

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №5
«ПРОФІЛЮВАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ЗУБЧАСТОГО
ЗАЧЕПЛЕННЯ»**

Одеса – 2024

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №5
«ПРОФІЛЮВАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНОГО ЗУБЧАСТОГО
ЗАЧЕПЛЕННЯ»**

Затверджено на засіданні
кафедри «Динаміка машин та
механічна інженерія»
Протокол № 2 від 18 вересня
2024р.

Одеса 2024

Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи №5 з курсу «Теорія механізмів та машин» на тему: «Профілювання евольвентного зубчастого зачеплення», для здобувачів вищих навчальних закладів / укладачі: Курган В.О., Яглінський В.П., Сидоренко І.І., Бажанова А.Ю., Пономаренко А.А. – Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2024 – 34с.

Освітня програма: «Автоспортивний інжиніринг»

«Динаміка, міцність машин та транспортних засобів».

ЗМІСТ

<u>1. Мета роботи</u>	5
<u>2. Пристрій і застосування приладу ТММ-42</u>	6
<u>3. Особливості підготовки дослідів і розрахунку передачі</u>	7
<u>4. Обсяг і послідовність роботи</u>	10
5. Домашнє завдання.....	29
6. Контрольні запитання.....	30

[ЛІТЕРАТУРА](#)

30

1. Мета роботи

1.1 Ця розроблена лабораторна робота повинна допомогти студенту в оволодінні методами проектування евольвентних зубчастих передач. У ній поєднується розрахункова практика з профілюванням зубців при різному відносному положенні заготовки колеса і прямобічної робочої рейки.

Після виконання роботи, студент зможе абсолютно чітко простежити зв'язок основних положень теорії евольвентного зубчастого зачеплення і технології виготовлення зубчастих коліс методом обкатки інструментом рейкового типу (зуборізною гребінкою, черв'ячною фрезою).

1.2 Нагадаємо, що при нарізанні зубців заготовці та інструменту надається такий ж відносний рух (рух обкатки), який мали б зубчасте колесо і рейка, що знаходяться в зачепленні. Необхідний відносний рух можна отримати комбінацією різних рухів цих контактуючих колеса і рейки.

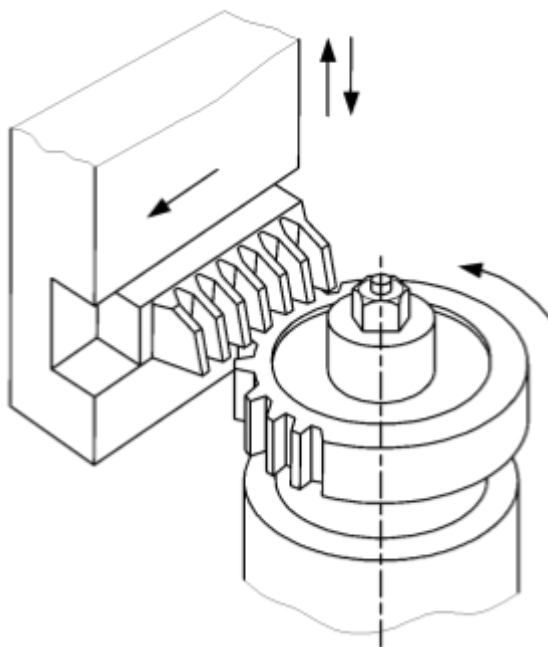


Рис. 1

На рис. 1 показаний рух обкатки, що отримується за рахунок обертання заготовки колеса навколо нерухомого центру і поступального переміщення зуборізної гребінки.

Робочий рух гребінки – зворотно-поступальний уздовж осі заготовки. Зазвичай вісь заготовки вертикальна, зуборізна гребінка рухається вгору і вниз. Опускаючись, гребінка знімає стружку. Профіль зубця отримується як огинаюча профілів інструментальної рейки в безлічі її послідовних положень відносно колеса.

Якщо з прямою LL буде збігатися ділильна пряма рейки (це номінальне становище початкової робочої рейки), то нарізане колесо називають **колесом без зміщення**. При зміщенні початкової робочої рейки (від центру колеса, яке нарізується – додатне зміщення, до центру колеса – від’ємне) нарізане колесо називають **колесом зі зміщенням**.

На напрямних 6 нанесені шкали, а на рейці риски 13, які дозволяють встановити величину зміщення рейки. Величина зміщення рейки від номінального положення в кожну сторону для даного приладу не може перевищувати 10 мм.

Планка 3 може здійснювати холостий або робочий хід. При холостому ході необхідно відключити храповий механізм – важіль 8 повинен бути повернений за годинниковою стрілкою до упору. При робочому ході клавіші 9 здійснюється періодичне переміщення рейки. Кріплення паперового кола на диску 1 проводиться за допомогою накладки 11, що затискається гвинтом 12.

3. Особливості підготовки дослідів і розрахунку передачі

3.1. Дані методичні вказівки не повинні замінювати навчальну літературу. Тому тут наведені тільки ті відомості, які полегшують виконання роботи виконавцю, який уже опрацював лекційний матеріал.

На рис. 3 наведені теоретичний вихідний (1) і вихідний робочий (2) рейкові контури відповідно до ГОСТ 13755-81.

Необхідно враховувати, що при виробництві зубчастих коліс поверхня вершин зубців формується завчасно – на токарному верстаті.

При моделюванні на приладі в створенні профілю бере участь і додаткова частина робочого контуру, висота якої дорівнює s^*m . Тому зубці виходять загостреними. Загострення накресленого профілю усувається після проведення кола вершин зубців.

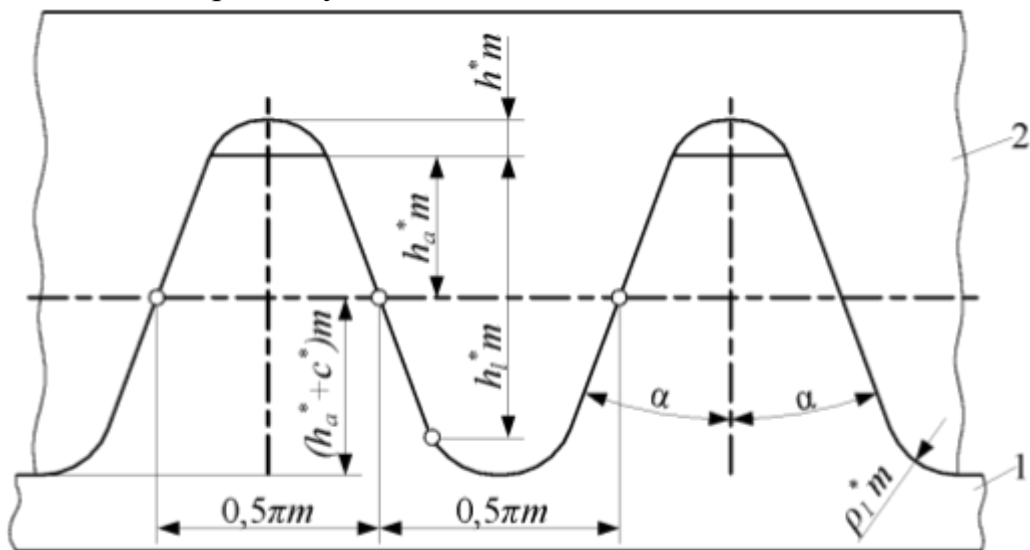


Рис. 3

3.2. З метою збереження прийнятних габаритів приладів при великих модулях на приладах профілюються колеса з малим числом зубців ($z_1 = 9 \dots 12$). Тому навіть при номінальному положенні робочої рейки добре видно підріз зубців, який усувається при додатному зміщенні рейки на величину $b_1'' = x_{\min} m$. Профілювання з від'ємним зміщенням дозволяє ще виразніше уявити вплив положення рейки на форму одержаного профілю зубця.

У розрахунок зубчастої передачі вводяться коефіцієнти зміщення x_1 та x_2 , обрані по блокуючому контуру для даної пари коліс з числом зубців z_1 та z_2 (рис. 7...18). Представлені блокуючі контури складені для прямозубих передач зовнішнього зачеплення, відповідних вихідного контуру по ГОСТ 13755-81, розрахованих за системою, що зберігає при будь-яких зміщеннях стандартний радіальний зазор $c = c^* m$ в зачепленні, і нарізаних методом обкатки інструментом рейкового типу з округленою ділянкою висотою $c^* m$ у вершини зубця.

Якщо блокуючий контур для заданого сполучення чисел зубців z_1 та z_2 відсутній, то необхідно використовувати блокуючий контур, розроблений для сполучення найближчих менших чисел зубців.

3.3. Блокуючий контур (рис. 4) являє собою сукупність ліній в плоскій системі координат x_1 та x_2 , що відокремлюють для пари коліс, які зачіпляються, з числами зубців z_1 та z_2 зону допустимих значень коефіцієнтів зміщення x_1 та x_2 від області неприпустимих через можливість появи інтерференції зубців, зниження коефіцієнта перекриття та переходу за граничне значення $\varepsilon_\alpha = 1$, загострення вершин зубців і переходу за граничне значення $S_a = 0$, надмірного підрізання зубців, зниження радіального зазору і переходу за граничний стан $c = 0$.

На рис. 4: 1 – границі інтерференції на колесі z_2 ; 2 – збіг границі активної ділянки профілю зубців з точкою початку підрізу на колесі z_1 ; 3 – межа підрізу на колесі z_1 ; 4 – лінія $\varepsilon_\alpha = 1$; 5 – границя інтерференції на колесі z_1 ; 6 – лінія $S_a = 0$; 7 – границя підрізу на колесі z_2 ; B – зона поза полюсного зачеплення.

Форма і розташування ліній блокуючого контуру залежать від числа зубців коліс, інструменту та особливостей його геометрії, виду передачі, параметрів вихідного контуру і способу визначення діаметра кола вершин.

На поле блокуючих контурів нанесені лінії, що відповідають значенням $\varepsilon_\alpha = 1,2$; $S_a = 0,25m$; $S_a = 0,4m$, а також лінії якісних показників: лінії зміщень, що забезпечують рівномірність зубців по згину і, отже, згибну міцність, близьку

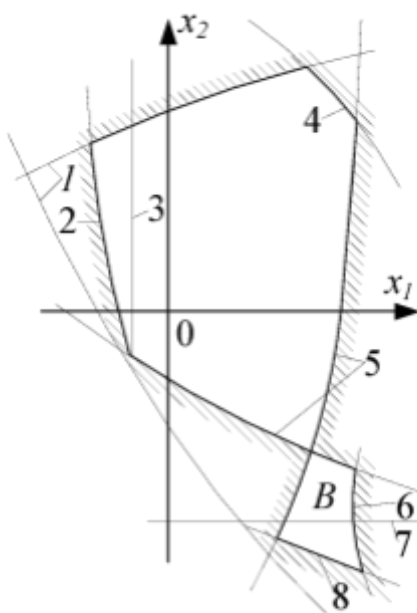


Рис. 4

до максимальної при однаковому матеріалі і термообробці коліс, які зачіпляються („а” при ведучому z_1 , „б” при ведучому z_2); лінія зміщень, що вирівнюють максимальні питомі ковзання на обох колесах ($\eta' = \eta''$); лінія зміщень, що забезпечують розташування полюса в зоні двохпарного зачеплення ($\delta = 0$, $\delta = 0,6m$, δ – відстань між полюсом і границею двохпарного зачеплення, виміряне по лінії зачеплення).

Перед тим як скористатися блокуючими контурами, необхідно відповідно до зазначеного призначення передачі встановити найбільш ймовірні види пошкодження, гранично допустимі значення коефіцієнта торцевого перекриття ε_α і товщини зубця на колі вершин S_α , допустимість підрізання, необхідність округлення міжосьової відстані. На основі цих вимог всередині блокуючого контуру виділяють більш вузький контур, обмежений лініями інтерференції, гранично допустимого підрізання і лініями граничних значень ε_α та S_α . Шукані коефіцієнти x_1 та x_2 будуть знаходитися всередині або на кордоні отриманої області. При цьому вибір конкретних значень x_1 та x_2 повинен проводитися з урахуванням решти вимог.

Наприклад, якщо розрахунок ведеться при вільній міжосьовій відстані (без округлення до стандартної величини), то для проектування передачі з максимальною контактної міцністю необхідно в зоні додатніх значень x_1 та x_2 провести дотичну до отриманої області під кутом 45° до осей координат. Координати точки дотику дають шукані значення x_1 та x_2 .

Якщо для підвищення контактної міцності потрібно додатково використовувати ефект, одержуваний при розміщенні полюса в зоні двохпарного зачеплення, то необхідно для знаходження коефіцієнтів зміщення провести на полі контуру пряму під кутом 45° до осей, найбільш віддалену від початку координат, але яка перетинає зону двохпарного зачеплення контуру.

Для вибору коефіцієнтів зміщення, що забезпечують близьку до максимальної згинальну міцність зубців, слід при ведучому колесі z_1 , рухатися по лінії «а», а при провідному колесі z_2 – по лінії «б» вгору до перетину з кордоном отриманої області допустимих значень x_1 та x_2 .

Для проектування передачі, найбільш стійкої проти заїдання і абразивного зношування, необхідно вибрати коефіцієнти зміщення, що забезпечують найменше значення питомого ковзання. При цьому слід рухатися по лінії $\eta' = \eta''$ вправо і вгору до перетину з межею допустимої області значень x_1 та x_2 .

Значення коефіцієнтів зміщення x_1 та x_2 , відповідних передачам з максимальними значеннями ε_α , визначаються координатами точок, розташованих в лівому нижньому кутку блокуючого контуру.

3.4. За наявності чіткого уявлення про сутність методу виготовлення зубчастих коліс рейковим інструментом і про основні параметри вихідного робочого контуру всі розрахункові формули можуть і повинні сприйматися як логічно осмислені вирази.

Найважчим і тому вимагає підвищеної уваги є з'ясування поділу суми зміщень рейки на зміщення, яке сприймається і яке зрівнюється. У цьому сенсі самостійно проведений аналіз рівноцінних формул для отримання величин h (висота зубця) та a_w (міжосьова відстань) може виявитися вельми корисним. Тому, виконуючи перевірку значень h та a_w , необхідно не тільки домагатися необхідного результату, але і намагатися зрозуміти сутність аналітичних залежностей.

Це відноситься і до всіх інших формул, що використовуються при розрахунку розмірів коліс і передачі.

4. Обсяг і послідовність роботи

4.1. Відповідно до отриманого номеру варіанта завдання на виконання лабораторної роботи виписати з табл. 1 вихідні дані: номер приладу, модуль (m , мм), діаметр дільного кола шестерні (d_1 , мм), передаточне число (u), відомості про призначення проекрованої передачі. Визначити числа зубців шестерні (z_1) і колеса (z_2).

4.2. Виходячи із зазначеного призначення передачі, встановити найбільш ймовірний вид пошкодження (викришування робочих поверхонь, поломка, абразивне зношування і заїдання зубців), гранично допустимі значення коефіцієнта торцевого перекриття ε_α ($\geq 1,1; \geq 1,2$) і окружної товщини зубців на колі вершин S_α ($\geq 0,25m; \geq 0,4m$), допустимість підрізання зубців, необхідність дотримання стандартного значення міжосьової відстані.

4.3. За блокуючим контуром (рис. 7...18) вибрати коефіцієнти зміщення x_1 та x_2 , керуючись рекомендаціями, викладеними в п. 3.3.

4.4. Відповідно до протоколу розрахувати розміри зубчастих коліс і передачі. Перевірити достовірність результатів розрахунку шляхом обчислення висоти зубця h і міжосьової відстані a_w за різними формулами.

4.5. Викреслити схему зачеплення (рис. 5), виконуючи при цьому таку послідовність побудов в стандартному масштабі:

- провести лінію центрів і відкласти на ній міжосьову відстань a_w (відрізок O_1O_2);
- з центрів O_1 і O_2 провести основні кола коліс (r_{b1} і r_{b2}), окружності вершин (r_{a1} і r_{a2}) і кола западин (r_{f1} і r_{f2});
- провести лінію зачеплення N_1N_2 , дотичну до основних кіл, і опустити на ній перпендикуляри O_1N_1 і O_2N_2 ;
- зафіксувати положення полюса зачеплення Π (точка перетину лінії зачеплення N_1N_2 з лінією центрів O_1O_2) і провести початкові кола, що дотикаються в т. Π ;
- відзначити точки a і b активної лінії зачеплення;
- на побудованій схемі зачеплення заміряти кут зачеплення α_w ($\angle N_1O_1\Pi$ і $\angle N_2O_2\Pi$), радіальні зазори між западинами зубців шестерні і вершинами зубців колеса c_1 і між западинами колеса і вершинами шестерні c_2 , радіуси

початкових кіл r_{w1} і r_{w2} (відрізки O_1P і O_2P), довжину активної лінії зачеплення g_α (відрізок ab). З огляду на масштаб побудови, визначити істинні значення довжин заміряних відрізків і зіставити їх з розрахованими величинами.

4.6. Отримати прилад ТММ-42, відповідний завданням номера, і ознайомитися з його складом (п.2).

4.7. Для порівняння профілів зубців колеса 1, яке нарізується, визначити чотири значення коефіцієнтів зміщення x_1 і зміщення b_1 вихідної робочої рейки:

$$x'_1 = 0 ; \quad b'_1 = x'_1 m = 0 ;$$

$$x''_1 = x_{1\min} = \frac{17 - z_1}{17} ;$$

$$b''_1 = x''_1 m_{\text{мм}};$$

$$x'''_1 = -x'' ; \quad b'''_1 = -b''_{\text{мм}};$$

x_1 – (вибрано по блокуючому контуру, п. 4.3)

$$b_1 = x_1 m_{\text{мм}}.$$

4.8. Підібрати паперове коло - «заготовку», діаметр якого вказано на верхньому диску «А» приладу.

4.9. Розділити «заготовку» діаметральними лініями на чотири частини - квадранти.

4.10. Закріпити «заготовку» на диску «А» за допомогою накладки 11 і гвинта 12. Центра паперового кола повинен знаходитися на центральній голці диска.

4.11. Послабити гвинти 5, встановити рейку 4 в номінальному положенні, при якому зміщення $b_1 = 0$.

4.12. Закріпити гвинти 5, перемістити планку 3 разом з рейкою в крайнє праве положення (в режимі холостого ходу).

4.13. Послабити гнучкий зв'язок 2 за допомогою рукоятки 10, повернути «заготовку» до накладання крайнього лівого зубця рейки на лівий край одного з квадрантів «заготовки». Повільне обертання рукоятки 10 необхідно повністю припинити, як тільки подвійний диск з «заготовкою» почне прослизати при невеликому зусиллі.

4.14. Натягнути нитку 2 обертанням рукоятки 10 за годинниковою стрілкою.

4.15. Здійснити профілювання («нарізування») зубців в режимі робочого ходу рейки. Для цього необхідно гостро заточеним олівцем обвести всі зубці рейки, що потрапили в призначений квадрант, після кожного переміщення рейки в режимі робочого ходу. Профілювання припиняють після переміщення робочої рейки в крайнє ліве положення.

4.16. Послідовно провести профілювання зубців для всіх зміщень рейки. У другому квадраті $b''_1 = x''_1 m$, в третьому квадранті $b'''_1 = -b''_1$ і в

четвертому квадранті $b_1 = x_1 m$. Обов'язково в кожному квадранті записати відповідні значення x_1 і b_1 (див. рис. 6).

4.17. Зняти «нарізану» заготовку з приладу.

4.18. На паперовому диску з «нарізаними» зубцями накреслити кола, обчислені для зубчастого колеса (шестерні) 1: ділильну і основну (спільні для даного колеса при будь-якому положенні робочої рейки - наносяться у всіх чотирьох квадрантах); кола вершин і западин (наносяться тільки в четвертому квадранті).

4.19. Виміряти за профілями зубців, отриманим в четвертому квадранті, радіус кола западин r_{f1} , хорду $\bar{S}_1$ по ділильному колу і товщину зубця по дузі кола вершин S_{a1} . Результати замірів порівняти з відповідними розрахунковими значеннями.

Варіанти вихідних даних Таблиця 1

Варіанти приладів ТММ-42															
Номер приладу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Модуль m , мм	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16
Діаметр ділильного кола d_1 , мм	117	130	143	156	126	140	154	168	135	150	165	180	144	160	176

Варіанти передаточних чисел									
№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>u</i>	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,1	4,0	5,0	6,3

Варіанти застосування передач	
№№	Призначення передачі
1	Закрита, загального призначення
2	Закрита, високошвидкісна
3	Закрита, високонавантажена, середньошвидкісна
4	Відкрита, тихохідна, загального призначення
5	Відкрита, тихохідна, високонавантажена
6	Відкрита, кінематична

Варіант вихідних даних позначається трьома числами:

- перше число – номер варіанту приладу;
- друге число – номер варіанту передаточних чисел;
- третє число – номер варіанту застосування передачі.

Наприклад: варіант: 2-5-6

прилад №2, $m = 13$ мм, $d_1 = 130$ мм;

передаточне число $u = 2,5$;
 передача – відкрита, кінематична.

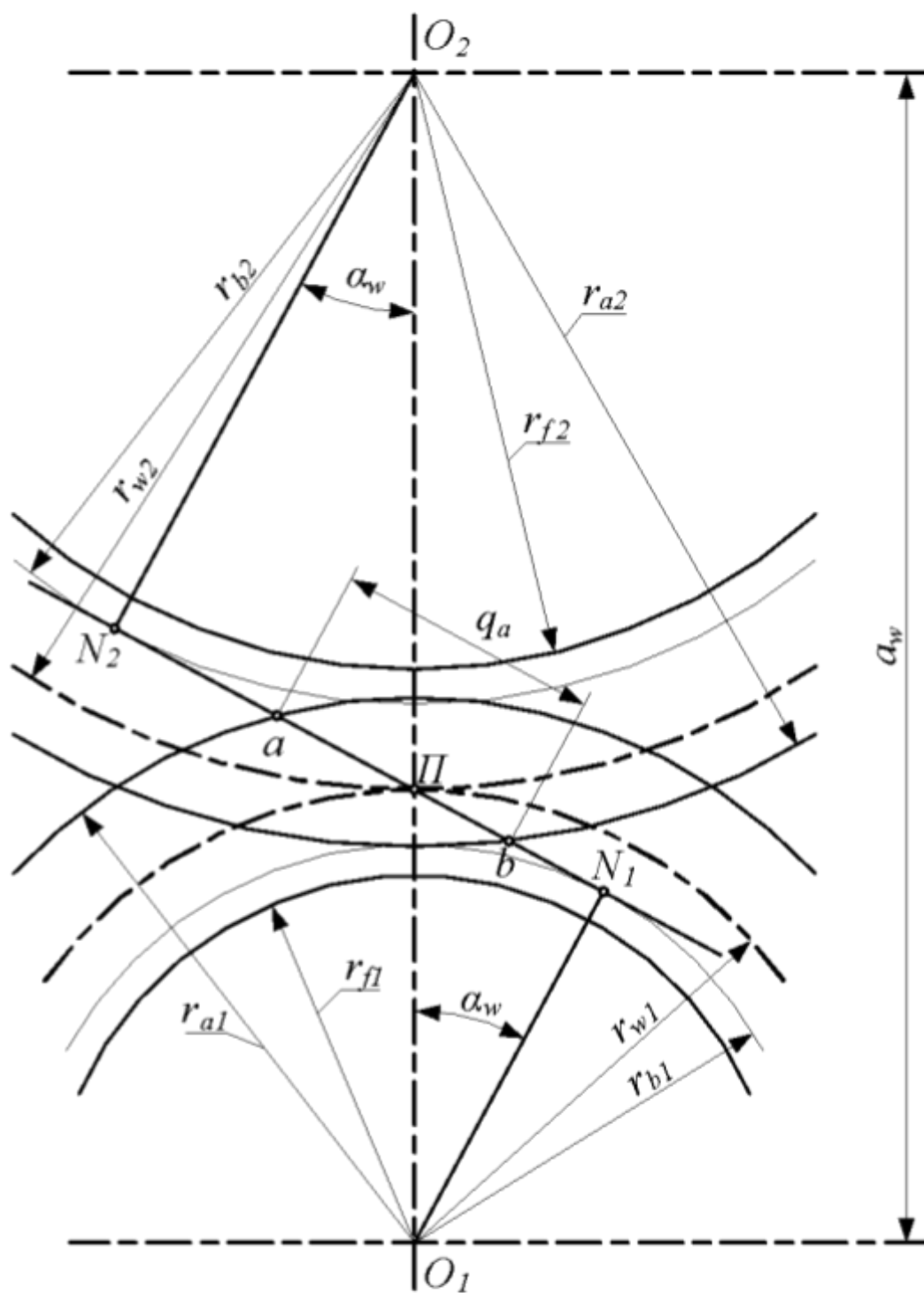


Рис. 5

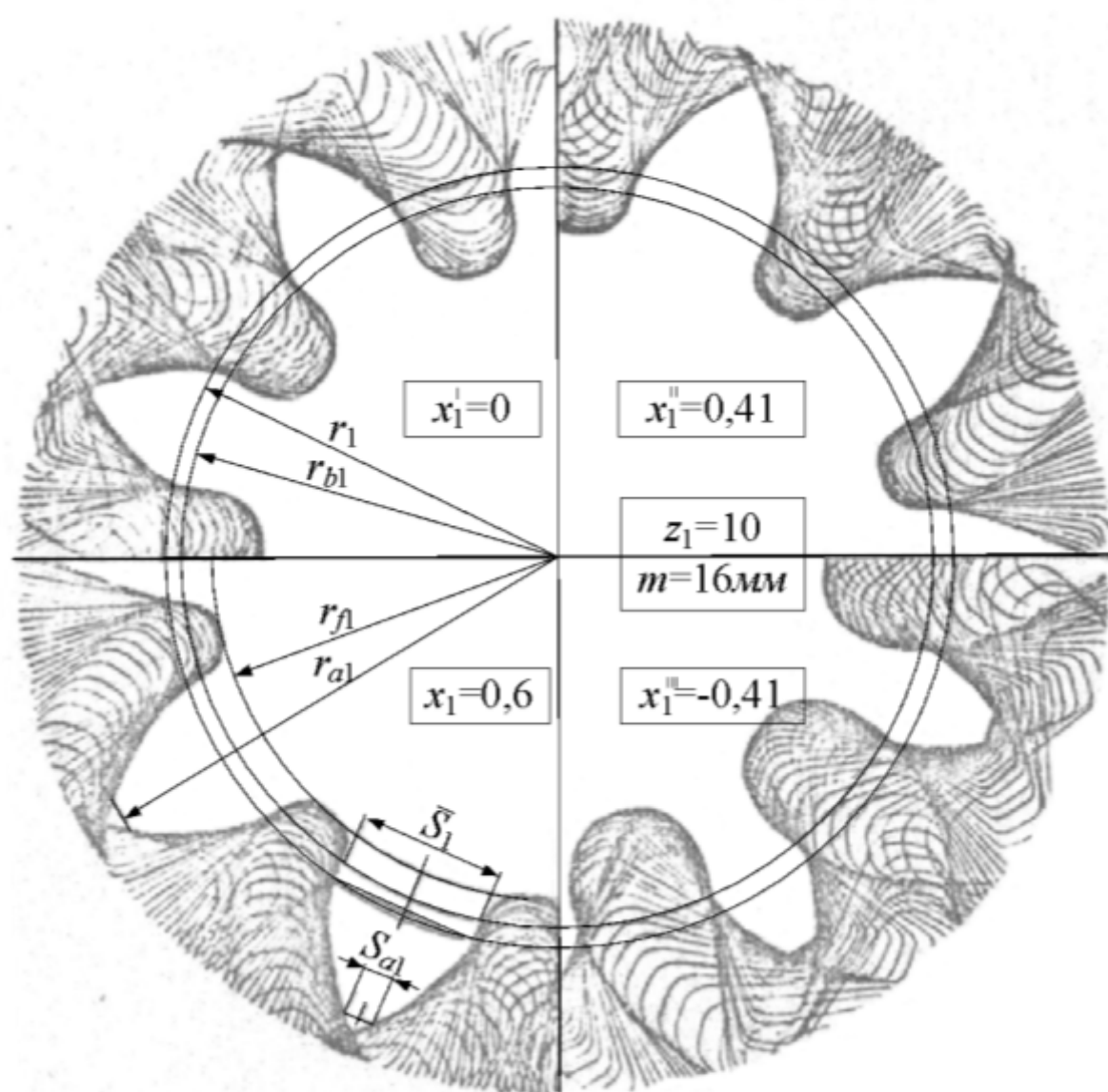


Рис. 6

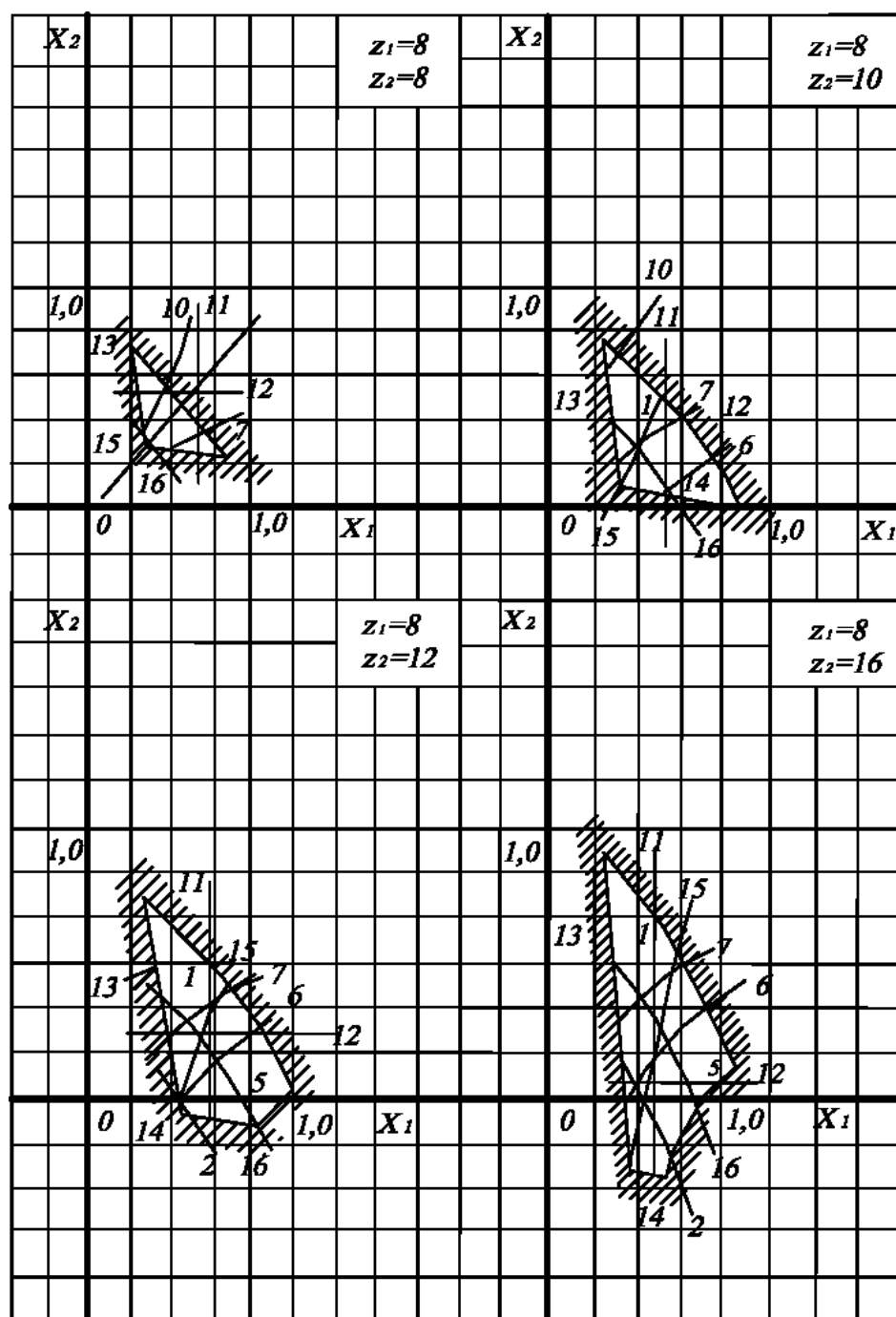


Рис. 7.

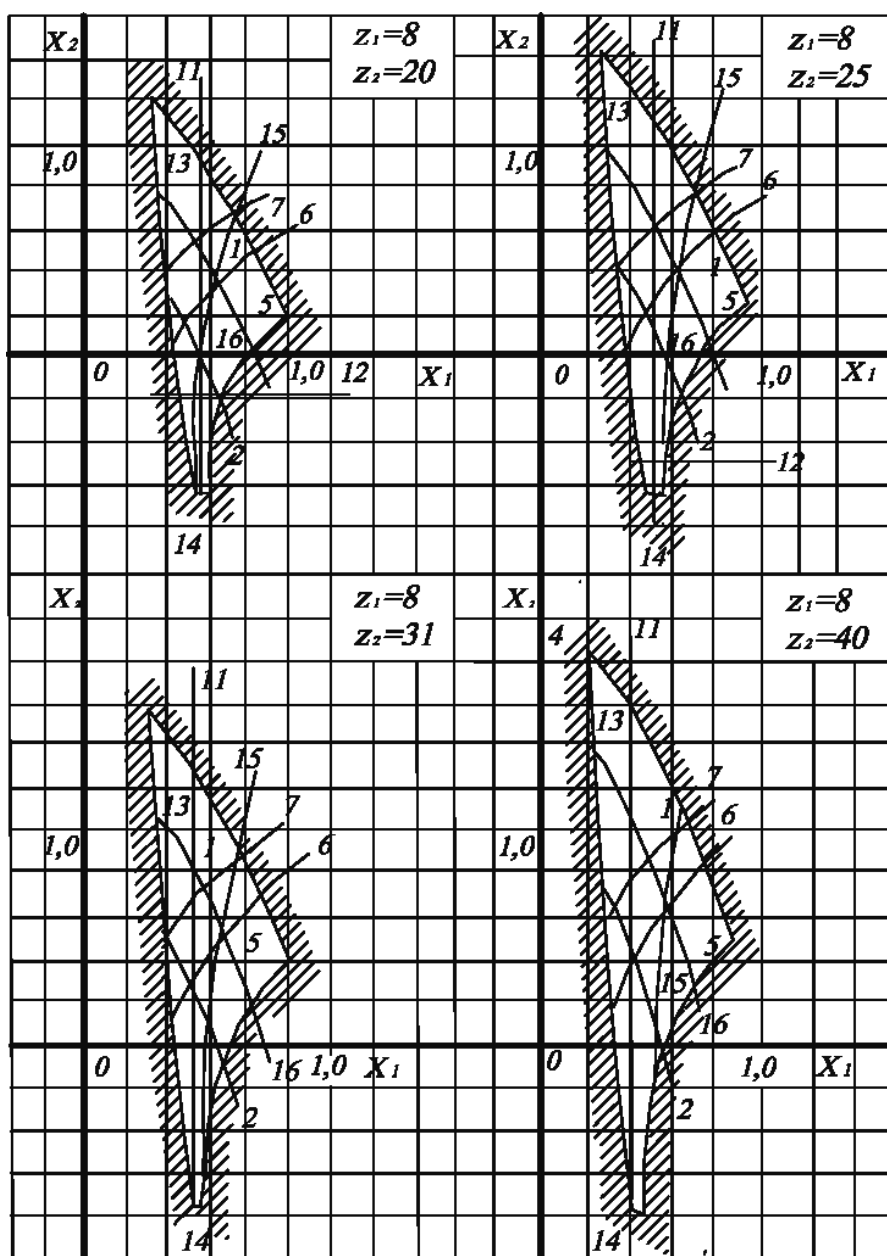


Рис. 8.

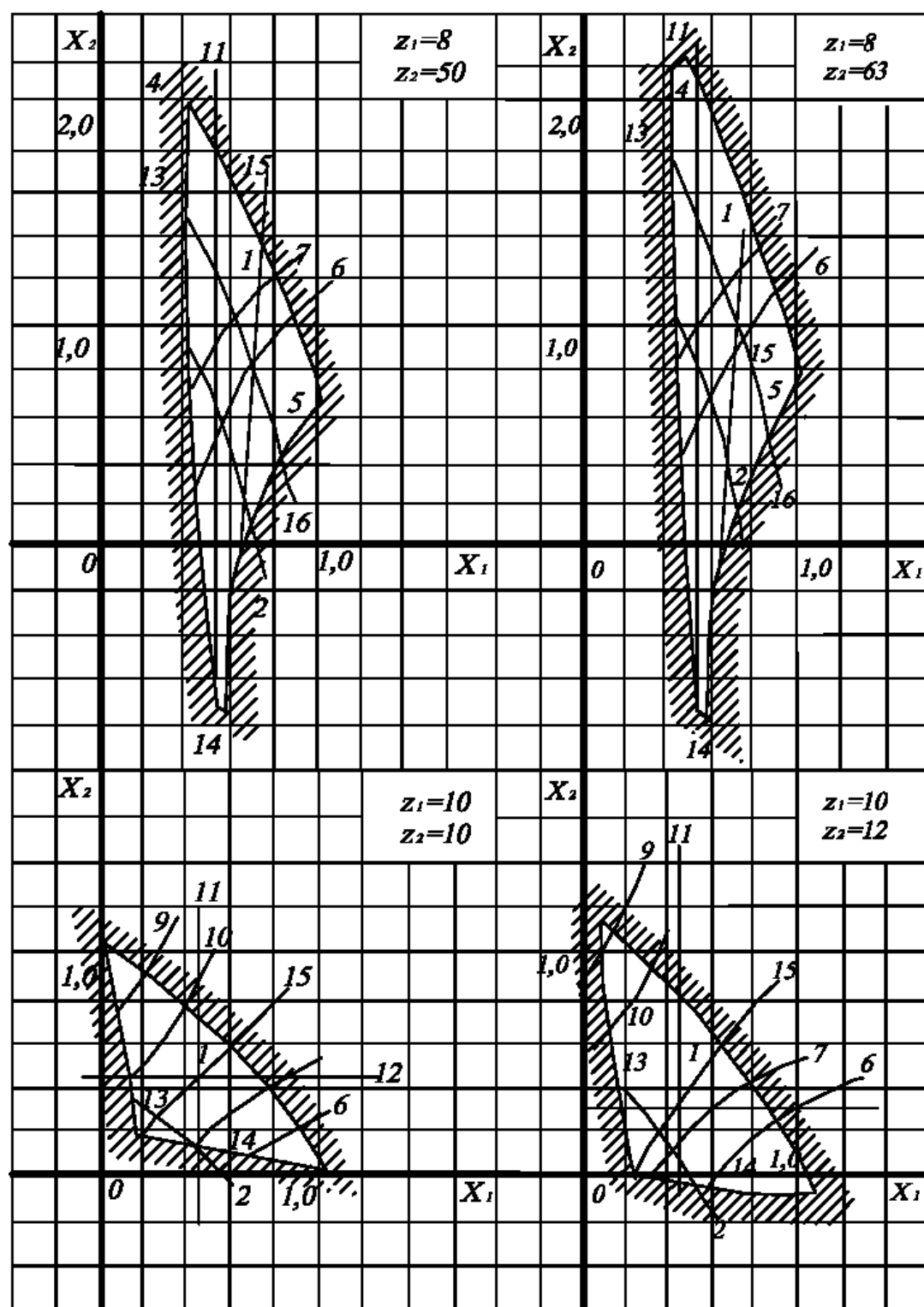


Рис. 9.

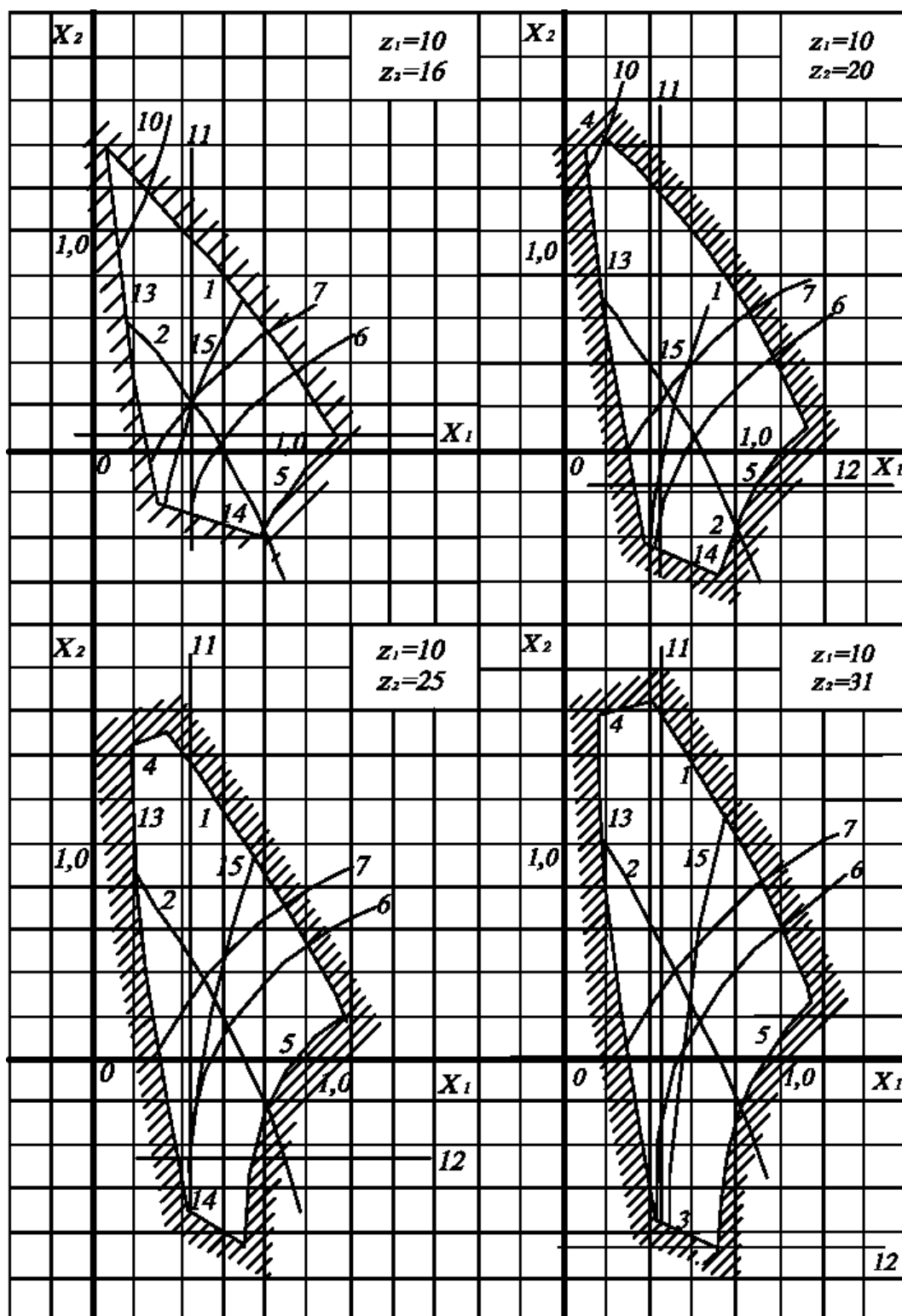


Рис. 10.

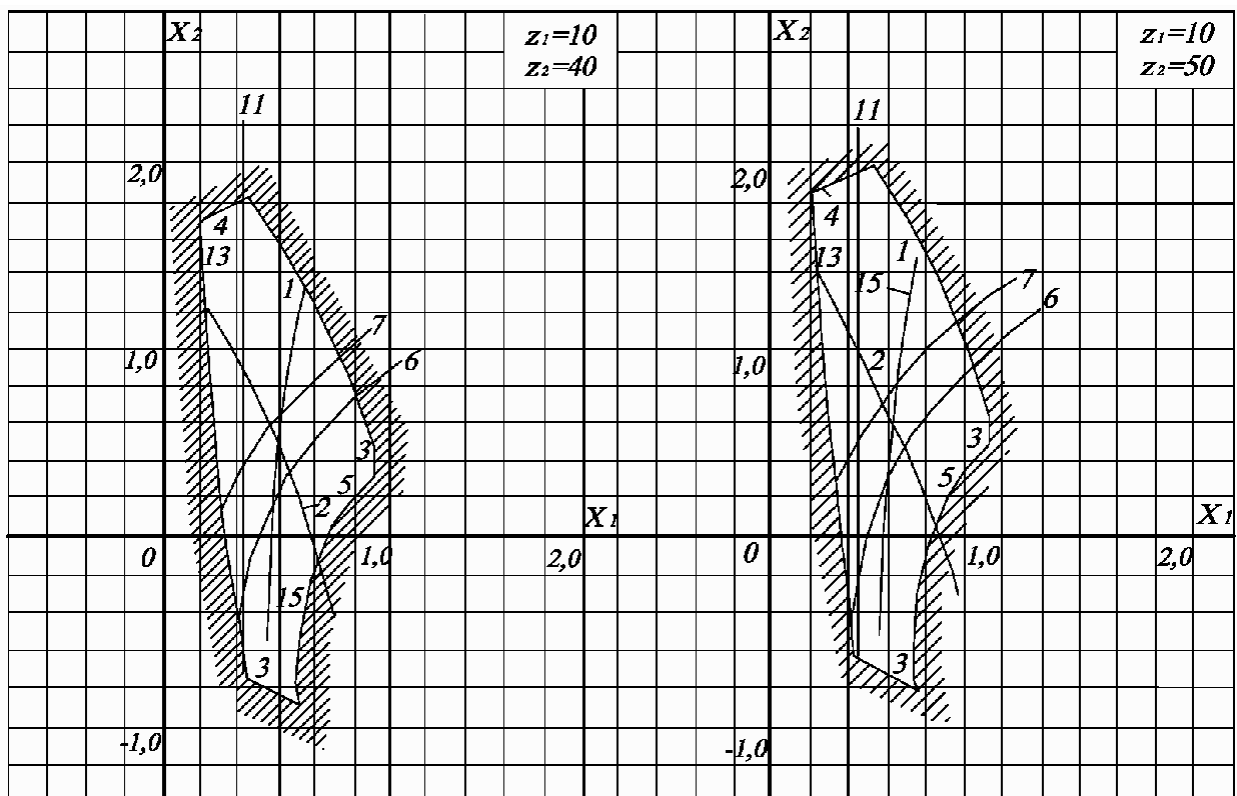


Рис. 11.

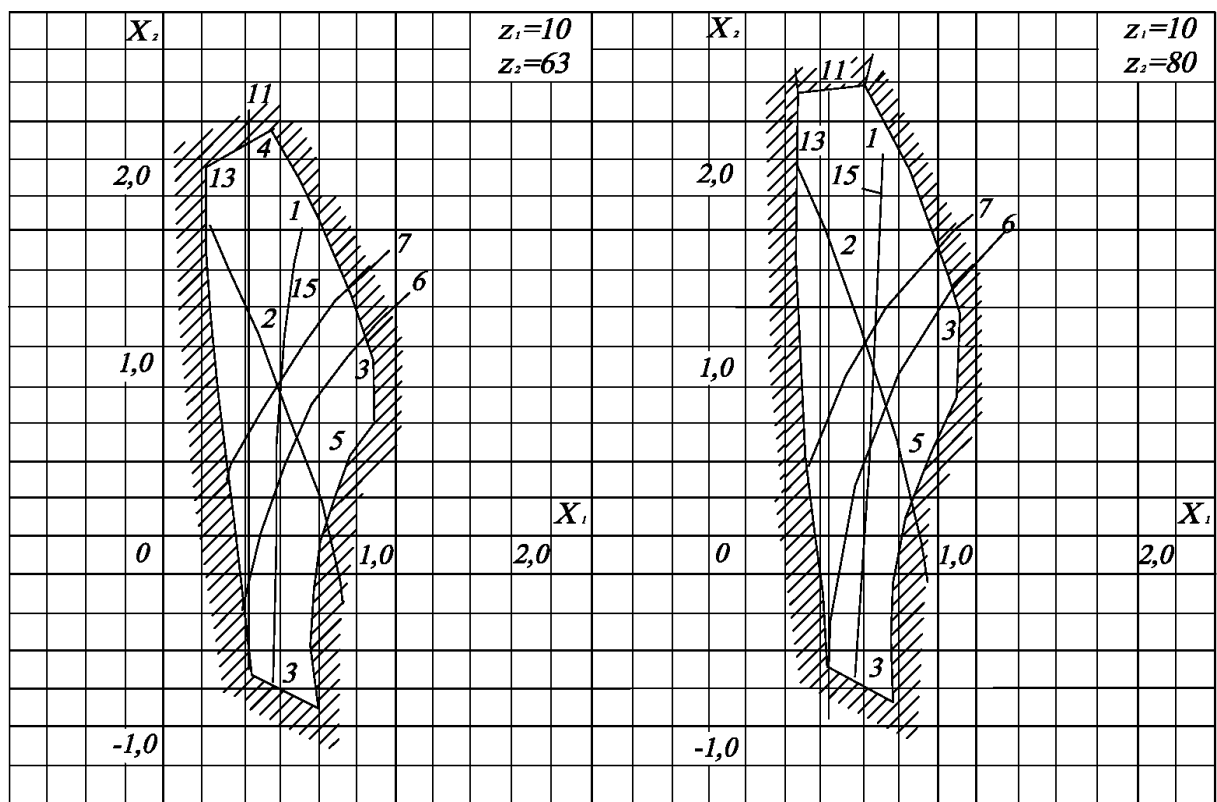


Рис. 12.

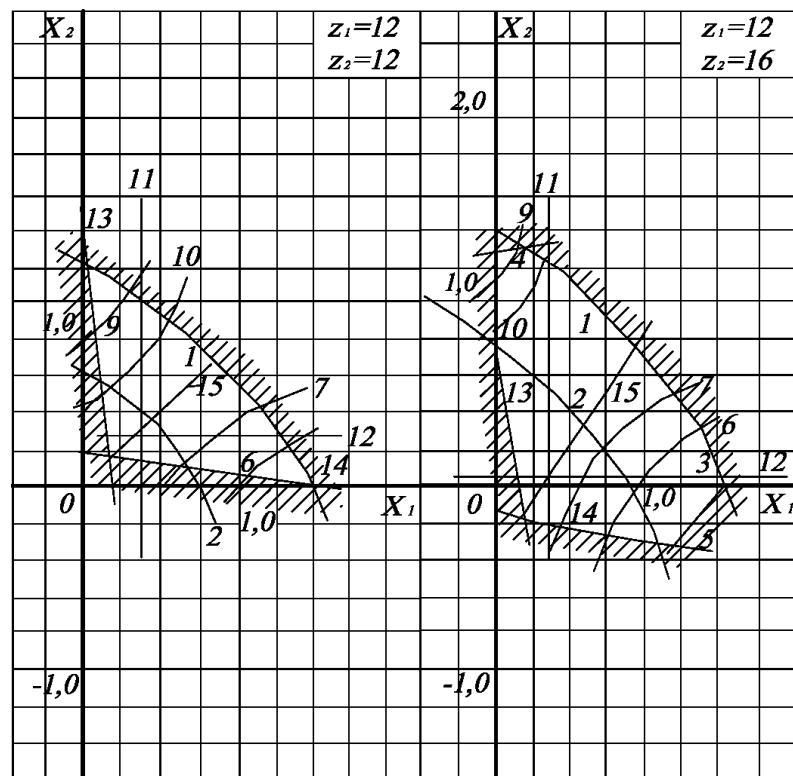


Рис. 13.

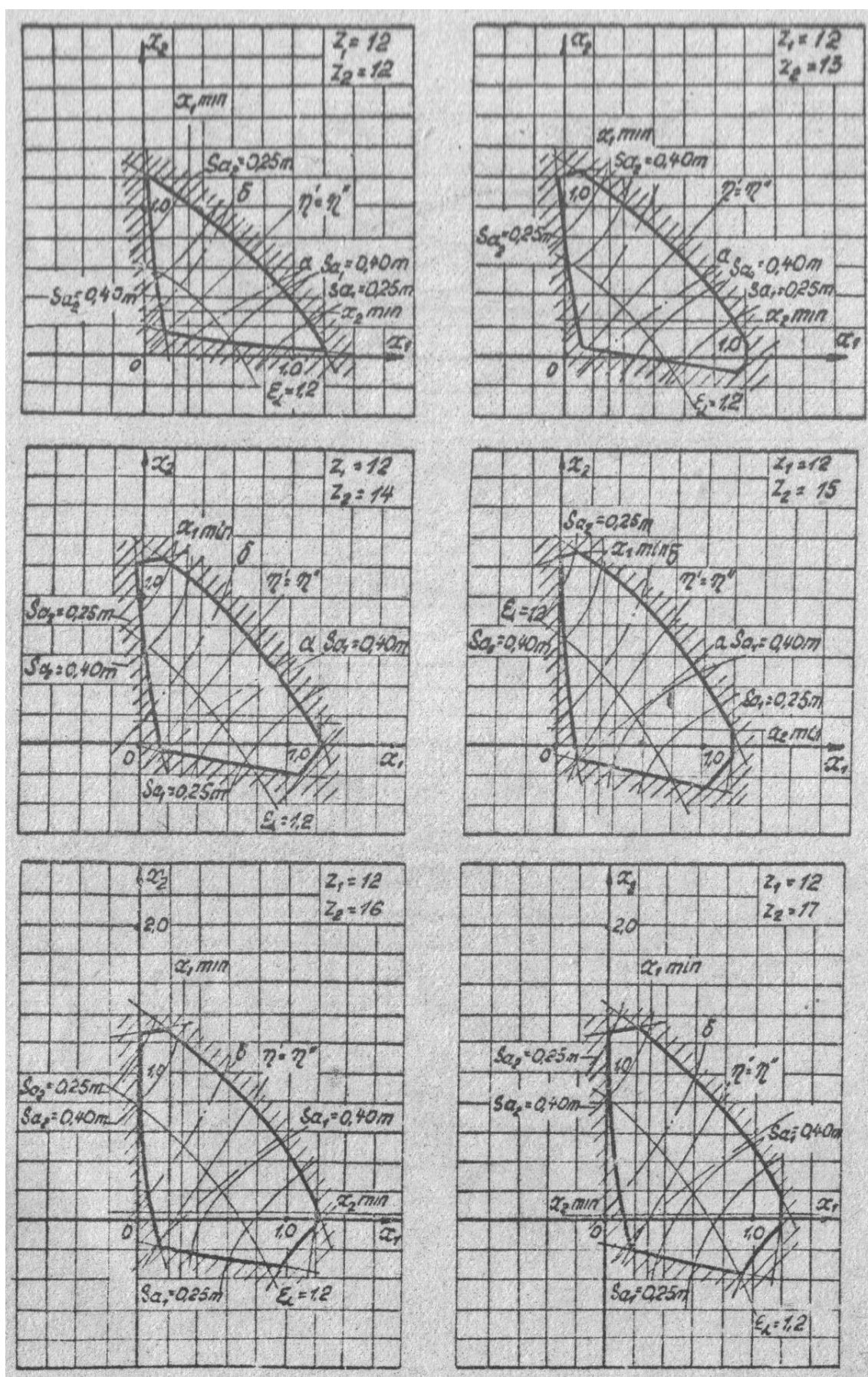


Рис. 13а.

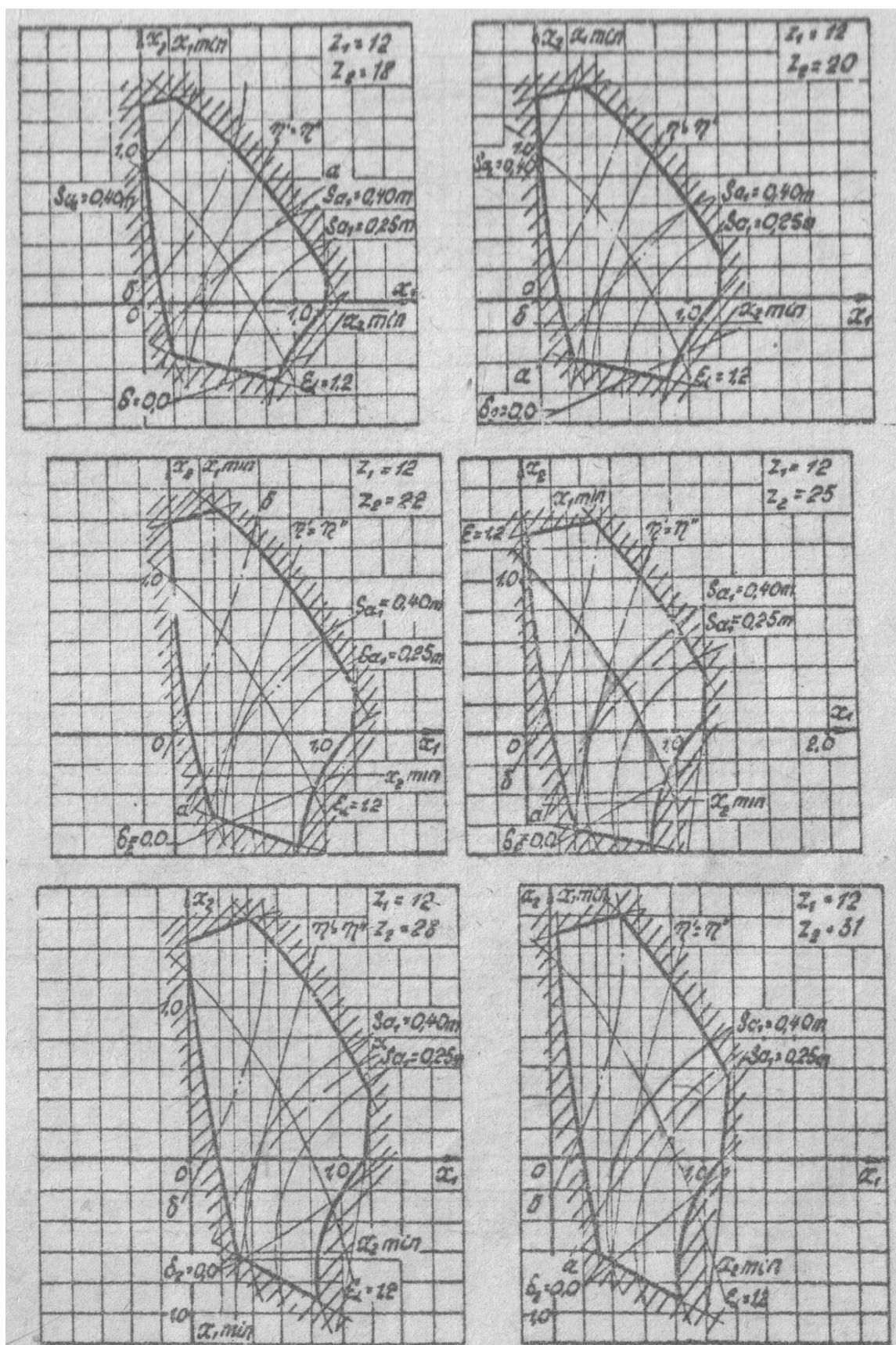


Рис. 136.

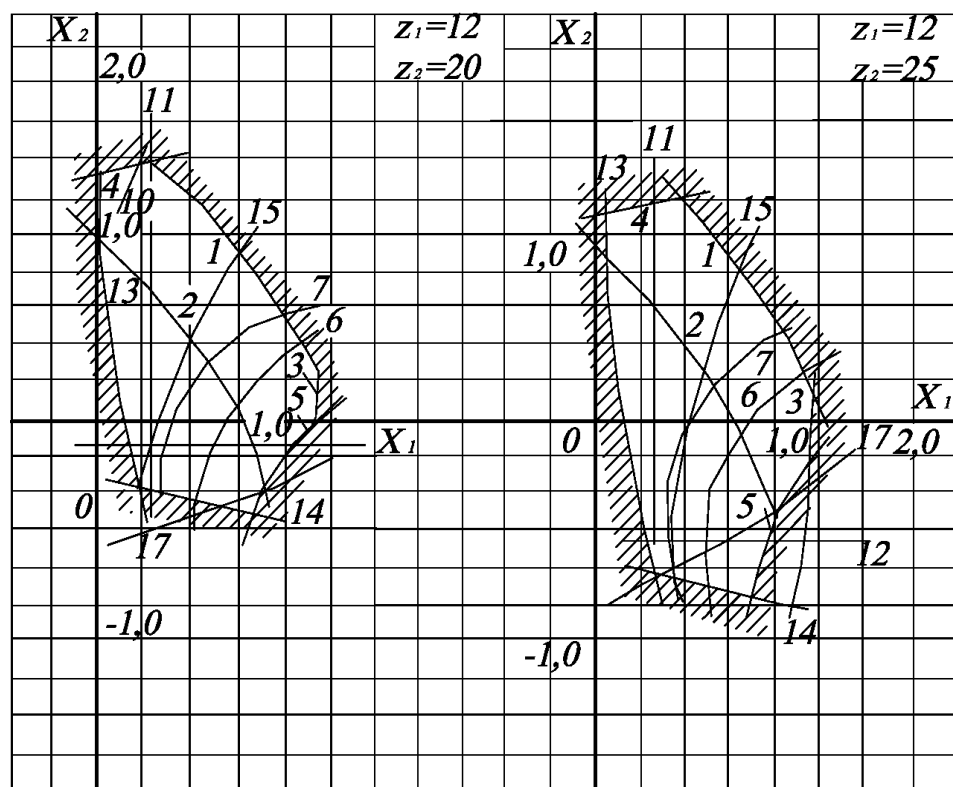


Рис. 14.

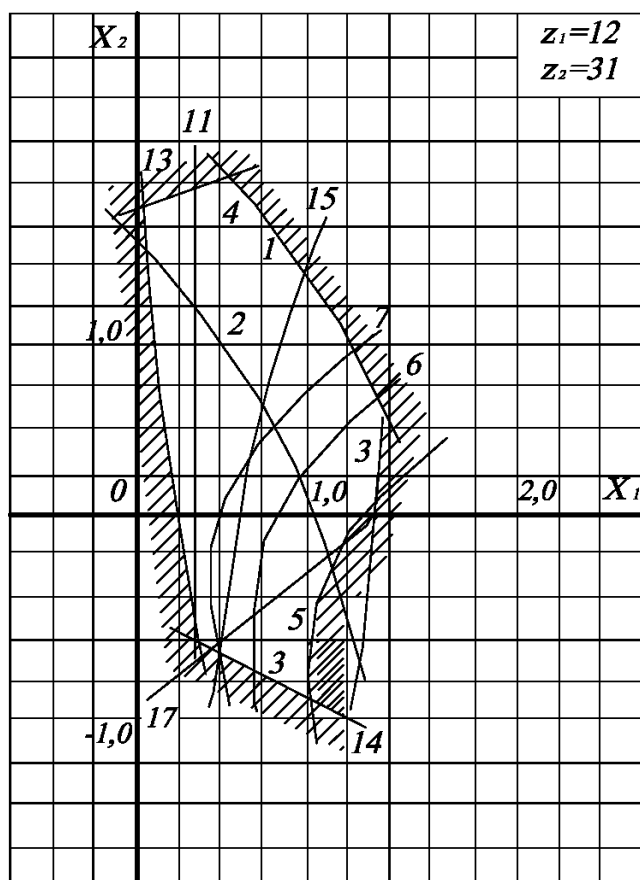


Рис. 15.

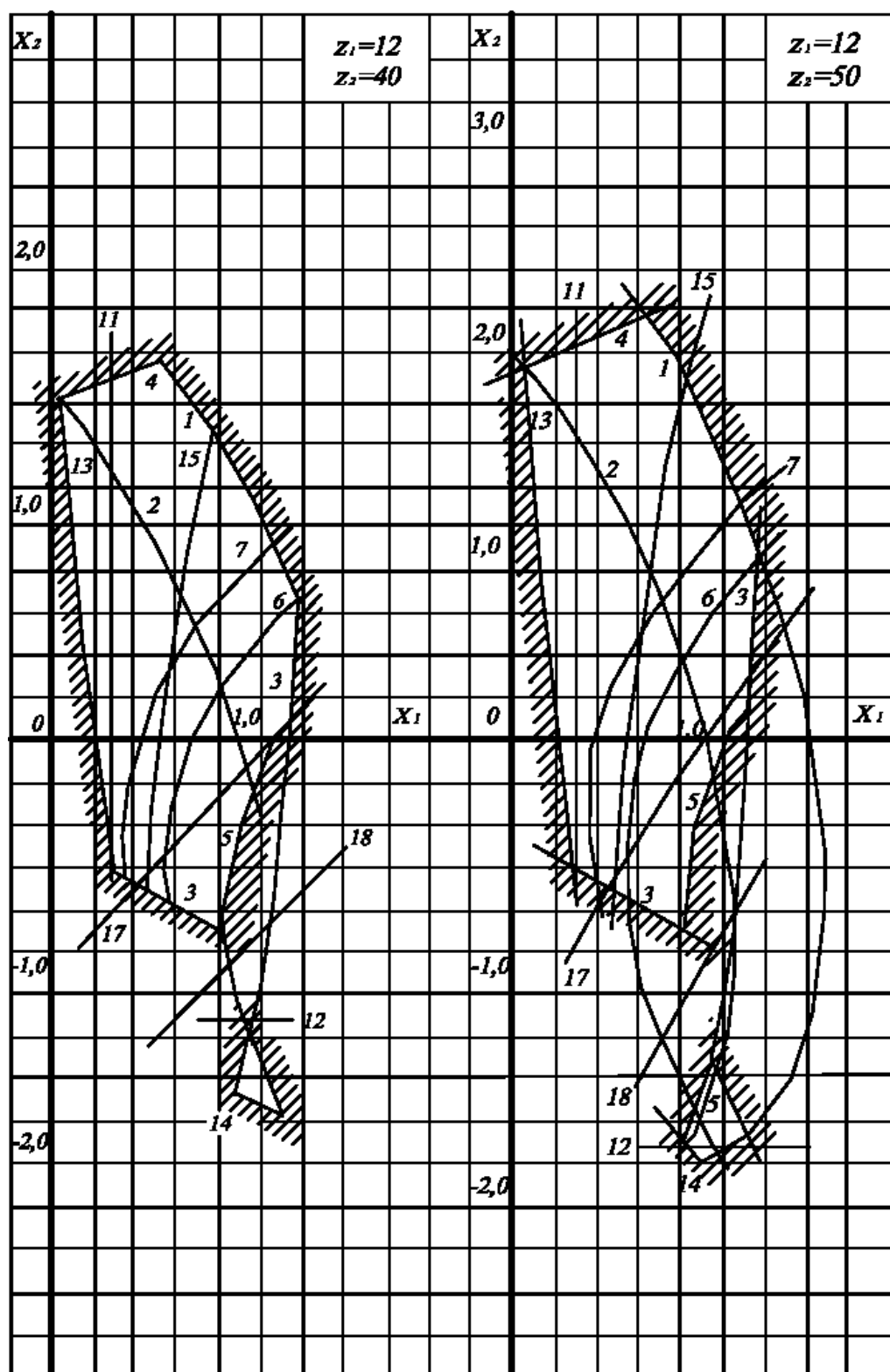


Рис. 16.

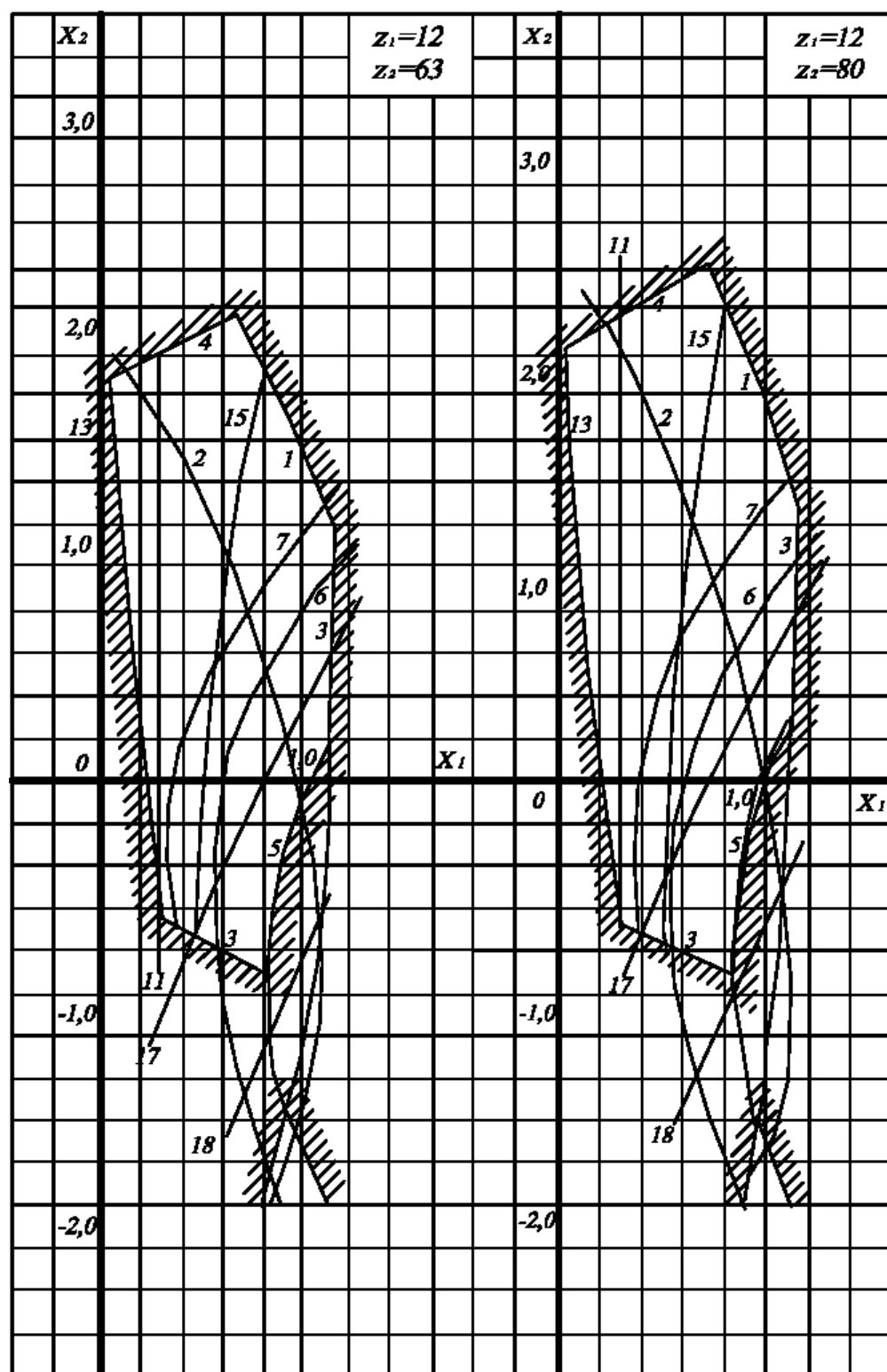


Рис. 17.

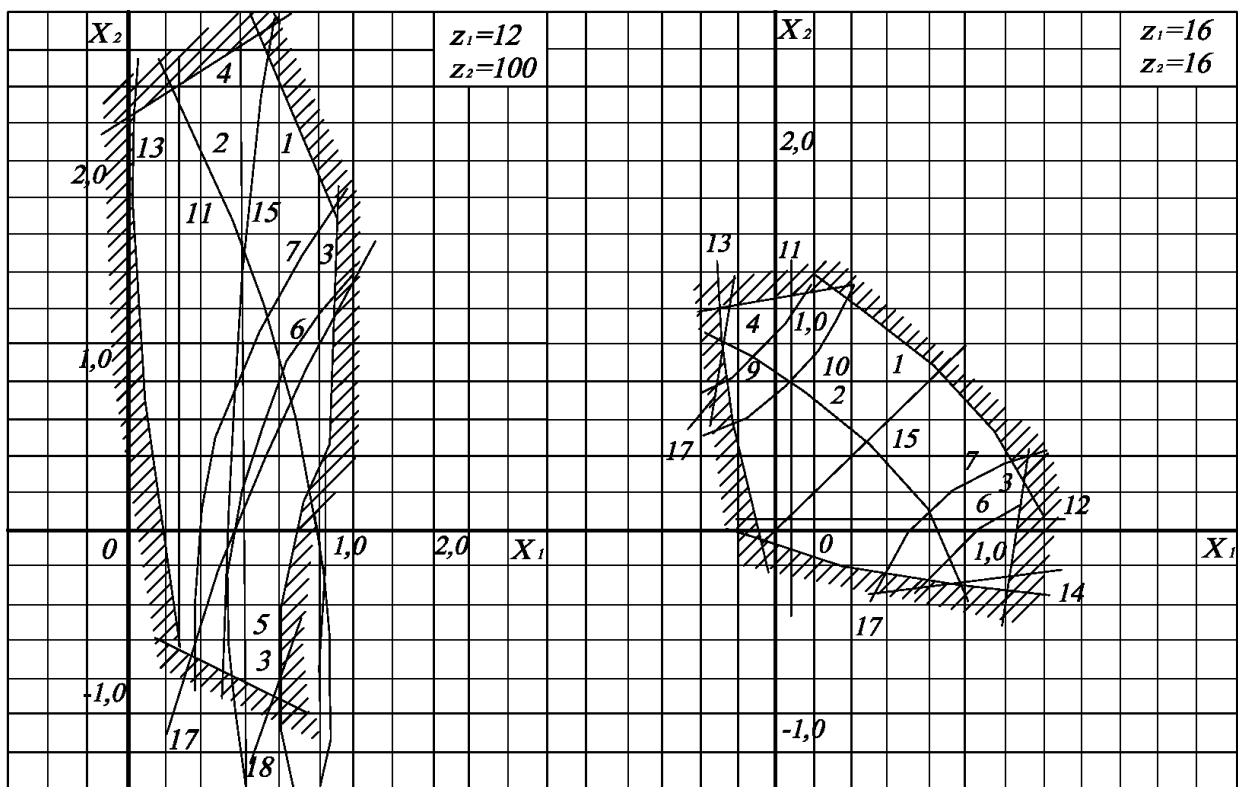


Рис. 18.

Номограма для визначення допоміжної величини Γ при заданому

коефіцієнті сум зміщень $x_{\Sigma} (\alpha = 20^\circ; x_{\Sigma} > 0)$, $B = \frac{1000x_{\Sigma}}{z_1 + z_2}$,

$$\Gamma = B - 500 \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \gamma} - 1 \right), \text{ де } \operatorname{inv} \gamma = B \frac{\operatorname{tg} \alpha}{500} + \operatorname{inv} \alpha$$

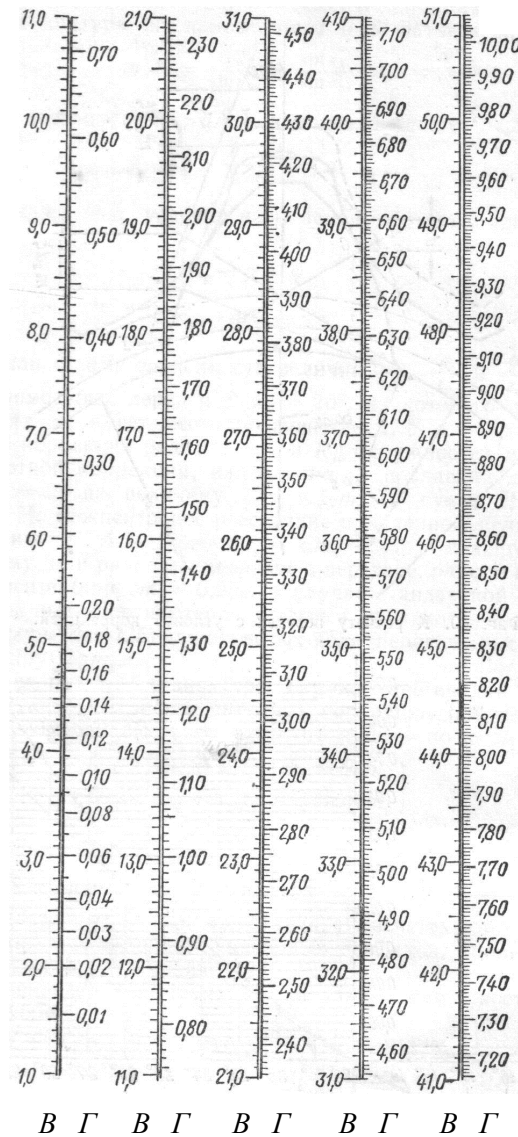


Рис. 19.

Приклад. Дано: $z_1 = 9$; $z_2 = 26$; $m = 6$ мм; $\beta = 22^\circ$; $x_1 = 0,587$; $x_2 = 0,300$

$$B = \frac{1000x_{\Sigma} \cos \beta}{z_1 + z_2} = \frac{1000 \cdot 0,887 \cdot 0,927}{35} = 23,49$$

Розрахунок:

За номограмою визначаємо $\Gamma = 2,83$

Номограма для визначення величини α_w в залежності від x_Σ та $z_1 + z_2$
 ($\alpha = 20^\circ$; $x_\Sigma > 0$)

$$\text{inv} \alpha_w = B \frac{\text{tg} \alpha}{500} + \text{inv} \alpha$$

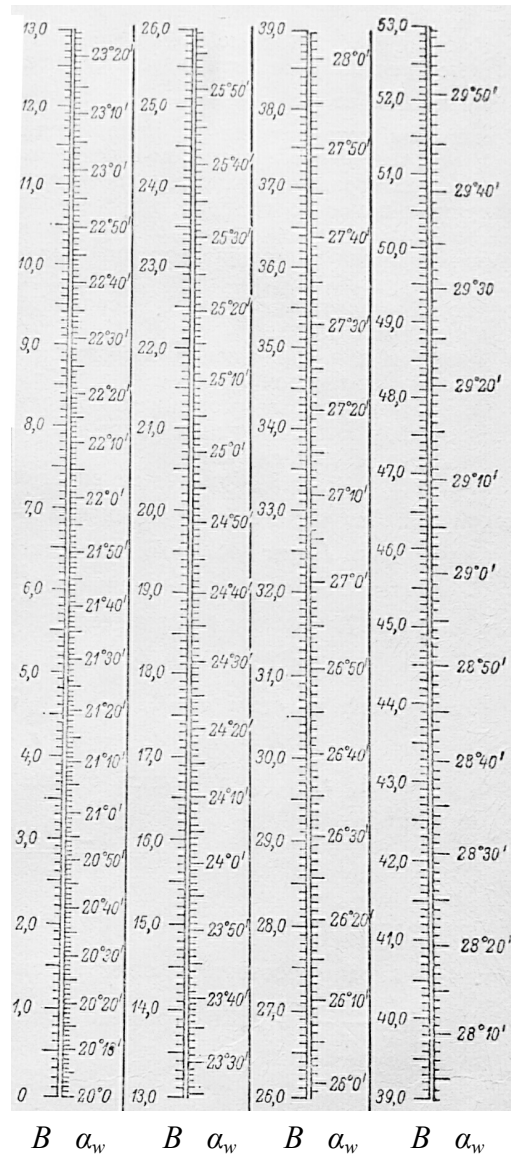


Рис. 20.

Приклад. Дано: $z_1 + z_2 = 50$; $x_\Sigma = 1,154$

Розрахунок:

$$B = \frac{1000 x_\Sigma}{z_1 + z_2} = \frac{1000 \cdot 1,154}{50} = 23,08$$

За номограмою визначаємо $\alpha_w = 25^\circ 27'$

Номограма для визначення окружної товщини зубця на колі вершин еквівалентного зубчастого колеса, вираженої в частках модулю

$$S_a^* (\alpha = 20^\circ; h_a^* = 1)$$

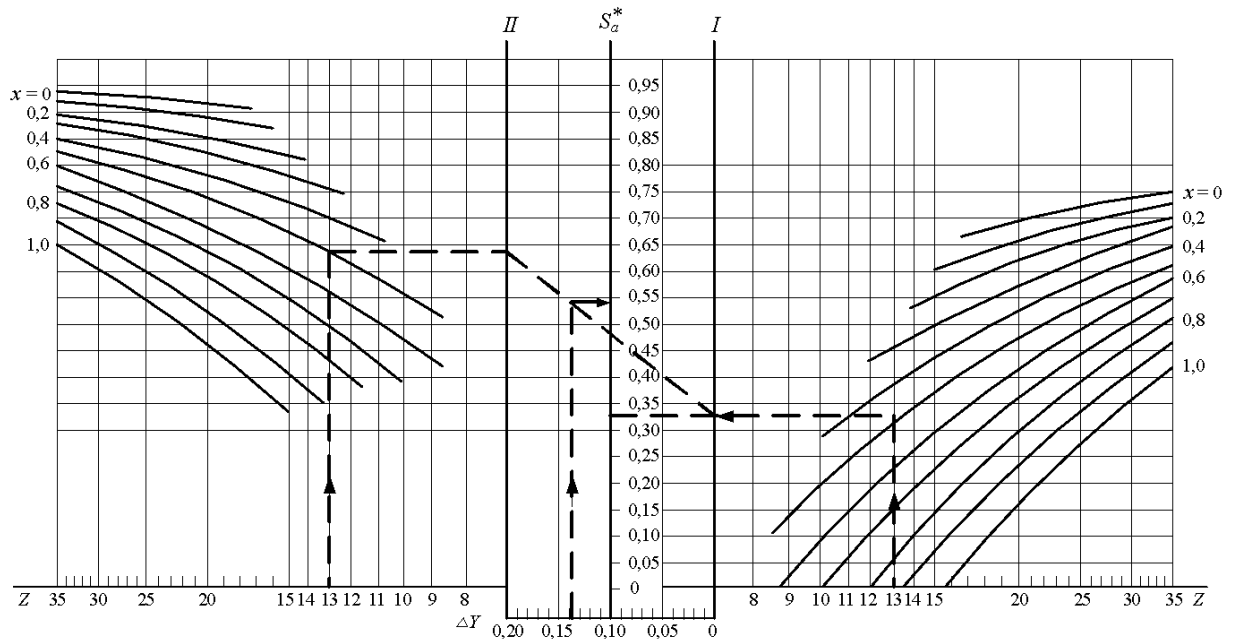


Рис. 21.

- Приклади:
1. Дано: $z = 13$; $x = 0,5$; $\Delta y = 0,14$. На правій і лівій частинах номограми за значеннями $z = 13$ та $x = 0,5$ знаходимо точки на осях I і II, з'єднуємо їх прямою і за значенням $\Delta y = 0,14$ отримуємо величину $S_a^* = 0,54$ (див. пунктир).
 2. Дано: $z = 13$; $x = 0,5$; $\Delta y = 0$. Користуючись правою частиною номограми і продовжуючи пунктир за вісь I, отримуємо величину $S_a^* = 0,32$ (див. пунктир).

5. Домашнє завдання

1. Оформити протокол в робочому зошиті дисципліни.
2. Додати до протоколу паперове коло з накресленими профілями зубців.
3. Визначити число зубів нарізаної шестерні.
4. Встановити вимоги щодо проектування передачі.
5. Розрахувати геометричні розміри коліс.
6. Розрахувати параметри передачі.
7. Накреслити у масштабі схему зачеплення.
8. Порівняти результати розрахунків і графічних побудов.

6. Контрольні запитання

1. Що називається лінією зачеплення і дугою зачеплення?
2. Що називається модулем?
3. Які окружності називаються ділильними?
4. У чому полягає явище підрізання зубців?
5. Які існують методи нарізання евольвентних коліс?
6. У чому перевага косозубих і шевронних коліс?

Список літератури

1. Кіницький Я.Т. Практикум із теорії механізмів і машин / Я.Т. Кіницький. – Львів: Афіша, 2002. – 500 с.
2. Мотулько Б.В. Теорія механізмів і машин. Проектування / Б.В. Мотулько, С.С. Гутиря. – Одеса: Фенікс, 2005. – 182 с.
3. Покора М.І., Теліс Й.Я. Нікіфоров І.П. Учебно-методичний посібник «Теорія механізмів і машин» / М.І. Покора, Й.Я. Теліс, І.П. Нікіфоров. – Львів: 1973 – 198 с.
4. Попель, О.Є. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Кінематичний аналіз зубчастих механізмів" / О.Є. Попель Й.Я. Теліс. – Одеса: ОПІ, 1986. – 15 с.
5. Заблонський К.І. Теорія механізмів та машин / К.І. Заблонський, І.М. Белоконєв, Б.М. Щокін. – Київ: Висщ. шк., 1989. – 376 с.