

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЗУБЧАСТОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

Зубчасті зачеплення є одними з найпоширеніших видів передавальних механізмів у сучасному машинобудуванні. Це обумовлено, по-перше, їх високим коефіцієнтом корисної дії, по-друге, надійністю і роботи, по-третє, можливістю створення різноманітних схем різного призначення.

Серед усіх зубчастих механізмів за кількістю виготовлених є безумовно такі, у складі яких є евольвентні зубчасті колеса, теорія створення яких була написана в ХІХ столітті. Як відомо вони утворюються завдяки нарізанню по дузі кола специфічних кривих – евольвент. Математичні рівняння для розрахунку більшості геометричних та інших параметрів зубців коліс мають у своєму складі тригонометричні залежності [1,2,3], що робить їх процес рішення у зворотному напрямку досить складним. Тому навіть на теперішній час дуже часто використовують у машинобудуванні так звані нульові колеса, тобто без коефіцієнтів зміщення. Але, як відомо, навіть незначне зміщення рейки при нарізанні евольвентних зубчастих коліс може суттєво, навіть у кілька разів, поліпшити якісні показники зачеплення пари коліс. Крім того, при оптимізації за певними параметрами, необхідно порівнювати різні результати розрахунку при різних заданих початкових параметрах, що потребує перерахунків і, як слідство, певного часу. Раніше оптимізація робилась за допомогою системи блокуючих контурів, яка зараз вже застаріла.

Саме тому для розрахунку і аналізу евольвентного зубчастого зачеплення було написано комп'ютерну програму Evolv – свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 106198 від 13.07.21 р. Ця програма дозволяє за досить короткий час проводити розрахунки геометрії та якісних показників простого евольвентного циліндричного зачеплення, що оминає описані раніше незручності. При написанні цього програмного забезпечення була використана мова програмування Delphi, що робить програму Evolv автономною у середовищі Windows і не вимагає будь яких навичок для її встановлення і роботи з нею для розрахунків зачеплення.

Дане програмне забезпечення було створено на кафедрі теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем та використовується студентами під час курсового проектування у курсі «Теоретична механіка та теорія машин і механізмів (курсний проект)».

Програма дозволяє вводити будь які параметри інструментальної рейки, кількість зубців коліс, модуль зачеплення і коефіцієнти зміщення, як для зовнішнього, так і для внутрішнього зачеплення. При цьому на екрані відображаються радіуси коліс, кут зачеплення і міжосьова відстань. При цьому на вибір можна переглянути коефіцієнт питомого тиску, коефіцієнти питомого ковзання або зону зачеплення (коефіцієнт торцевого перекриття). Оскільки оптимізація зубчастого зачеплення відбувається у порівнянні з деяким відомим або раніше знайденим результатом, то програма дозволяє одночасно зберігати на екрані до трьох будь яких результатів.

У першому прикладі зроблено розрахунок для зовнішнього зачеплення з числами зубців коліс  $z_1 = 37$  і  $z_2 = 143$ , модулем  $m = 5,5$  мм (рис. 1). Показано три варіанти рішення для коефіцієнта питомого тиску для різних коефіцієнтів зміщення: 1)  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 0$ ; 2)  $x_1 = 0,3$ ;  $x_2 = 0,4$ ; 3)  $x_1 = 0,75$ ;  $x_2 = -0,25$ . При рішенні були задані параметри стандартної інструментальної рейки.

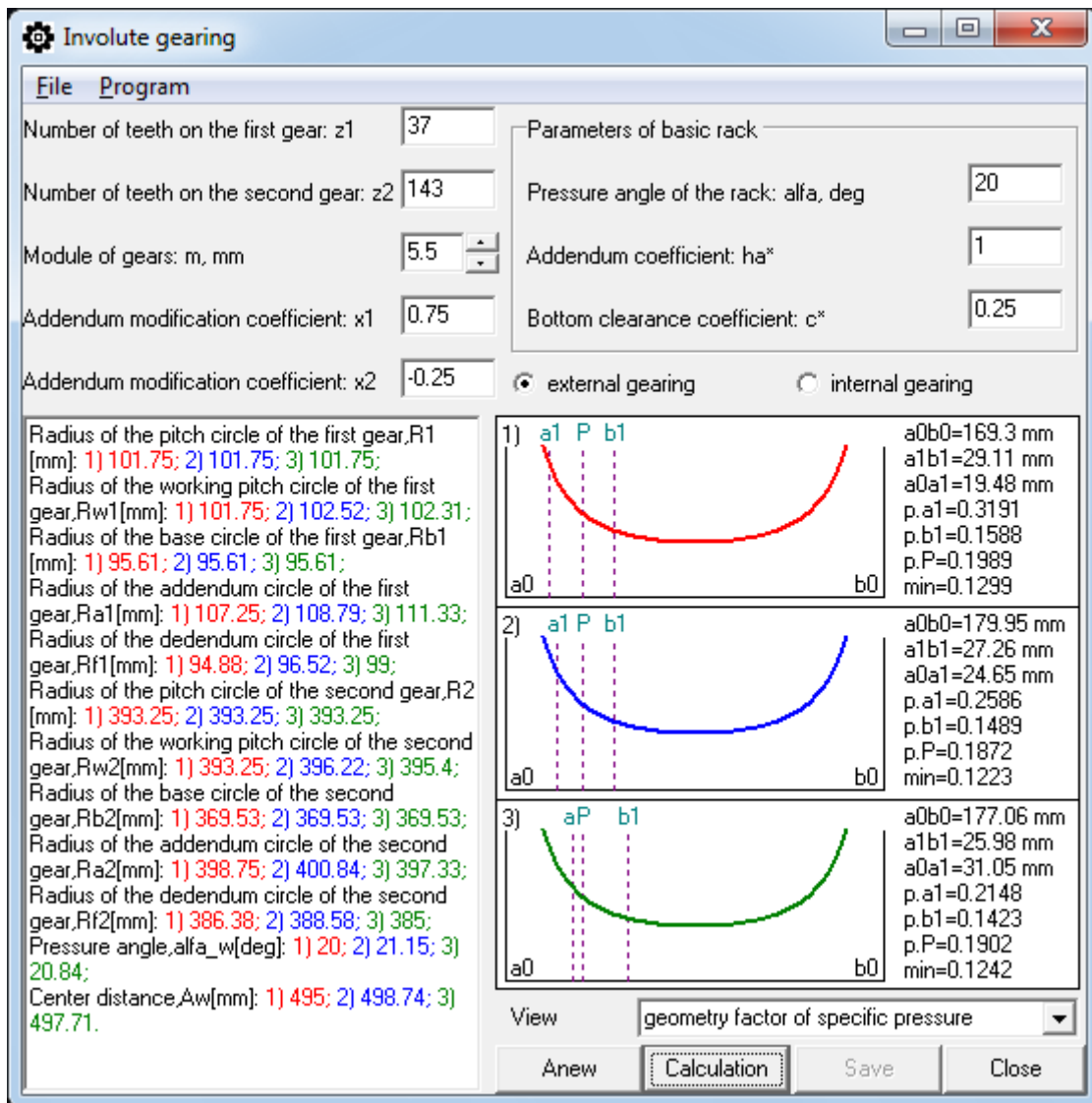


Рисунок 1 – Питомий тиск для зовнішнього зачеплення

Як видно, при змінненні коефіцієнтів зміщення, змінюють своє положення точки  $a_1$  і  $b_1$ , що відповідають активній зоні зачеплення зубців зубчастих коліс. Це дозволяє відслідковувати зміну коефіцієнту питомого тиску в цих точках (меню праворуч від графіків) і оптимізувати зубчасте зачеплення. Так максимум коефіцієнту питомого тиску спочатку дорівнює 0,3191, потім 0,2586 і в кінці 0,2148, тобто зменшується в 1,49 разів.

У другому прикладі зроблено розрахунок коефіцієнтів питомого ковзання для різних пар зубчастих коліс, які можуть утворювати кратний зубчастий механізм, планетарний або диференційний механізм схеми АІ:

1) зовнішнє зачеплення з числами зубців коліс  $z_1 = 20$  і  $z_2 = 40$ , модуль  $m = 3,0$  мм; коефіцієнти зміщення  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 0$ ;

2) внутрішнє зачеплення з числами зубців коліс  $z_1 = 100$  і  $z_2 = 40$ , модуль  $m = 3,0$  мм; коефіцієнти зміщення  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 0$ ;

3) зовнішнє зачеплення з числами зубців коліс  $z_1 = 20$  і  $z_2 = 40$ , модуль  $m = 3,0$  мм; коефіцієнти зміщення  $x_1 = 0,25$ ;  $x_2 = -0,25$  (однакові з протилежним знаком, щоб не було зміни міжосьової відстані).

При рішенні були задані параметри стандартної інструментальної рейки (рис. 2).

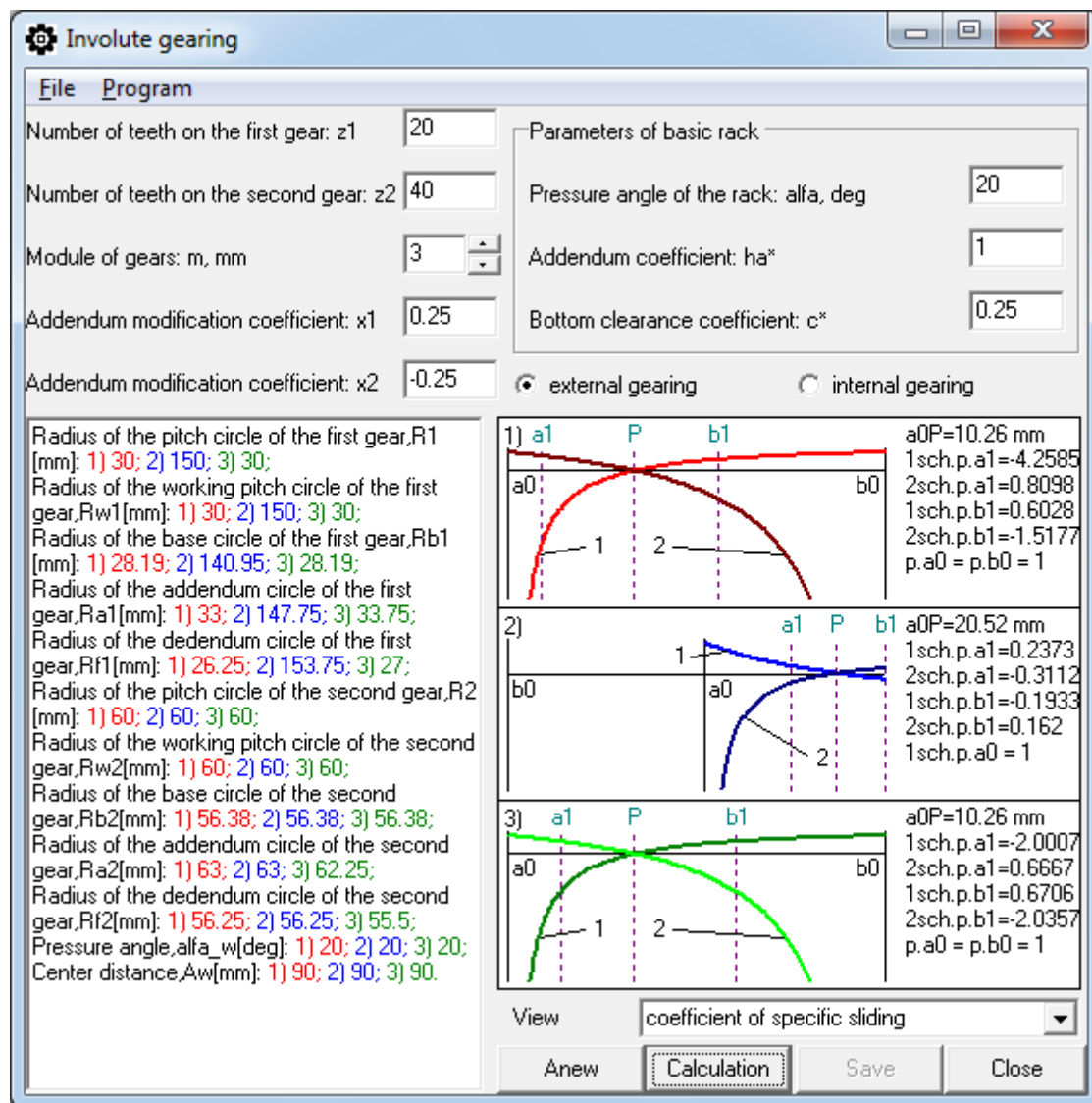


Рисунок 2 – Питоме ковзання для зовнішнього і внутрішнього зачеплення

Як видно, для першого варіанту зовнішнього зачеплення максимум коефіцієнту питомого ковзання дорівнює за модулем 4,2585. У той самий час для внутрішнього зачеплення максимум ковзання дорівнює за модулем 0,3112. Тобто зовнішнє зачеплення у 13,68 разів більш схильне до зношування ніж внутрішнє, яке може бути у складі того ж самого механізму. Після введення відповідних коефіцієнтів зміщення для зовнішнього зачеплення питомий тиск приймає майже однакові значення на краях активної зони в точках  $a_1$  і  $b_1$ , а саме 2,0357 за максимумом. Таким чином коефіцієнт питомого ковзання зменшено у 2,09 разів.

Для цього самого рішення можна переглянути зону активної ділянки лінії зачеплення коліс (рис. 3). При цьому наочно видно коли в контакті одна, а коли дві пари зубців. Також програма Evolv розраховує коефіцієнт торцевого перекриття ( $\epsilon_\alpha$ ), крок зубців ( $p_b$ ) і розмір ділянки зачеплення ( $a_1b_1$ ).

Таким чином при розробці даного програмного забезпечення були вирішені наступні практичні задачі:

- 1) розрахунок геометричних параметрів зубчастого зачеплення;
- 2) можливість змінювати параметри інструментальної рейки в процесі розрахунку;
- 3) можливість зміни коефіцієнтів зміщення і одночасний перегляд до трьох варіантів рішення;

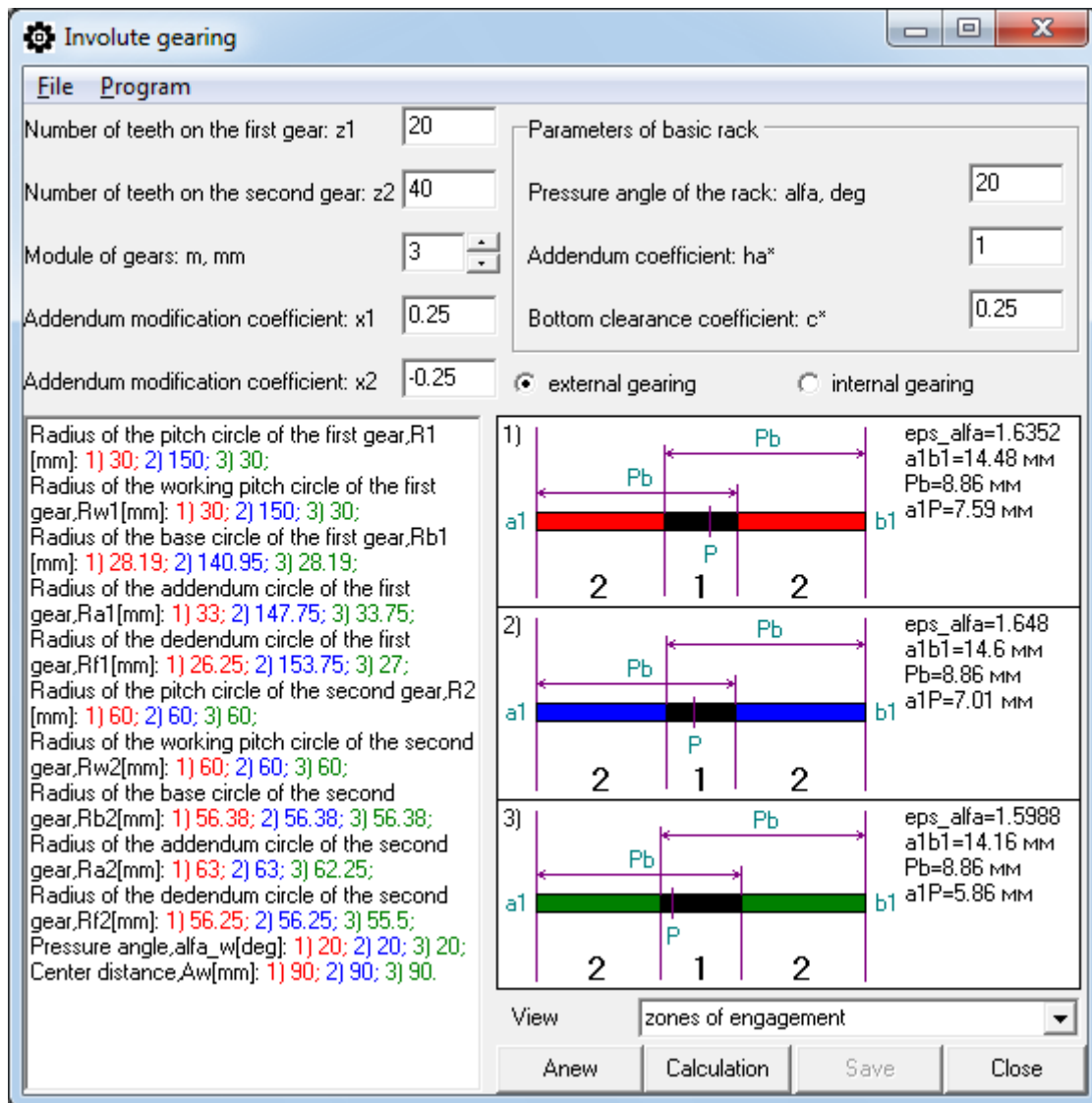


Рисунок 3 – Зона зачеплення

- 4) аналіз рішення основних якісних показників зубчастого зачеплення (коефіцієнт питомого тиску, коефіцієнти питомого ковзання, коефіцієнт торцевого перекриття);
- 5) можливість розрахунку і аналізу для зовнішнього і внутрішнього зачеплення коліс;
- 6) можливість підбирати коефіцієнти зміщення для планетарних і диференційних зубчастих механізмів;
- 7) рішення оберненої задачі відбувається нескладно завдяки майже миттєвій швидкості розрахунку програми Evolv;
- 8) оптимізація можлива без системи блокуючих контурів.

### Список використаних джерел

1. Шебанов, І. Г. Кінематичний синтез та аналіз авіаційних механізмів з використанням ПЕОМ: навч. посіб. / І. Г. Шебанов. – Харків: ХАІ, 2000. – 44 с.
2. Алферов, В. В. Визначення геометричних параметрів та якісних показників зміщеного евольвентного зачеплення: навч. посіб./В. В. Алферов. – Харків: ХАІ, 1999. – 37 с.
3. Усік, В. В. Курс теорії механізмів і машин: навч. посіб. / В. В. Усік, В. О. Меньшиков. – Харків: ХАІ, 2019. – 320 с.