками джерел тепла

5.1.2. Визначаємо точки А і В на поверхні деталі, які є джерелами тепла. Точка А отримана автоматично при побудові прямокутного блоку (п.1.1). Тому визначаємо точку В:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Keypoints →
→ Hard pt on Area → Hard pt by Coordinates

- виділяємо поверхню, на якій має бути точка B, [OK].
 - указуємо координати 0.1, 0.05, 0.05, [OK].
- 5.2. Визначаємо тип аналізу (тепловий розрахунок):
- Main Menu → Preferences... → Thermal [OK].
 - Одиниці виміру температури – градуси Цельсія (°C):
Main Menu → Preprocessor → Material Props → Temperature Units...
 - Визначаємо [TOFFST] – Celsius.
- 5.3. Вибираємо тип кінцевого елемента:
- Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete...
 - Виберіть в центральному вікні – Thermal Solid, а в правому вікні відповідно 20Node 90, [OK]
- 5.4. Визначаємо властивості матеріалу:
- Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models...
- 5.4.1. Виберіть по черзі Thermal → Conductivity → Isotropic.
Задайте коефіцієнт теплопровідності у полі KXX, який відповідає значенню 55, [OK].
- 5.4.2. Подвійним натисканням розкриваємо Specific Heat і привласнюємо значення теплоємності матеріалу C значення 25.
- 5.4.3. Аналогічно розкриваємо Density і в полі DENS задаємо значення щільності матеріалу 3200 кг/м³.
- 5.5. Розбиваємо конструкцію на KE.
- 5.5.1. Спочатку задаємо середній розмір кінцевих елементів:
- Main Menu → Preprocessor → Meshing → Size Controls → Manual Size → Global → Size
 - У вікні розміру KE привласнюємо SIZE значення 0.025, [OK].
- 5.5.2. Проводимо розбивку:
- Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh → Volumes → Free → Pick all.
- 5.6. Вибираємо тип аналізу:
- Main Menu → Solution → Analysis Type → New Analysis → Transient → [OK];
 - вибираємо Full, [OK].
- 5.7. Задаємо граничні умови до елементів куба.
- 5.7.1. Визначимо базову температуру (20°C):
- Main Menu → Solution → Define Loads → Setting → Reference Temperature...
[TREF] = 20.
- 5.7.2. Задаємо температуру навколишнього середовища й коефіцієнт теплопровідності:
- Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal → Convection → On Areas...

- натисніть на всі площини блоку і [OK] або Pick All, [OK].
- привласнимо: [SFA] Apply Film Coef on Areas варіант New Table і значення VAL21 Bulk Temperature = 20, [OK]. Далі Name of New Table визначте назву таблиці даних – TEM, [OK], а також розмірність цієї таблиці I, J, K = 3, 1, 1 відповідно, [OK]. Як показано на рис. 5.2 заповнюємо поля таблиці 1, потім коректно закриємо панель:

File → Apply/Quit.

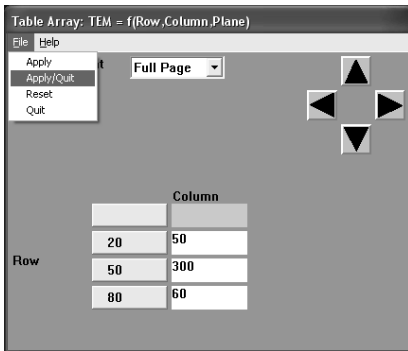


Рисунок 5.2 – Панель визначення змінної теплопровідності

5.7.3. Задаємо постійні джерела температури в точках: A і B:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal → Heat Generat → On Keypoints ...

- виділяємо точку A, [OK]. BFK вибираємо Constant Value, Value=10E5, [OK].

Далі повторюємо для точки B, значення BFK – Value=10E7, [OK].

5.7.4. Визначимо початкову температуру блока:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Initial Condit'n → Define → Pick All... Lab виберіть Temp, Value = 20, [OK].

5.8. Задаємо параметри розрахунку:

Main Menu → Solution → Load Step Opts → OutputCtrls → Db\Result File

- виберіть Every Substep, [OK].

Час нагріву 30 сек., кількість кроків 5.

Main Menu → Solution → Load Step Opts → Time/Frequency...

TIME and Substep виберіть: TIME At end of load step =30; Number of substeps = 5; встановіть Ramped, [OK].

5.9. Розрахунок:

Main Menu → Solution → Solve → Current LS,.

5.10. Розглянемо розподілення температур:

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot →

→ Nodal Solu. Виберіть Dof Solution та Temperature TEMP, [OK].

Намалюйте в звіті картину розподілу температур по поверхнях куба.

За допомогою анімаційного перегляду:

Utility Menu → PlotCtrls → Animate → Deformed Results... Виберіть Dof Solution та Temperature TEMP, [OK].

5.11. Будуємо графік температури, виділеного вузла, залежно від часу за допомогою команд:

Main Menu → Timehist Postpro

У панелі, що з'явилась, додайте змінну, графік якої хочемо отримати – це температура (в одному або кількох вузлах) залежно від часу нагріву тіла.

Натисніть піктограму з зеленим плюсом (підказка [Add Data]). Виберіть:

Nodal Solution → DOF Solution → Temperature, [OK].

Прибрати панель донизу екрану і на поверхні куба вкажіть вузол біля одного з локальних джерел тепла. Натисніть [OK].

Таким чином можна обрати кілька вузлів, температура кожного з яких буде мати свій порядковий номер – номер змінної (VAR – variable).

Зазначимо номери змінних, які будуть відображені на графіку:

Main Menu → Timehist Postpro → Graph Variables...

У вікні, що з'явилося привласнюємо значення змінної NVAR1 = 2 і натискаємо [OK].

Приберіть панель донизу. Проаналізуйте отриманий графік.

5.12. Зміст звіту: ескіз блока, вихідні дані, короткі теоретичні відомості, докладний опис всіх кроків розрахунку за допомогою ANSYS при рішенні нестационарного теплового завдання. Картина температурного стану куба на 30-ій секунді нагріву. Графік залежності температури від часу нагріву в обраному вузлі. Висновки.

Контрольні питання

1. Яким чином задають базову температуру і температуру навколишнього середовища? Чим вони відрізняються?
2. Етапи проведення теплового аналізу об'ємної пластини.
3. Визначення теплового потоку; питомого теплового потоку.
4. Дайте визначення теплопровідності та теплоємності тіла.

Самостійна робота 5.1

Перерахувати та проаналізувати розподіл температур в кубі для часу прогріву 60 та 120 секунд. Заповніть таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

t, с	30	60	120
TEMP (T_{\max}), °C			

Накреслити графік залежності максимальної температури нагріву куба від часу нагріву $T_{\max} = f(t)$.

6. НЕСТАЦІОНАРНИЙ ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ

Мета роботи: Проаналізувати вплив кількох джерел тепла – точок A , B , C на круглу пластину, ескіз якої наведено на рис. 6.1.

Тип аналізу: *Нестаціонарний тепловий аналіз конструкції*

Тип кінцевого елемента: *Двовимірний твердотільний (Solid)*

Тип граничних умов: *Конвекція, нелінійні джерела тепла*

Можливості: *Нелінійна конвекція й теплове джерело*

Необхідне обладнання та матеріали:

1. ПК (персональний комп'ютер з операційною системою Windows XP).
2. Програма ANSYS 8.0.
3. Методичні вказівки до лабораторної роботи.
4. Комплект індивідуальних завдань.

Порядок виконання роботи:

6.1. Будуємо модель пластини круглої форми з центром в т. $O(0;0)$ і радіусом 120 мм та точками A , B та C (рис. 6.1).

6.1.1. Будуємо пластину.

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas →
→ Circle → Solid Circle...

- задаємо координати центра X, Y та радіус, [OK].

6.1.2. Визначаємо точки A, B, C на поверхні пластини,:

Main Menu → Preprocessor → Modeling → Create → Keypoints →
→ Hard pt on Area → Hard pt by Coord ...

- виділяємо поверхню, на якій має бути точка A , [OK].

- указуємо координати $-0.08, 0.05, 0$, [OK].

Повторюючи п.1.2 визначимо розташування точки B з координатами $-0.08, -0.05, 0$, [OK], та розташування точки C – за координатами $0.05, 0, 0$, [OK].

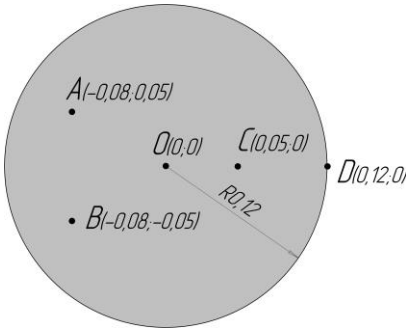


Рисунок 6.1 – Ескіз пластини

6.2. Визначаємо тип аналізу:

Main Menu → Preferences... → Thermal, [OK] (тепловий розрахунок).

Задайте також одиниці виміру – градус Цельсія.

6.3. Вибираємо тип кінцевого елемента:

Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete...

- Виберіть в центральному вікні – Thermal Solid, а в правому вікні відповідно Quad4 Node 55, [OK]

6.4. Визначаємося із властивостями матеріалу:

Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models

6.4.1. Виберіть по черзі Thermal → Conductivity → Isotropic.

Задайте теплопровідність. У вікні Conductivity for material number 1 у полі KXX задайте коефіцієнт теплопровідності 50, [OK].

6.4.2. Подвійним натисканням розкриваємо Specific Heat і привласнюємо значення теплоємності матеріалу C значення 30.

6.4.3. Аналогічно розкриваємо Density і в полі DENS задаємо значення щільності матеріалу 2788 кг/м³.

6.5. Розбиваємо конструкцію на KE.

6.5.1. Спочатку задаємо середній розмір кінцевих елементів 0.005.

6.5.2. Проводимо розбивку вільною сіткою.

6.6. Вибираємо тип аналізу:

Main Menu → Solution → Analysis Type → New Analysis → Transient [OK];

- вибираємо Full, [OK].

6.7. Задаємо граничні умови до елементів пластини.

6.7.1. Задаємо температуру навколишнього середовища й коефіцієнт теплопровідності:

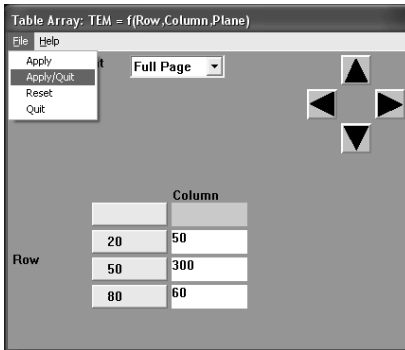


Рисунок 6.2 – Панель визначення змінної теплопровідності

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal →
→ Convection → On Areas...

- натисніть на площину пластини, [OK].

- привласнімо: [SFA] Apply Film Coef on Areas варіант New Table і значення VAL21 Bulk Temperature = 20, [OK]. Далі Name of New Table визначте назву таблиці даних – TEM, [OK], а також розмірність цієї таблиці I, J, K = 3, 1, 1 відповідно, [OK]. Заповнюємо поля таблиці, як показано на рис. 6.2, потім коректно закриємо панель:

File → Apply/Quit.

6.7.2. Задаємо джерела температури в точках: в *A* та *B* – змінне, в *C* – постійне:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal →
→ Heat Generat → On Keypoints ...

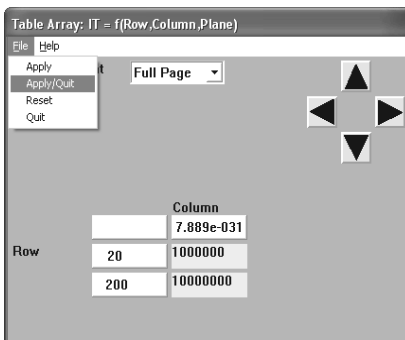


Рисунок 6.3 – Панель визначення змінного джерела тепла (відрізок AB)

- виділяємо точки *A* та *B*, [OK]. ВФК вибираємо New Table, [OK]. Name Of New Table = IT, [OK], розмірність цієї таблиці I, J, K = 2, 1, 1 відповідно,

[OK]. Заповнюємо поля таблиці, як показано на рис. 6.3 і потім:

File → Apply/Quit.

Далі повторюємо для точки C:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal →
→ Heat Generat → On Keypoints ...

- виділяємо точку C, [OK]. BFK вибираємо Constant Value,
Value=10Е6, [OK].

6.7.3. Визначимо початкову температуру пластини:

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Initial Condit'n →
→ Define → Pick All... Lab виберіть Temp, Value = 20, [OK].

6.8. Задаємо параметри розрахунку:

Main Menu → Solution → Load Step Opts → OutputCtrls → Db\Result
File

-виберіть Every Substep, [OK].

Main Menu → Solution → Load Step Opts → Time/Frequency...

TIME and Substep виберіть: Time at end of load step =10; Number of
substeps = 5; установите Ramped, [OK].

6.9. Розрахунок:

Main Menu → Solution → Solve → Current LS.

6.10. Переглядаємо результати розрахунку.

У районі змінного джерела тепла виділяємо вузол і будуємо графік температури, виділеного вузла, залежно від часу як у роботі №5 (п. 5.11).

6.11. Зміст звіту: ескіз пластини, вихідні дані, короткі теоретичні відомості, докладний опис всіх кроків розрахунку за допомогою ANSYS при рішенні нестационарного теплового завдання. Картина розподілу температур круглої пластини, графік залежності температури обраного вузла від часу. Висновки.

Контрольні питання

1. Відмінності стаціонарного та нестационарного теплового режиму.
2. З яких чинників формують моделі матеріалів для теплового аналізу.
3. Дайте визначення кондукції.
4. Дайте визначення конвенції.

Самостійна робота 6.1

Створіть графік залежностей температур від часу для кількох вузлів одночасно.

Добавити постійне джерело тепла в точці D (рис. 6.1) величиною теплового потоку 10^7 (її будувати не потрібно, вона з'являється автоматично при побудові круга).

Намалюйте картину розподілу температур. Як змінився рівень максимальної температури пластини.

7. СТАЦІОНАРНИЙ ТА НЕСТАЦІОНАРНИЙ ТЕПЛОВИЙ АНАЛІЗ. ТЕРМОМІЩНОСТНИЙ АНАЛІЗ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

Зміст (залікової) контрольної роботи

Теоретична частина:

1. Стационарний і нестационарний тепловий аналіз. Основні положення.
2. Види навантажень у тепловому й термоміщностному аналізі. Типи кінцевих елементів, що застосовуються.
3. Основні етапи аналізу теплового поля і термічних напруг в деталях авіаційних двигунів.

Практична частина

Практична робота №3 "Стационарний тепловий аналіз"

Практична робота №4 "Розрахунок термонапруженого стану пластини"

Практична робота №6 "Нестационарний тепловий режим"

Завдання "Визначення термонапруженого стану моделі фрагмента охолоджуваної лопатки турбіни при нагріванні"

Вихідні дані до завдання

Ціль роботи: досліджувати кінетику температур і головних компонентів напруженого стану моделі охолоджуваної лопатки турбіни при нагріванні (рис.7.1).

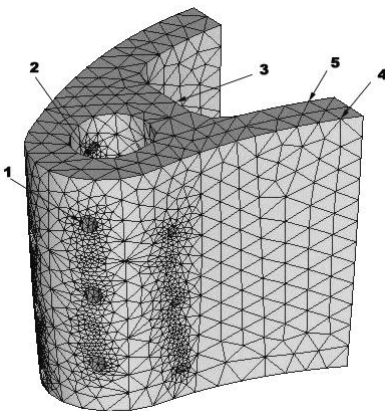
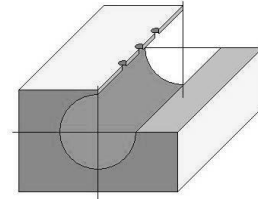
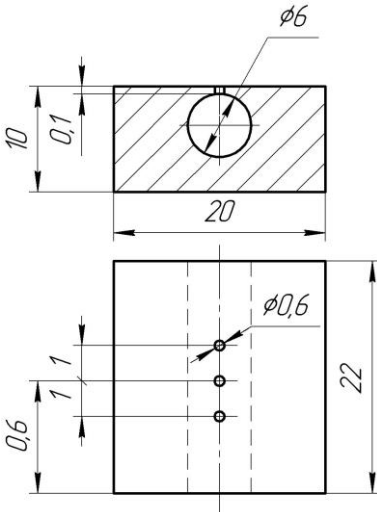


Рисунок 7.1– Ескіз моделі охолоджуваної лопатки турбіни

Для зменшення часу проведення дослідження теплового стану розраховують спрощену модель фрагмента лопатки турбіни, що включає в себе три отвора перфорації (рис. 7.2).



Довжина- 0,022 м;
 ширина - 0,02 м;
 висота - 0,01 м;
 діаметр центрального каналу - 0,006 м;
 товщина верхньої стінки - 0,0001 м;
 діаметр 3-х отворів перфорації - 0,0006 м;
 відстань між отворами - 0,001 м.

Розміри на кресленні – в мм.

Рисунок 7.2 – Геометрія моделі фрагмента охолоджуваної лопатки турбіни

Послідовність розрахунку фрагмента лопатки пропонується в таблиці 7.1. В графі «Примітка» напишіть послідовність дій (або путь команд) виконання етапу.

Значення граничних умов температури та коефіцієнт теплообміну кожної поверхні за варіантами вказано в таблиці 7.2.

Оформлення звіту

У контрольній роботі виконати ескіз моделі фрагмента охолоджуваної лопатки турбіни, докладний опис всіх кроків розрахунку за допомогою ANSYS, початкові й граничні умови, картину теплового розподілу фрагмента лопатки, графіки кінетики температур і компонент напруженого стану. Висновки.

Зберегти базу даних рішення завдання у форматі "FAMILIYA.db", що містить модель форми, матеріалу, навантаження й результати рішення (для часу 0,1с) для захисту контрольної роботи.

Таблиця 7.1 – Послідовність рішення завдання

№ п/п	Назва етапу рішення завдання	Пояснення до етапу	Примітка. Послідовність виконання етапу в системі ANSYS
1	Побудова моделі форми досліджуваної моделі фрагмента охолоджуваної лопатки турбіни.	Модель фрагмента лопатки (рис. 7.2) може бути побудована безпосередньо в системі ANSYS або в будь-якій системі твердотільного моделювання й імпортована в ANSYS.	
2	Визначення фізико-механічних і теплофізичних властивостей матеріалу (моделі матеріалу).	Властивості матеріалу задавати незалежними від температури. Одиниці виміру температури °C; (EX) $2 \cdot 10^{11}$ Па-модуль пружності; (PRXY) 0.3 -коефіцієнт Пуассона; (ALPX) $13 \cdot 10^{-6}$ м/°C - коефіцієнт теплового розширення; (DENS) 8300 кг/м ³ – щільність; (C) 0.134Дж/(кг·°C) - теплоємність; (KXX) 50 Вт/(м·°C) - теплопровідність; (reference temperature) 20°C - базова температура.	
3	Створення сітки кінцевих елементів.	При створенні сітки кінцевих елементів використовуйте метод генерування вільної сітки. Тип кінцевих елементів –SOLID 90. Опція Smart Size – 4. Оптимальне число кінцевих елементів у моделі – 7-8 тис. шт.	

№ п/п	Назва етапу рішення завдання	Пояснення до етапу	Примітка. Послідовність виконання етапу в системі ANSYS
4	Визначення опцій теплового аналізу.	Тип аналізу – повний тепловий нестационарний (Transient. Full) Час кінця рахунку – 0,1сек; число кроків – 5; метод визначення навантаження – однократне (stepped)	
5	Визначення опцій керування рішенням.	Установити опцію запису у файл рішення всіх кроків.	
6	Завдання граничних умов теплового аналізу.	Граничні умови для теплового аналізу задаються відповідно до варіанта завдання (табл.7.2). Для кожної поверхні моделі визначить коефіцієнт теплообміну h з навколишнім середовищем і температуру t середовища. Якщо коефіцієнт теплообміну дорівнює нулю поверхня вважається ізольованою від навколишнього середовища (теплообмін відсутній).	
7	Розрахунок теплового стану моделі фрагмента лопатки.		
8	Побудова графіків зміни температури у дослідженому тимчасовому інтервалі.	Графіки побудувати в системі координат "час-температура" для точок (рисунок 7.3) №1,2,4,9 на одному малюнку.	

№ п/п	Назва етапу рішення завдання	Пояснення до етапу	Примітка. Послідовність виконання етапу в системі ANSYS
9	Заміна теплових кінцевих елементів на міцні елементи	SOLID 90 →SOLID 95	
10	Завдання початкових і граничних умов для міцностного аналізу.	Початковими умовами для визначення напружено-деформованого стану моделі фрагмента лопатки є обмеження переміщення двох бічних площин у всіх напрямках. Граничними умовами (навантаженням) є теплове поле моделі фрагмента в заданий проміжок часу.	
11	Розрахунок напружено-деформованого стану моделі фрагмента лопатки.	Розрахунок напружено-деформованого стану виконується для моменту часу нагрівання 0,001; 0,002; 0,004; 0,007; 0,01 сек.	
12	Визначення величини еквівалентних напруг і головних компонентів напруженого стану в точках. Побудова графіків залежності кінетики зміни величини еквівалентних напруг і головних	Компоненти напруженого стану визначаються у вузлах кінцевих елементів найбільш наближених до зазначених крапок №1, 2, 4,9 (див. рис. 7.3). Повторення для наступних зазначених значень часу (0,01; 0,02; 0,04; 0,07; 0,1 сек) Графіки побудувати для зазначених точок у координатах (приклад – рис. 7.3): а) "час нагрівання, сек - еквівалентні напруження, МПа";	

№ п/п	Назва етапу рішення завдання	Пояснення до етапу	Примітка. Послі- довність виконан- ня етапу в системі ANSYS
	компонентів напруже- ного стану в точках №1,2,4,9 від часу нагрі- вання.	б) "час нагрівання, сек $-\sigma_1$, МПа"; в) "час нагрівання, сек $-\sigma_2$, МПа"; г) "час нагрівання, сек $-\sigma_3$, МПа".	

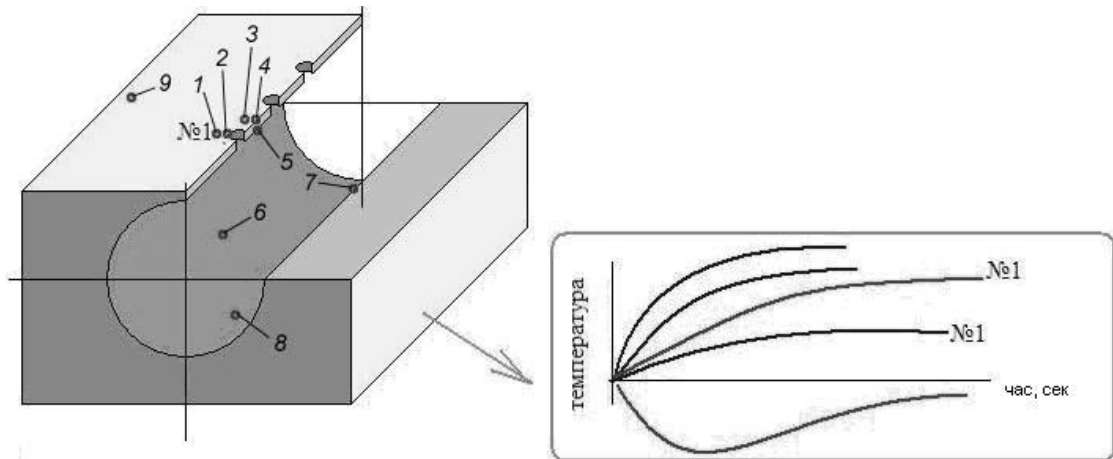


Рисунок 7.3 – Точки на моделі фрагмента лопатки, для яких необхідно визначити кінетику зміни температури й компонент напруженого стану

Таблиця 7.2 – Граничні умови для розрахунку теплового стану моделі фрагмента лопатки

№ ва-рі-анта	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Верхня по-верхня бло-ку (з отво-рами).	Верхня поверх-ня централь-ного каналу.	Нижня по-верхня ка-налу.	Поверхні се-реднього отвору пер-форації.	Чотири бічні по-верхні моделі фрагмента лопат-ки.	Нижня по-верхня фра-гмента лопатки.
	Коефіцієнт теплообміну $h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$						
1	$t, ^\circ\text{C}$	1000	500	500	100	500	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	1000	500	500	750	750	0
2	$t, ^\circ\text{C}$	1500	300	300	500	100	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	800	150	150	800	500	0
3	$t, ^\circ\text{C}$	2000	750	700	400	600	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	500	500	450	150	600	0
4	$t, ^\circ\text{C}$	1000	650	600	300	500	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	200	650	600	100	300	0
5	$t, ^\circ\text{C}$	1500	800	750	350	450	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	1200	500	450	650	550	0
6	$t, ^\circ\text{C}$	950	900	850	100	500	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	650	300	250	750	750	0
7	$t, ^\circ\text{C}$	1200	400	350	500	100	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	500	300	250	800	500	0
8	$t, ^\circ\text{C}$	1000	300	250	400	600	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	600	250	200	150	600	0
9	$t, ^\circ\text{C}$	2000	650	600	300	500	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	750	500	450	100	300	0
10	$t, ^\circ\text{C}$	1800	500	450	350	450	20
	$h, \text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$	900	450	400	650	550	0

Продовження табл. 7.2

11	$t, ^\circ\text{C}$	1000	450	400	100	500	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	1000	500	450	750	750	0
12	$t, ^\circ\text{C}$	1500	500	450	500	100	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	800	650	600	800	500	0
13	$t, ^\circ\text{C}$	2000	250	200	400	600	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	500	300	250	150	600	0
14	$t, ^\circ\text{C}$	1000	400	350	300	500	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	200	300	250	100	300	0
15	$t, ^\circ\text{C}$	1500	900	850	350	450	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	1200	500	450	650	550	0
16	$t, ^\circ\text{C}$	950	800	750	100	500	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	650	650	600	750	750	0
17	$t, ^\circ\text{C}$	1200	650	600	500	100	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	500	500	450	800	500	0
18	$t, ^\circ\text{C}$	1000	750	700	400	600	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	600	450	400	150	600	0
19	$t, ^\circ\text{C}$	2000	300	250	300	500	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	750	500	450	100	300	0
20	$t, ^\circ\text{C}$	1800	540	490	350	450	20
	$h, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	900	750	700	650	550	0

Примітка. Номер варіанта вибрати по сумі двох останніх чисел номера залікової книжки.

Контрольні питання

1. Основні задачі, що вирішуються при стаціонарному тепловому аналізі.
2. Завдання нелінійного теплового аналізу в ANSYS.
3. Визначення одиниць виміру температури.
4. Типи елементів, які вживаються при тепловому аналізі.
5. Завдання властивостей матеріалу моделі деталі в тепловому аналізі.
6. Теплопровідність матеріалів. Можливість завдання постійної та змінної від температури теплопровідності.
7. Перегляд результатів: розподілу температур, графіків температур та теплового потоку, анімація.
8. Особливості біметалічних пластин та їх термонапруженого стану.
9. Причини виникнення термічних напружень в біметалічних пластинах.
10. Способи завдання температурного поля. Способи переходу від теплового аналізу до міцносного, використовуючи результати першого для другого.
11. Залежність величини максимальних еквівалентних напружень біметалічних пластин від величини різниці граничних температур протилежних поверхонь.
12. Відмінності стаціонарного та нестаціонарного теплового режиму.
13. З яких чинників формують моделі матеріалів для теплового аналізу.
14. Дайте визначення кондукції і конвенції.

Перелік джерел

1. Mary Kathryn Thompson, John M. Thompson. ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis / Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2017. – 447 p.
2. Xiaolin Chen, Yijun Liu. Finite element modeling and simulation with ansys workbench. Second edition / CRS Press. Teylor & Francis Group, 2019. – 458 p.
3. Erdogan Madenci, Ibrahim Guven. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS. Second edition / Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2015. – 657 p.
4. Y. Nakasone, S. Yoshimoto, T. A. Stolarski. Engineering Analysis with ANSYS Software / Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006. – 456 p.
5. ANSYS Mechanical APDL Theory Reference. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_thry/ans_thry.html.
6. ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide ANSYS. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.pdfdrive.com/ansys-mechanical-apdl-structural-analysis-guidepdf-e12262220.html>.
7. ANSYS Mechanical APDL Advanced Analysis Guide ANSYS. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.pdfdrive.com/ansys-mechanical-apdl-advanced-analysis-guidepdf-e16678560.html>.