

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсової роботи з дисципліни
«САПР ПТМ»

Розглянуто і схвалено
на засіданні кафедри підйомно-
транспортних машин
Протокол № 8 від 18 квітня 2019 р.

Краматорськ 2019

УДК 621.873

Методичні вказівки до курсової робіт з дисципліни «САПР ПТМ».
/Укл. О.В. Бережна. - Краматорськ: ДДМА, 2019. - 35 с.

Містять необхідні теоретичні положення, правила з техніки безпеки, перелік устаткування, контрольні питання, вимоги до оформлення звітів. Викладено основи методики САПР.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри підйомно-транспортних машин
Протокол № 8 від 18 квітня 2019 р.

Електронне навчальне видання

Укладач: О.В. Бережна, доцент

1. СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ У COSMOS WORKS

COSMOS Works має стандартний інтерфейс програми Solid. Як і сле активізації COSMOS Works з використанням команди в меню Інструменти → Додавання виникає відповідний пункт, який об'єднує функціональні можливості COSMOS Works. Справа в вікні SolidWorks з'являється менеджер COSMOS Works, що представляє собою дерево. У ньому відображаються позиції, що характеризують проект в цілому (пиктограма з назвою деталі або збірки і пиктограма «Параметри»)), а також пиктограми з Вправами, що з'являються після їх створення користувачем. Вправи є гілками, що об'єднують інформацію про деяке розрахунку: матеріали, сітка, граничні умови, результати, звіти. Кожній пиктограмі відповідає контекстне меню, вміст якого змінюється в залежності від поточного стану розрахункової моделі.

При проведенні аналізу користувач має можливість виконати представлені в середовищі COSMOS Works пиктографічні меню, котрі об'єднують типові команди, використовувані в процесі виконання завдання. Застосування COSMOS Works вимагає дотримання базової канви алгоритму методу скінченних елементів, надаючи користувачу всередині кожного етапу певну свободу в послідовності кроків підготовки моделі та розгляду результатів. Передбачувана ланцюжок подій для виконання статичного розрахунку в пружною постановці описана нижче:

1. Створення вправи певного типу і визначення його параметрів. Останні можуть бути змінені в будь-який момент перед виконанням розрахунку.
2. Заповнення, якщо необхідно, таблиці параметрів, що визначає набір величин, які можуть змінюватися в ході розрахунку.
3. Підготовка вихідних даних всередині заданого аналізу:
 - 3.1. призначення матеріалу деталі або деталей;
 - 3.2. призначення кінематичних граничних умов;
 - 3.3. призначення статичних граничних умов;
 - 3.4. створення сітки.
4. Зв'язування, в разі необхідності, параметрів з таблиці параметрів з відповідними параметрами аналізу.
5. Виконання розрахунку.
6. Обробка результатів:
 - 6.1. створення необхідних діаграм;
 - 6.2. аналіз діаграм;
 - 6.3. експорт результатів.

Моделювання статичної просторової задачі теорії пружності в COSMOS Works по відношенню до порівнянним програмним продуктам реалізується традиційно. Апроксимація геометрії моделі виробиться тетраедральними ізопараметричних кінцевими елементами з лінійним полем переміщень (деформації постійні, межі плоскі) і з параболіческим полем переміщень (деформації лінійні, межі - поліноми другого порядку).

Для виконання статичного аналізу потрібні:

1. модель тіла;
2. привласнення моделі матеріалу з коректним набором пружних і міцнісних властивостей ($E > 0$ МПа; $0 < \nu < 0,5$);
3. визначення кінематичних граничних умов, що виключають рух тіла як жорсткого цілого;
4. присвоєння статичних граничних умов (наявність зовнішніх усій, визначених у явному вигляді, необов'язково, але при цьому заданий-ва сукупність кінематичних граничних умов повинна забезпе-чувати деформований стан тіла);
5. наявність кінцево-елементної дискретизації.

Нижче наведені характерні помилки, які мають місце при ви-полненні статичного розрахунку деталей:

1. не визначений матеріал (діагностика явна);
2. визначені некоректні параметри жорсткості матеріалу - E ;
3. наявність в розрахунковій схемі ступенів свободи переміщення або по-ворота, які забезпечують рух тіла як жорсткого цілого;
4. поєднання в завданні взаємовиключних граничних умов, при-викладених до одного і того ж елемента моделі.

В результаті рішення статичної задачі COSMOS Works представля-ет для аналізу наступні параметри:

1. UX, UY, UZ - компоненти переміщення уздовж глобальних або локаль-Кальний осей координат;
2. URES - повне переміщення;
3. RFX, RFY, RFZ - компоненти сили реакції;
4. RFRES - повна сила реакції;
5. EPSX, EPSY, EPSZ - деформації розтягування-стиснення щодо осей координат;
6. GMXY, GMXZ, GMYZ - деформації зсуву щодо коорди-кімнатній площин;
7. ESTRN - еквівалентні деформації;
8. SEDENS - щільність енергії деформації;
9. ENERGY - повна енергія;
10. SX, SY, SZ - нормальні напруження щодо осей координат;
11. TXY, TXZ, TYZ - дотичні напруження щодо коорди-кімнатній площин;
12. P1, P2, P3 - головні напруження;
13. VON - еквівалентні напруження по Мизесу;
14. INT - інтенсивність напруги
15. ERR - відносна помилка обчислення напружень.

2. ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗ ДЕТАЛІ

Частотний аналіз конструкцій має на меті визначення резонансних (власних) частот і відповідних їм форм коливань. Як відомо, ефект резонансу виникає тоді, коли частота зовнішньої збудливою сі-ли збігається з власною частотою конструкції. Визначення власних частот і пов'язаних з ними

форм коливань має велике значення при проєктируванні конструкцій. Основними областями застосування частотного аналізу є наступні:

1. Власні частоти і форми коливань є «візитною карточкою» конструкції. Кожна конструкція має унікальні власні частоти і форми коливань, які можна використовувати для ідентифікації конструкції.

2. Визначення власних частот і форм коливань дозволяє визначити смугу резонансних частот конструкції з метою подальшого вдосконалення-шенствования динамічних умов функціонування конструкції.

3. Ключовим кроком при перевірці адекватності розробленої конечно-елементної моделі є порівняння власних частот і форм коливань з отриманими експериментально.

4. Власні частоти і форми коливань можуть бути використані для контролю зміни динамічних характеристик конструкції після зміцнення або реконструкції.

При підготовці та проведенні частотного аналізу можна використовувати наступні рекомендації:

1. геометрична модель і сітка кінцевих елементів можуть відрізнятися від оптимальних для статичного аналізу;

2. граничні умови, які використовуються в моделі, слід відпрацювати на статичному розрахунку, тому що для цього потрібні істотно менші обчислювальні витрати;

3. так як відсутні інструменти для моделювання кінематики збірок, прийнятним рішенням є застосування в збірці до-виконавчими елементів з анізотропних матеріалів з малою сдвиговою жорсткістю в необхідних напрямках;

4. при розрахунку тонкостінних конструкцій рекомендується порівнювати результати аналізів, виконаних при поверхневій і твердо-котельної кінцево-елементної апроксимації.

При виконанні частотного аналізу явище резонансу може виникнути в будь-якому місці конструкції. Найчастіше це явище спостерігається в зонах з малою жорсткістю, на які спираються зони з великою інерційністю. Тому при побудові кінцево-елементної апроксимації для одержання більш адекватних результатів щільність сітки необхідно підвищити в тих елементах конструкції, які чинять опір дії інерційних навантажень. У решти ж елементів можна використовувати дуже наближена апроксимація.

Параметри настройки завдання частотного аналізу (рисунки 1) умовно можна розділити на дві групи: що визначають кількісні характеристики обчислювального процесу і визначають його методологію.

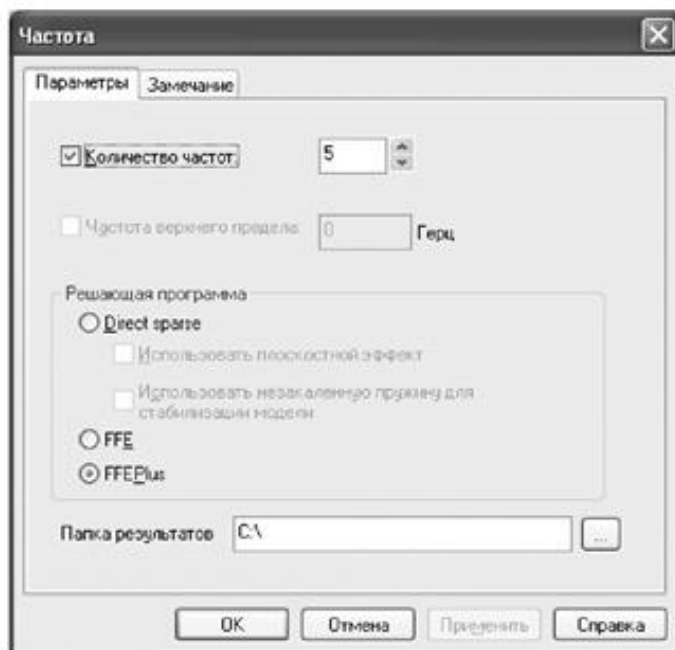


Рис. 1. Вікно настройки параметров частотного анализа

Обов'язковий набір вихідних даних для виконання частотного аналізу. Мінімально необхідною інформацією для виконання частотного аналізу є просторова модель конструкції. Крім цього поло-зователь повинен задати той же набір параметрів, що і для статичного аналізу (див. П. 1.2.3), за винятком того, що навантаження можуть не задаватися. Вимога фіксації ступенів свободи конструкції як жорсткого цілого також не є обов'язковим. Однак в більшості випадків обмеження цих ступенів свободи підвищує збіжність обчислювального процесу.

Характерні помилки. Найбільш часто встерчаються помилкою при вирішенні завдання частотного аналізу є наявність кинематически подвижных элементов конструкции, що в значній мірі знижує адекватність результатів розрахунку. Кращим інструментом перевірки завдання частотного аналізу є попередній статичний розрахунок. При цьому при мінімальними обчислювальних витратах можна діагностувати кинематически рухливі елементи конструкції, незшиті сітки на поверхневих моді-лях і т.д. У разі якщо буде спостерігатися погана збіжність рішення статичного розрахунку, замість ітераційних решателей (pre, pre P13) слід використувати прямий (Direct sparse). При виконанні частотного аналізу для оболонкових моделей особливу увагу слід приділяти контролю адекватності застосування граничних умов, тому що вони справляють істотний вплив на значення власних частот і вид форм коливаний. Для аналізу помірно тонкостінних деталей рекомендується провести перевірку розрахунку шляхом порівняння результатів, отриманих для оболоночної і твердотільної моделей.

3. АНАЛІЗ КРИТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ І ФОРМ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ

Цей вид аналізу призначений для виділення форм втрати стійкості і оцінки критичних навантажень, які їх викликають. Завдання аналізу вирішується в лінійній постановці, т. е. При розрахунку не враховується зміна геометрії моделі і величин діючих на неї навантажень. Крім того, всі навантаження, що діють на конструкцію, вважаються консервативними, тобто напрямки їх дії не змінюються в процесі деформування. Такий підхід дозволяє звести задачу визначення моменту втрати стійкості до визначення власних значень матриці жорсткості конструкції. Розрахунок стійкості може проводитися як для однієї деталі, так і для збірки. У разі аналізу збірок слід мати на увазі, що рухливість кінематиче-ських пар при розрахунку до уваги береться. Тож можуть мати місце тільки два варіанти: спільне переміщення елементів збірки по межі їх контакту або незалежне деформування.

Модель для розрахунку стійкості цілком тотожна використаній для статичного розрахунку. При цьому слід враховувати, що завдання визначення критичних навантажень вимагає значно більшого обсягу обчислень у порівнянні зі статичним розрахунком. Тому переважно попередньо-тельно виконати статичний аналіз конструкції з метою перевірки адекватності вихідних даних. Оскільки якість розрахунку стійкості конструкції критично залежить від адекватного моделювання характеристик жорсткості параметрів, вимога ущільнення сітки в зонах геометричних особливостей і концентраторів напружень не цілком актуально. Як відомо, форми втрати стійкості умовно діляться на загальні і місцеві. Перші відповідно-об'єктивних деформації конструкції в цілому, другі - деформації її окремих елементів. З цієї точки зору можна стверджувати, що якщо в межах кожної геометричній особливості в сітці є 2-3 кінцевих елемента, це-го цілком достатньо для адекватного розрахунку, т. е. ущільнення сітки в зонах отворів, внутрішніх заокруглень і т.д. не обов'язково. Як правило, ущільнення сітки слід проводити в областях, де конструкція має малу жорсткість щодо навантажень, що визначаються граничними умовами. Якщо в ході розрахунків з'ясується, що навантаження, відповідні місцевій формі, істотно нижчі за ті, які призводять до загальної, то слід ущільнити сітку в околиці геометричних елементів, які втрачають стійкість, а потім повторити розрахунок. При цьому виключення з розрахункової моделі, наприклад, внутрішніх заокруглень робить конструкцію кілька менш жорсткою, зменшуючи тим самим розрахункову критичне навантаження. Параметри настройки завдання аналізу стійкості конструкції наведені на малюнку 2.

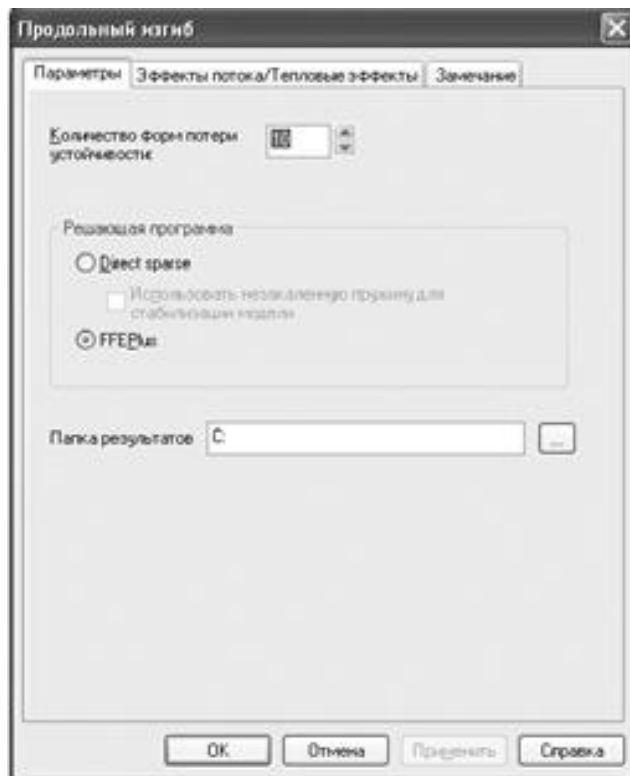


Рисунок 2. Вікно для настройки параметров анализа стійкості конструкції

Обов'язковий набір вихідних даних для аналізу стійкості конструкції. Мінімально необхідною інформацією для виконання аналізу стійкості конструкції є її просторова модель. Крім цього користувачеві необхідно визначити той же набір параметрів, що і для статичного аналізу. Як навантажень можуть виступати як зусилля, так і переміщення і кути повороту. Ступені свободи конструкції бажано зафіксувати таким чином, щоб виключити її рух як жорсткого це-лого.

Характерні помилки. Можливість зробити серйозну помилку при виконанні аналізу стійкості конструкції досить невелика, тому що наочна візуалізація форм втрати стійкості дає адекватне уявлення про те, наскільки правильно поставлена задача. Одним з випадків, коли може з'явитися помилка, є розрахунок збірок з кінематично рухливими елементами. Обчислювальний процес може виявитися розходяться внаслідок некоректних контактних умов між деталями. По-цьому необхідно особливо ретельно підходити до визначення контактних взаємодій між елементами збірок. При цьому доступні такі умови контакту, як спільне переміщення на кордоні контактируємих деталей і незалежне деформування. В деталях з поверхонь помилки можуть породжуватися незв'язні кінцево-елементної апроксимації, що є наслідком некоректної побудови твердотільної моделі деталі (на-явність незшитих поверхонь).

1. ТЕПЛОВОЇ РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ

Тепловий розрахунок призначений для моделювання ефектів тепло-

передачі всередині деталей, зборок, а також між конструкцією і навколишнім середовищем. При різниці температур контактуючих тіл відбувається перетікання теплової енергії від тіл з більшою температурою до менш нагрітих тіл, а всередині деталі - від більш нагрітих її областей до менш нагрітих. Відомі три механізми теплопередачі: теплопровідність, конвекція і випромінювання. На практиці жоден з перерахованих механізмів передачі тепла в ізольованому вигляді не існує. Однак обчислювальний процес вимагає виділення тих, які визначають тепловий стан. Усередині деталей і при їх контакті домінуючу роль грає теплопровідність. Якщо присутній вимушена конвекція, то вона вносить істотний внесок в розподіл температур всередині моделі. Випромінювання стає значущим при великій різниці температур тел.

Тепловий аналіз може бути стаціонарним і нестаціонарним. Перший варіант полягає в пошуку розподілу температури в рівноважному стані; другий - в моделюванні поширення тепла за рахунок теплопровідності всередині деталей і між контактуючими деталями в збірці при обліку взаємодії з навколишнім середовищем в часі.

При виконанні теплового аналізу користувачеві надається можливість використовувати піктографічну панель «Термічні навантаження» (рисунок 3), яка об'єднує засоби, призначені для опису теплових процесів в моделі.



Рисунок 3. Панель «Термічні навантаження»

Стаціонарний тепловий розрахунок передбачає аналіз розподілу температур в конструкції, що знаходиться в стані теплової рівноваги. При постановці завдання теплового аналізу необхідно контролювати граничні умови, а для зборок - також контактні граничні умови, щоб теплова рівновага досягалася в принципі. Що стосується збірок, ця вимога актуальна для кожної деталі. Параметри настройки завдання теплового аналізу наведені на малюнку 4.

Нестаціонарний тепловий розрахунок моделює поширення теплової енергії в залежності від часу. При цьому граничні умови залишаються незмінними. Це не означає, що величина випромінюваної (прийнятої) енергії є постійною. Вона залежить від температури поверхні самого тіла, але не враховує змін стану навколишнього середовища, походячи-щих в результаті обміну енергією з тілом. Нижче перераховані обов'язкові налаштування, необхідні для нестаціонарної задачі:

1. Загальний час - час, протягом якого аналізується тепловий стан. Програма не контролює факт збіжності розрахунку до стаціонарного стану, яке за винятком специфічних ситуацій має досягатися в певний момент часу. Обов'язок стежити за адекватністю результатів несе повну користувач.

ча. Разом з тим досить показово отримання результатів по закінченні тривалого періоду. За ступенем їх адекватності можна судити про коректність граничних умов.

2. Тимчасової інкремент - часовий інтервал, який використовується в ході розрахунку (чим менше крок, тим точніше розрахунок). Однак з урахуванням того, що тіло не впливає на навколишнє середовище і граничні умови діють протягом усього розглянутого періоду часу, модель теплових явищ, по суті, лінійна (незважаючи на наявність нелінійних членів в залежностях, наприклад, для випромінювання). З цього випливає, що збільшення кроку не призводить до розходження ітераційного процесу, а, отже, критичне зростання помилки не спостерігається.

3. Початкова температура - температура моделі в початковий момент часу. Якщо ж для будь-яких деталей в цілому або їх елементів (граней, ребер, вершин) задано граничне умови «Температура»), то в рас-подружжю будуть використовуватися задані там величини.

Обов'язковий набір вихідних даних для виконання теплового аналізу: модель тіла; привласнення матеріалу моделі властивостей, що дозволяють рі-шати завдання теплопровідності; граничні умови, які характеризують будь-які теплові ефекти на поверхні або всередині тіла; граничні умови, які характеризують будь-які теплові ефекти на поверхні або всередині тіла; кінцево-елементна дискретизація.

Характерні помилки. Ймовірність допущення важко діагностується помилки з формальних причин обмежена. Одна з очевидних проблем - невизначені характеристики теплопровідності і теплоємності матеріалу, а також параметри взаємодії з навколишнім середовищем. Інша помилка - спроба призначити на об'єкті два взаємовиключних типу граничних умов, наприклад температуру і тепловий потік.

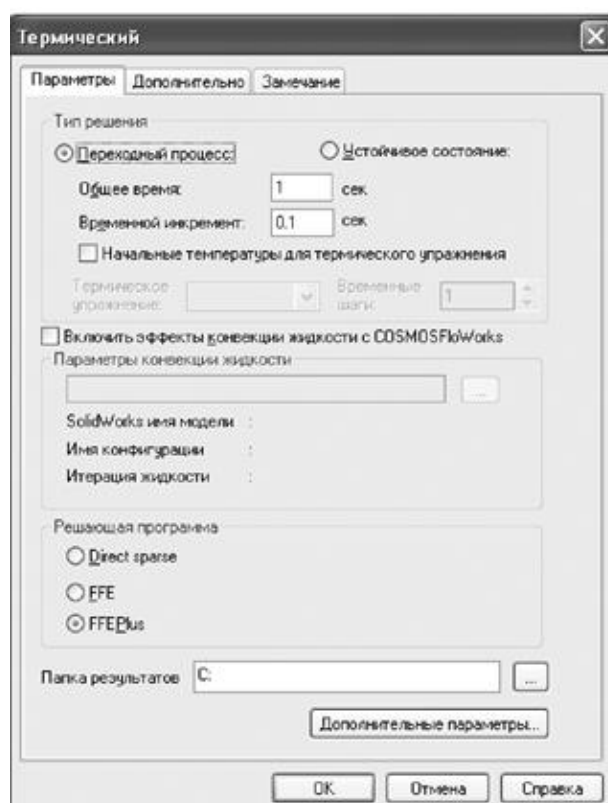


Рисунок 4. Вікно для налаштування трійки параметрів теплового аналізу конструкції

Окремий випадок - взаємовиключні умови на об'єктах різного рівня: на межі і кромці, їй належить; на кромці і в її вершині. Менш тривіальна спроба вирішити задачу за відсутності теплового рівноваги. Якщо до тіла прикладені джерела і приймачі теплової енергії, що не врівноважені, тепловідвід відсутня і до жодного з об'єктів не додано фіксовані температури, то температура тіла або будь-яких його областей прямує до нескінченності (зі знаком плюс або мінус). Нескінченність може бути отримана, якщо застосовується прямий вирішувач. Якщо ж використовуються ітераційні вирішувачі, то з обчислювальної точки зору процес виявляється розбіжним. У разі нестационарного розрахунку цей факт може бути не виявлено внаслідок кінцевої величини інтервалу часу. Тому для перевірки вихідних даних при нестационарному аналізі реко-мендується виконати стаціонарний розрахунок, який і продемонструє можливість досягнення теплового рівноваги.

1. 1. ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Побудувати об'ємну модель деталі, зазначеної в індивідуальному завданні (таблиця 1.5), в середовищі SOLIDWorks. Виконати постановку задачі статичного аналізу і вирішити її засобами середовища кінцево-елементного аналізу COSMOS Works. При розрахунках прийняти такі механічні характеристики матеріалу деталі: модуль пружності $1,9 \cdot 10^5 \dots 2,1 \cdot 10^5$ МПа; коефіцієнт Пуассона $0,26 \dots 0,3$; межа плинності $190 \dots 210$ МПа. Розрахунок виконати з урахуванням власної ваги деталі. Проаналізувати отримані результати: виділити зони найбільшої напруги деталі; визначити сили реакцій на закріплених поверхнях; визначити розрахунковий запас міцності конструкції на підставі одного з критеріїв міцності.

Варіант 1

Статичний аналіз конструкції.

Деталь жорстко зафіксована за двома циліндричних поверхнях А. На поверхню Б діє навантаження 80 кН. На поверхню В діє тиск 20 МПа.

Частотний аналіз конструкції.

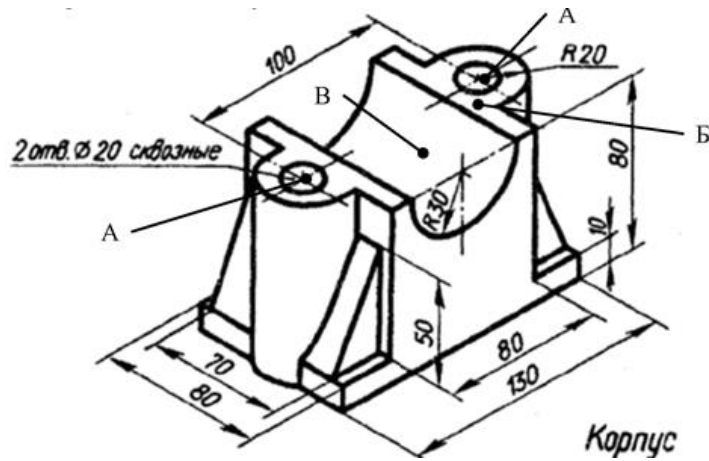
Номери власних частот: 1, 7, 15.

Аналіз втрати стійкості.

Номери форм втрати стійкості: 1, 7 15.

тепловий аналіз.

Поверхня А: тепловий потік 10 кВт/м^2 . Поверхня Б: тепла потужність 50Вт. Поверхня В: конвекція – коефіцієнт конвективної тепловіддачі $200 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, температура навколишнього середовища 22 °C .



Варіант 2

Статичний аналіз.

Деталь жорстко зафіксована за чотирма циліндричним отворів в підставі А. На поверхню Б діє тиск 6 МПа. На поверхню В діє тиск 4 МПа.

Частотний аналіз.

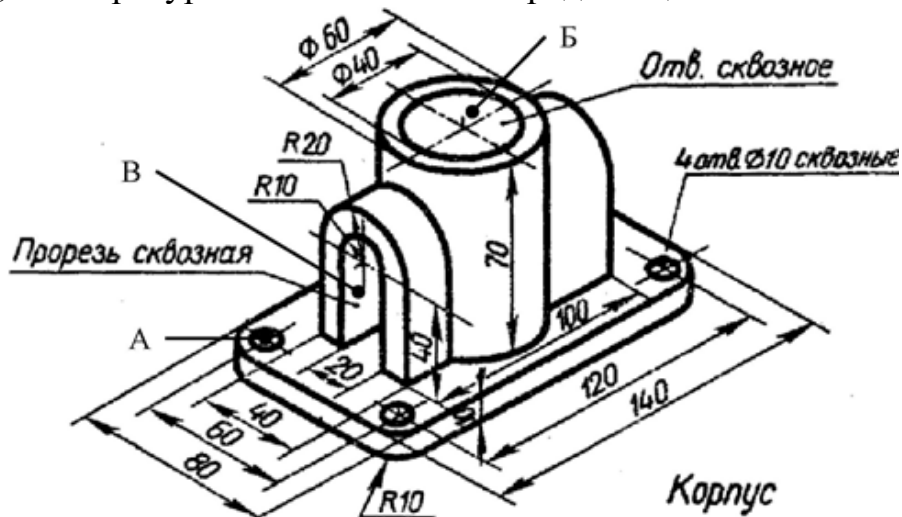
Номери власних частот: 2, 8, 16.

Аналіз втрати стійкості.

Номери форм втрати стійкості: 2, 8, 16.

Тепловий аналіз.

Поверхня А: теплова потужність 40 Вт. Поверхня Б: температура 150°C. Поверхня В: конвекція – коефіцієнт конвективної тепловіддачі 100 Вт/(м²·°C), температура навколишнього середовища 22°C.



Варіант 3

Статичний аналіз.

Деталь жорстко зафіксована по поверхнях А. На поверхню Б діє тиск 25 МПа.

Частотний аналіз.

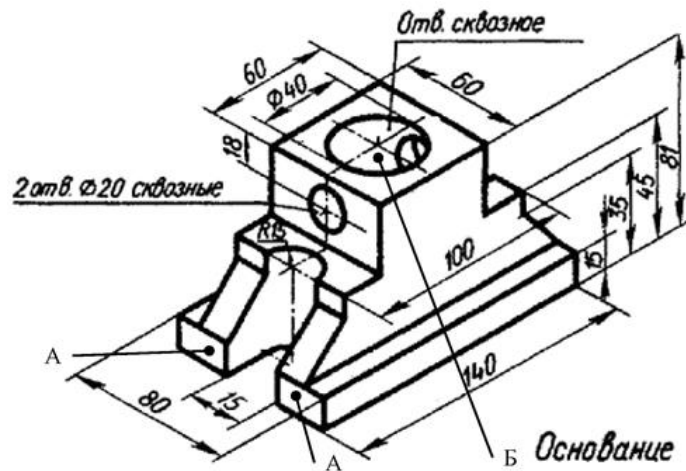
Номери власних частот: 3, 9, 17.

Аналіз втрати стійкості.

Номери форм втрати стійкості: 3, 9, 17.

Тепловий аналіз.

Поверхня А: конвекція – коефіцієнт конвективної етпловіддачі $500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$, температура навколишнього середовища 22°С . Поверхня Б: тепловий потік $5 \text{ кВт}/\text{м}^2$.



Варіант 4

Статичний аналіз.

Деталь жорстко зафіксована за чотирма циліндричних поверхнях А. На поверхню Б діє тиск 5 МПа . На кільцевий майданчик У діє зусилля 15 кН .

Частотний аналіз

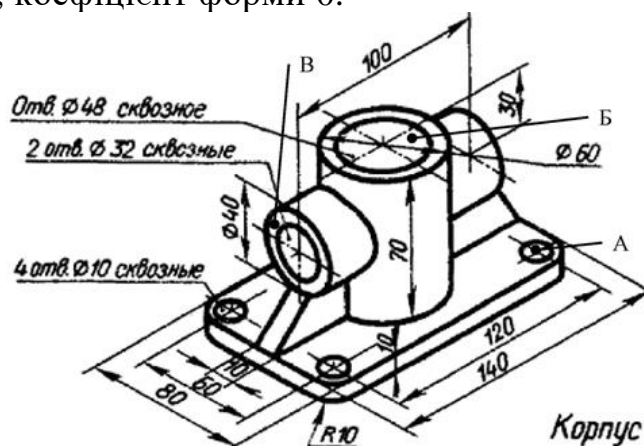
Номери власних частот: 4, 10, 18.

Аналіз втрати стійкості

Номери форм втрати стійкості: 4, 10, 18.

Тепловий аналіз.

Поверхня А: тепла потужність 10 Вт . Поверхня Б: температура 120°С . Поверхня В: температура навколишнього середовища 22°С , коефіцієнт випромінювання $0,2$, коефіцієнт форми 0 .



Варіант 5

Статичний аналіз.

Деталь жорстко зафіксована за трьома циліндричних поверхнях А. На кільцевий майданчик Б діє зусилля 7 кН .

Частотний аналіз.

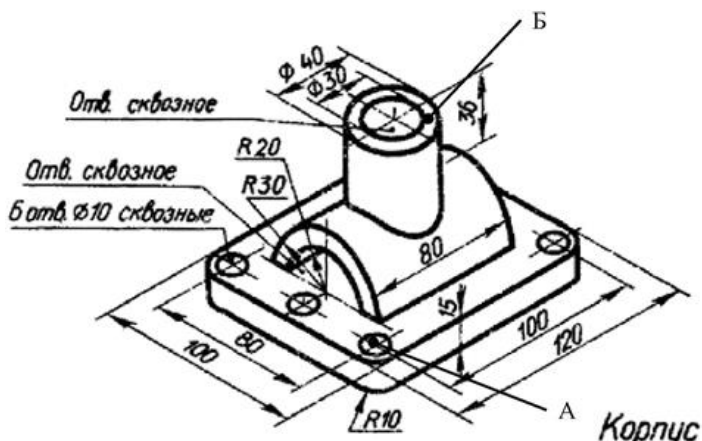
Номери власних частот: 5, 11, 19.

Аналіз втрати стійкості.

Номери форм втрати стійкості: 5, 11, 19.

Тепловий аналіз.

Поверхня А: тепла потужність 15 Вт. Поверхня Б: конвекція – коефіцієнт конвективної тепловіддачі $2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, температура навколишнього середовища 22°C .



Варіант 6

Статичний аналіз.

Деталь жорстко зафіксована за двома пазами А. На майданчик Б діє зусилля 6,6 кН.

Частотний аналіз

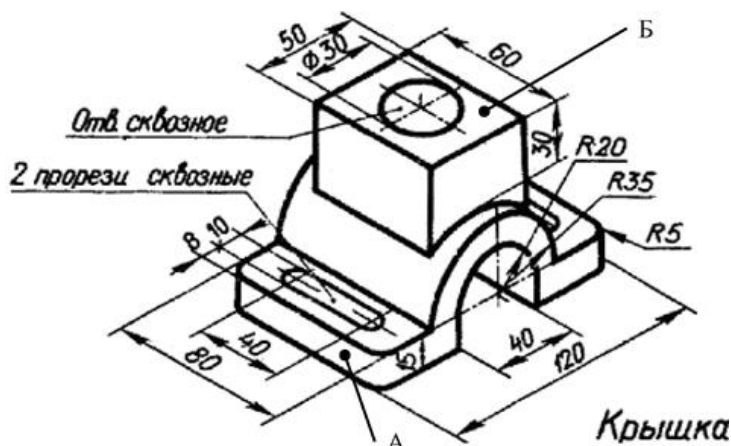
Номери власних частот: 6, 12, 20.

Аналіз втрати стійкості.

Номери форм втрати стійкості: 6, 12, 20.

Тепловий аналіз.

Поверхня А: тепловий потік $10 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Поверхня Б: конвекція – коефіцієнт конвективної тепловіддачі $700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, температура навколишнього середовища 22°C .



Варіант 7

Статичний аналіз

Деталь жорстко зафіксована по двох поверхнях А. На майданчик Б діє зусилля 70 кН.

Частотний аналіз

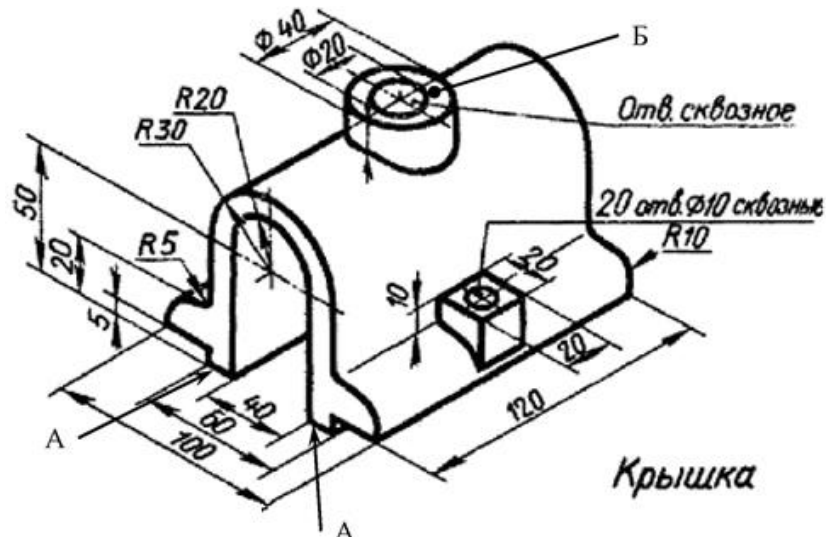
Номери власних частот: 7, 13, 21.

Аналіз втрати стійкості

Номери форм втрати стійкості: 7, 13, 21.

Тепловий аналіз.

Поверхня А: конвекція – коефіцієнт конвективної тепловіддачі $700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, температура навколишнього середовища 22°C . Поверхня Б: тепловий потік $5 \text{ кВт}/\text{м}^2$.



Варіант 8

Статичний аналіз.

Деталь жорстко зафіксована за двома циліндричних поверхнях А. На поверхню Б діє тиск 9 МПа. На майданчик В діє зусилля 5,5 кН.

Частотний аналіз.

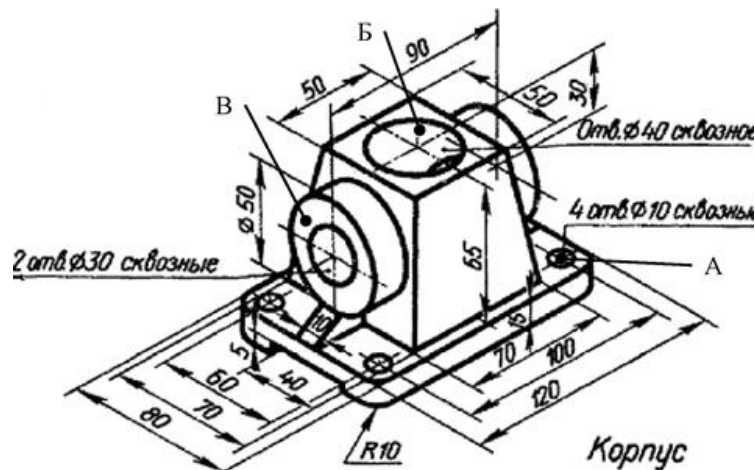
Номери власних частот: 8, 14, 22.

Аналіз втрати стійкості.

Номери форм втрати стійкості: 8, 14, 22.

Тепловий аналіз.

Поверхня А: температура 180°C . Поверхня Б: тепла потужність 50 Вт. Поверхня В: випромінювання – температура навколишнього середовища 22°C , коефіцієнт випромінювання 0,5, коефіцієнт форми 0.



Варіант 9

Статичний аналіз

Деталь жорстко зафіксована отворів А і Б. На поверхню В діє тиск 7,8 МПа.

Частотний аналіз

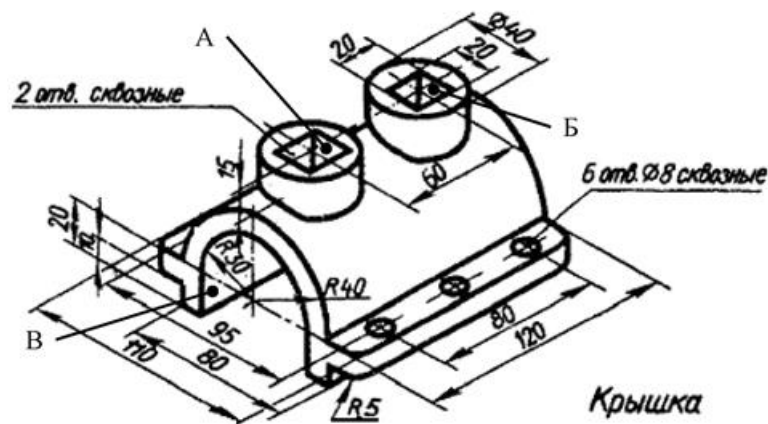
Номери власних частот: 9, 15, 23.

Аналіз втрати стійкості

Номери форм втрати стійкості: 9, 15, 23.

Тепловий аналіз

Поверхня А: температура 175°C. Поверхня Б: тепловий потік 10 кВт/м². Поверхня В: випромінювання – температура навколишнього середовища 22°C, коефіцієнт випромінювання 0,9, коефіцієнт форми 0.



Варіант 10

Статичний аналіз

Деталь жорстко зафіксована за двома циліндричних поверхнях А. На циліндричну поверхню Б діє тиск 5 МПа. На майданчик В діє навантаження 15кН.

Частотний аналіз

Номери власних частот: 10, 16, 24.

Аналіз втрати стійкості

Номери форм втрати стійкості: 10, 16, 24.

Тепловий аналіз.

Поверхня А: температура 120°C . Поверхня Б: теплова потужність 50Вт .
Поверхня В: конвекція – коефіцієнт конвективної тепловіддачі $16\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$, температура навколишнього середовища 22°C .

