

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Газотурбінний двигун»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів

за темою №2 - Компресори

Харків 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 23.09.2021 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 22.09.2021 № 2

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 30.08.2021р. № 1

Розробники:

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Царенко Андрій Олександрович

Рецензенти:

1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.
2. Викладач циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.

План лекції

1. Призначення і конструктивні елементи компресорів.
2. Ротори компресора, їх призначення і типи.
3. Конструктивне виконання і порівняльна характеристика різних типів роторів.

Рекомендована література:

Основна:

1. Кеба І.В. Конструкція і льотна експлуатація авіаційного двигуна ГТД 350. Москва: Транспорт, 1987. 224 с.
2. Нікітін Є.І. Турбовальний двигун ГТД-350. Москва: ДОСААФ СРСР, 1978. 192 с.

Додаткова:

3. Авіаційний газотурбінний двигун ГТД-350: Технічний опис. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego «PZL-Rzeszów», 1977. 230 с.
4. Інструкція з експлуатації і технічного обслуговування двигуна ГТД-350. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego «PZL-Rzeszów», 1977р.
5. Регламент технічного обслуговування вертольоту Мі-2 ч.1. Москва: ДержНДІ ЦА, 2007. 200 с.
6. Царенко А.О. Вертоліт Мі-2. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 227 с.

Текст лекції

1. Призначення і конструктивні елементи компресорів.

Компресор є одним з основних вузлів ГТД. Він здійснює стиснення повітря перед надходженням його в камеру згоряння. Компресор забезпечує необхідний ступінь підвищення тиску повітря π_K при заданому його витраті G_v . Компресори складається зі статора і ротора.

2. Ротори компресора, їх призначення і типи.

Ротор – це обертова частина компресора, яка перетворює механічну енергію в енергію тиску потоку повітря. Він включає в себе: робочі лопатки; диски (чи барабан), на яких закріплені робочі лопатки; вал або цапфи, за допомогою яких ротор опирається через підшипники на силових корпус двигуна; елементи кріплення дисків між собою і дисків з валом або цапфами. За конструкцією застосовують ротори барабанного, дискового і барабанно-дискового (змішаного) типу.

3. Конструктивне виконання і порівняльна характеристика різних типів роторів.

Ротор барабанного типу (Рис. 3.1, а) являє собою кілька рядів робочих лопаток 1 закріплюються на циліндричному або конічному барабані 2, що представляє собою механічно оброблену поковку з алюмінієвого сплаву, титану або сталі. Дві кришки 3 закривають барабан з торців і мають цапфи, якими ротор спирається на підшипники 4. Крутить момент до кожної ступені передається через стінку барабана.

Достоїнствами ротора барабанного типу є:

- Простота конструкції;
- Низька питома маса;
- Велика згинальна і крутильна жорсткість;
- Висока критична частота обертання;
- Висока вібраційна стійкість.

До недоліків ротора барабанного типу слід віднести:

- Порівняно невисоку несучу здатність барабана;
- Низьку робочу окружну швидкість - не більше 200 м / с.

Ротори барабанного типу для авіаційних двигунів були запозичені з конструкцій компресорів для парових турбін.

Ротор дискового (Рис.3.1, б) типу має з'єднані з валом 6 диски 5, на периферії котрих кріпляться робочі лопатки 1. Диски стягнуті в єдиний пакет гайками, які накручені на вал. Достоїнствами ротора дискового типу є:

- Велика несуча здатність дисків;
- Висока робоча окружна швидкість - до 400 м / с.

Ступеня компресора з дисковими роторами є висконапорними і застосовуються в ГТД з великими ступенями підвищення тиску повітря. Крутний момент до кожної ступені передається через вал. Недоліками ротора дискового типу є:

- Порівняно невелика згинальна і крутильна жорсткість;
- Невисока критична частота обертання;
- Висока питома маса;
- Складність конструкції.

Зниження згинальної жорсткості ротора дискового типу в порівнянні з ротором барабанного типу призводить до зниження критичної частоти. Для підвищення критичного числа оборотів збільшують необхідний перетин валу ротора, але при цьому збільшується і маса компресора.

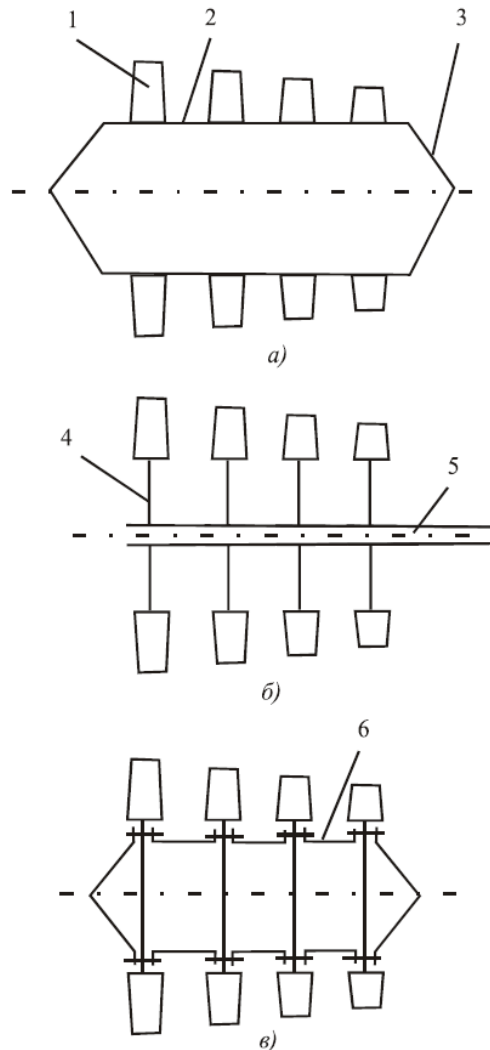


Рис. 3.1 Ротори

Конструкцією, що поєднує в собі переваги роторів барабанного і дискового типу, є ротор змішаного типу (Рис. 3.1, в). В даному випадку окремі секції, що мають диски 5 і барабанні секції 7, з'єднуються між собою. Причому з'єднання робиться на такому радіусі, де окружна швидкість невелика і допускається за умовами міцності барабана.

Достоїнствами ротора барабанно-дискового типу є:

- Порівняно велика жорсткість;
- Висока критична частота обертання;
- Велика несуча здатність дисків;
- Висока робоча окружна швидкість - до 400 м / с.

Діапазони робочих частот обертання роторів всіх типів можуть лежати нижче критичної частоти - такий ротор називається «жорстким». Якщо ж робочі

частоти більше критичного значення - такий ротор називають «гнучким». Представлені типи роторів бувають як жорсткі, так і гнучкі, залежно від діапазону робочих оборотів.

Розглянемо типові рішення, застосовувані в конструкціях роторів багатоступеневих осьових компресорів.

На Рис. 3.2 показаний ротор дискового типу, що складається з вала 1 і розташованих на ньому тринадцяти робочих коліс 2. Між робочими колесами встановлені проміжні кільця 3, створюючи барабан, стягнутий гайками 4 і 5. Передача крутного моменту від валу до дисків і центрування дисків здійснюється шліцями. Для цього, в основному, використовуються шліці двох типів:

- Евольвентні;
- Трапецієподібні.

Застосування евольвентних шліців менш поширене, т. к. Краще центрування забезпечують прямокутні шліці (див. Рис. 3.4), де центрування здійснюється по радіальних (бічним) поверхнях. В таких шліцах центрування зберігатиметься незалежно від теплових і силових деформацій маточини.

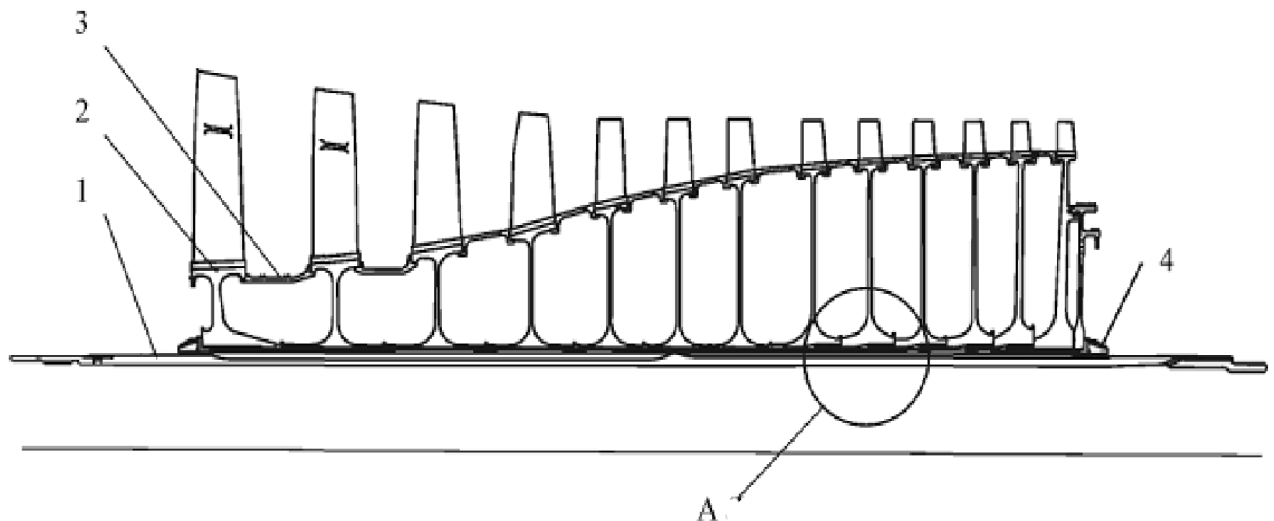


Рис. 4.14- Ротор дискового типу з шліцьовим валом
1 - вал компресора; 2 - робоче колесо; 3 - проміжне кільце; 4 і 5 - гайки ротора компресора

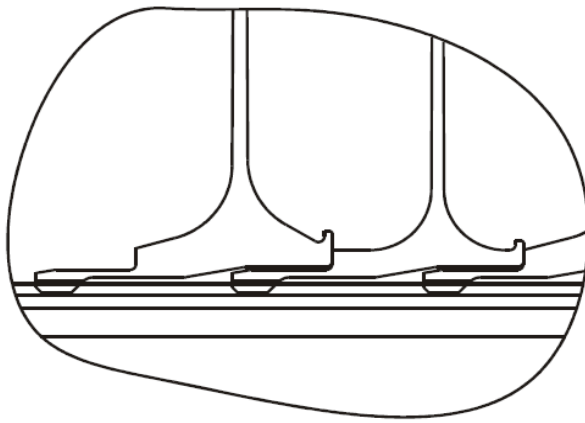


Рис. 3.3

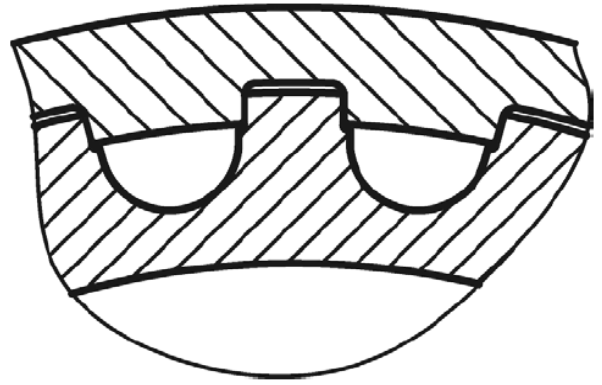


Рис.3.4

Пакет дисків стягнутий на шліцевій ділянці вала з двох сторін гайками 4 і 5 (Рис. 3.2). При цьому монтажне зусилля стяжки пакета дисків вибирається таким чином, щоб при нагріванні ротора в робочих умовах не відбувалося зниження зусилля затягування до нульового значення (не відбувалося «розкриття» ротора).

Для додаткового демпфірування дисків та організації проточної частини між ободами дисків встановлюють проміжні кільця. Це істотно підвищує згинальну жорсткість ротора. Конструкція проміжних кілець чи інших проставних елементів обідної частини ротора залежить від прийнятої при проектуванні форми проточної частини.

Проточна частина по типу поверхонь, що її утворюють може бути двох видів:

- «Гладкою»;

- «Негладкою». Проточна частина називається «гладкою», якщо зовнішні поверхні проміжних кілець і дисків утворюють в меридіональному перерізі плавні лінії без уступів (див. Рис. 3.2). Проточна частина називається «негладкою» якщо на зовнішній поверхні проміжних кілець є виступаючі або потоплюючі елементи повітряних ущільнень (див. Рис. 3.5)

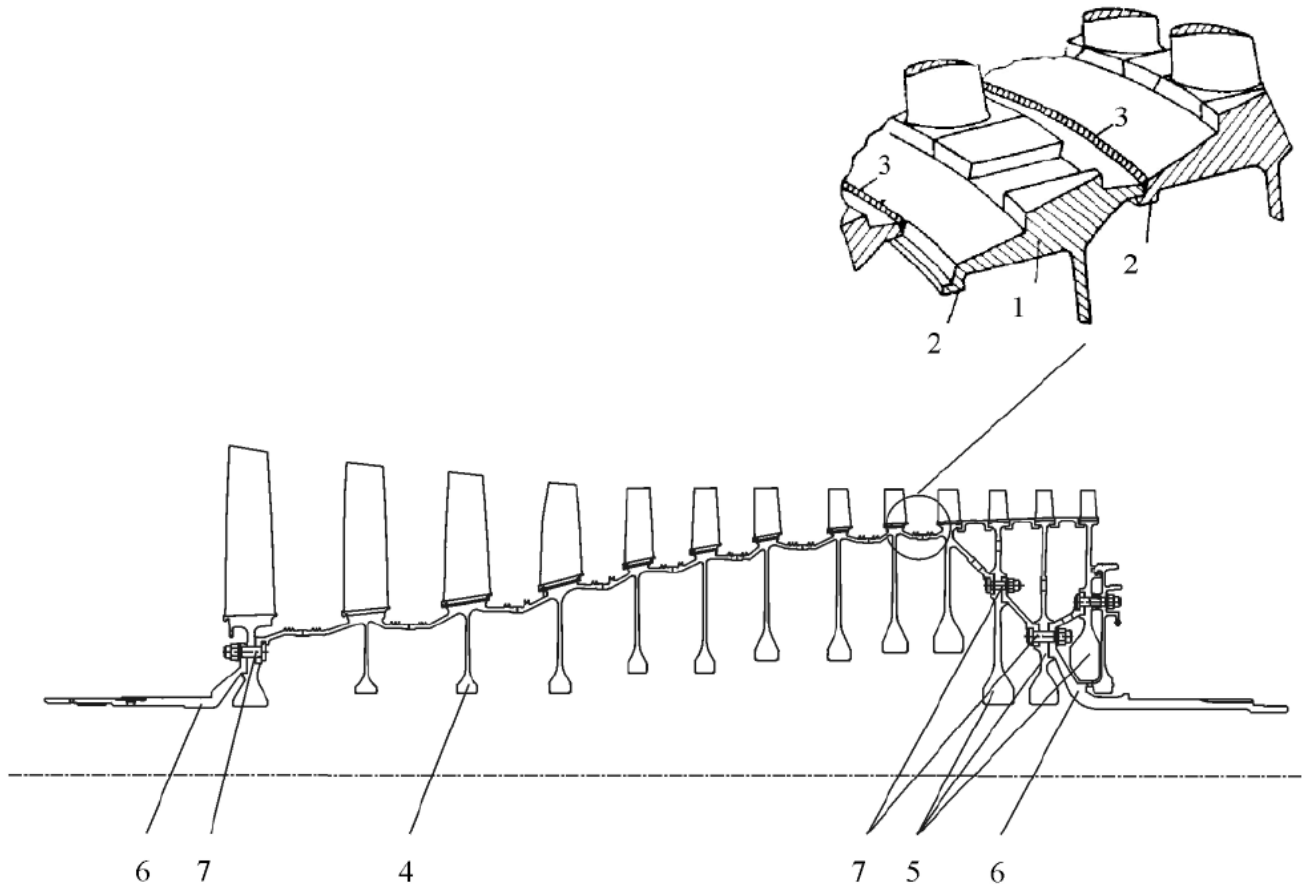


Рис. 3.5 - Ротор барабанно-дискового типу зі зварної титанової секцією

1 - титановий диск компресора; 2 - циліндричний посадковий ділянку; 3 - зварні шви; 4 - зварна титанова секція; 5 - сталевий диск компресора; 6 - цапфа вала; 7 - прізонні болти

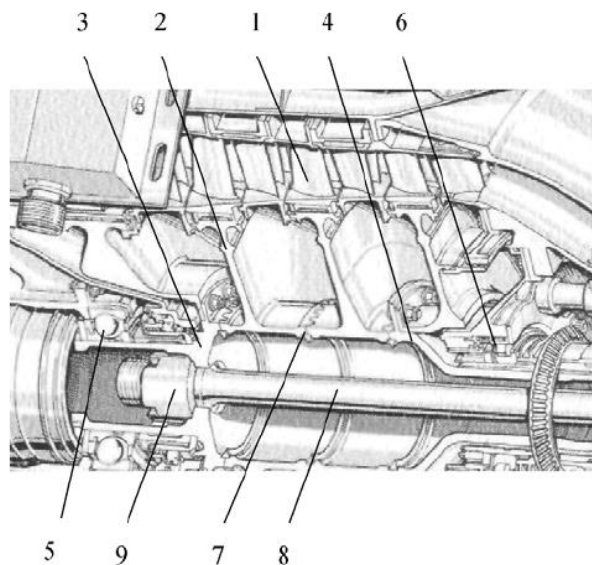


Рис. 3.6 - Ротор компресора двигуна Honeywell TFE731-60

1 - робоча лопатка; 2 - диск компресора; 3 - цапфа передньої опори; 4 - цапфа задньої опори; 5 - шарикопідшипник; 6 - роликпідшипник; 7- торцеві трикутні шліци; 8- центральний стяжний болт; 9 - гайка стяжного болта

Можливі варіанти конструкції ротора без центрального шліцевого вала. На Рис. 3.5 показаний ротор того ж, що і на Рис. 3.2 компресора, але іншого типу - без внутрішнього шліцевого вала. Передні десять дисків з титанового сплаву об'єднані в зварену секцію. Центрування дисків 1 при зборці забезпечується за допомогою циліндричних посадочних ділянок 2, які після зварювання зрізаються. Зварений шов 3 повинен контролюватися, а вся зварна секція дисків повинна бути термооброблена для зняття внутрішніх напружень.

До зварної титанової секції 4 призонними болтами 7 кріпляться сталеві диски останніх ступенів 5 з цапфами 6. Такий ротор має меншу масу і велику поперечну жорсткість, ніж ротор на Рис. 3.2. На практиці застосовуються і інші конструкції роторів компресорів:

- Рис. 3.6 - передача крутного моменту і центрування дисків за допомогою торцевих трекутних шлиців 7, стяжка секцій ротора центральним стяжним болтом 8;

- Рис. 3.7 - передача крутного моменту довгими стяжними болтами 2, скріпними пакет дисків ротора 1; центрування дисків і проставок 3 здійснюється за допомогою циліндричних призонних ділянок на болтах і отворів, виконаних в дисках і проставках, розгорнутих спільно. Одночасне притиснення по стиках здійснюється за допомогою розпірних втулок 4, одягнутих на болти.

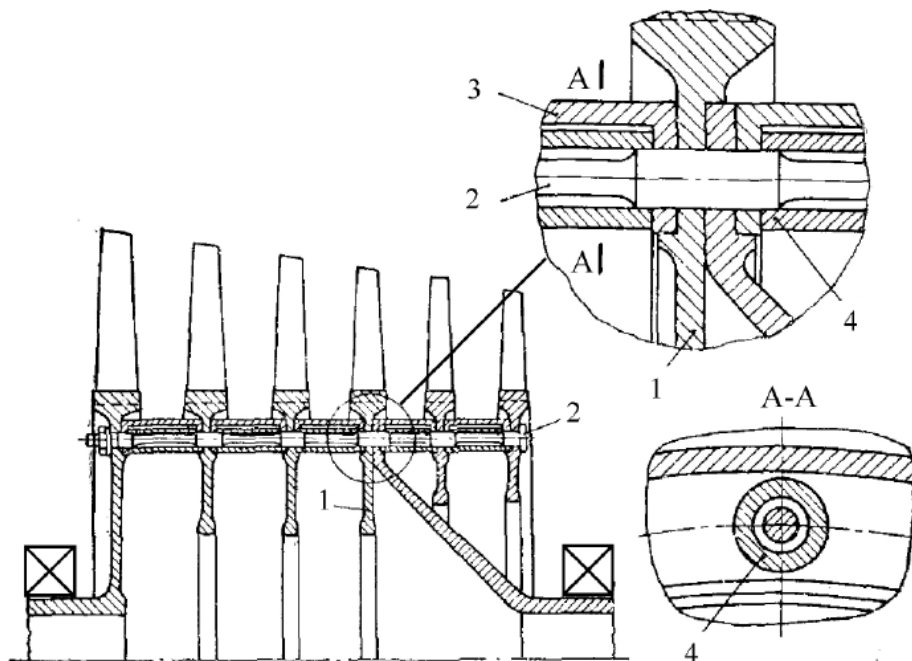


Рис 3.7 - Передача крутного моменту в роторі довгими стяжними болтами
1 - диск компресора; 2 - стягнутий болт; 3 - кільцеві проставки; 4 - втулка розпору



Рис. 3.8 - Моноколесо (Бліск) осьового компресора

Однією з головних задач при проектуванні роторів є поєднання мінімальної маси конструкції з максимальним ресурсом і надійністю. Традиційні конструкції роторів на сучасному етапі практично вичерпали свій ресурс в області зниження маси. Єдиним шляхом залишається використання нових легких матеріалів, включаючи інтерметаліди.

Водночас сучасний розвиток технологій різання, дифузійного зварювання тощо відкрило нові шляхи у вирішенні цього непростого завдання. Так, наприклад, використання в роторі будь-якого типу моноколес (БЛІСКОМ) (див. Рис. 3.8) дозволяє домогтися зниження маси конструкції до 25% від початкового і підвищити критичне число обертів. Моноколесо - це робоче колесо, в якому лопатки виконані з диском за одне ціле.

Подальшим розвитком цієї ідеї є ротори, виготовлені із застосуванням технології «блінг». «Блінг» - це робоче кільце, в якому лопатки виконані з диском за одне ціле (Рис. 3.9). По внутрішній поверхні таке кільце армовано металокомпозитною матрицею, яка підвищує його несучу здатність. Армування проводиться методом дифузійної зварки. Подібна схема виготовлення робочих коліс дозволить на новому етапі розвитку повернутися до конструкції ротора барабанного типу, уникнувши при цьому таких його недоліків, як низька допустима робоча окружна швидкість і порівняно невисока несуча здатність барабана.

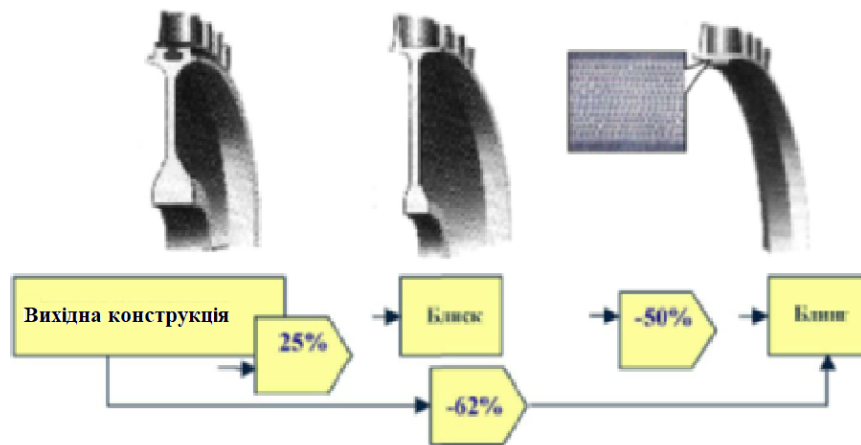


Рис. 3.9 - Зниження маси робочих коліс оптимізацією їх конструкції