



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99867** (13) **C2**  
(51) МПК (2012.01)  
**B21B 13/12** (2006.01)  
**B21B 13/20** (2006.01)  
**B21B 19/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

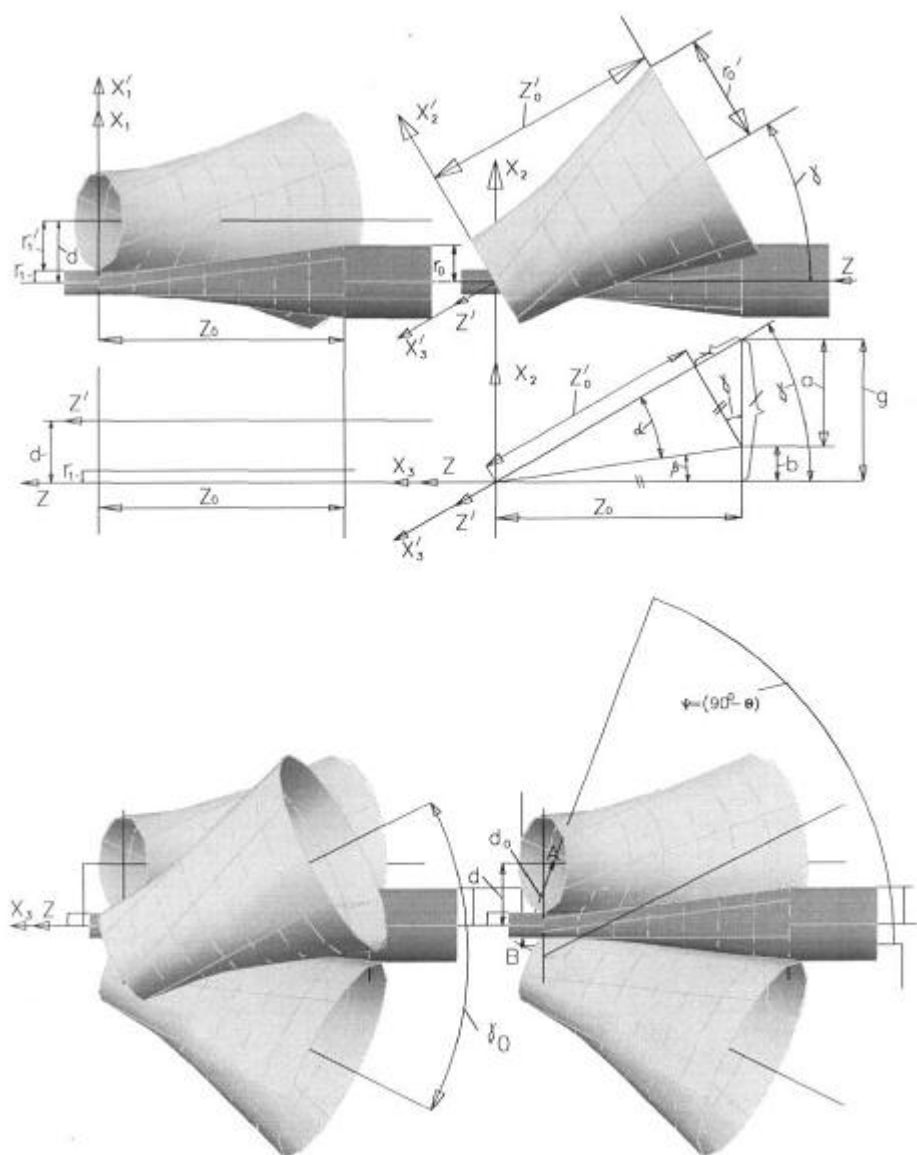
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

|   |  |
|---|--|
| <b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2010 15624</b>                                     | <b>(72)</b> Винахідник(и):<br><b>Литвинов Віктор Іванович (UA),</b><br><b>Жукова Наталя Вікторівна (UA),</b><br><b>Литвинова Таїсія Серафимівна (UA)</b>   |
| <b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>24.12.2010</b>                                |  |
| <b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.10.2012</b>            |  |
| <b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>25.06.2012, Бюл.№ 12</b>         | <b>(73)</b> Власник(и):<br><b>Литвинов Віктор Іванович,</b><br>пр. Червоногвардійський, 24, кв. 20, м.<br>Донецьк, 83076, Україна (UA),<br><b>Жукова Наталя Вікторівна,</b><br>вул. 230 Стрелкової див., 23, кв. 19, м.<br>Донецьк, 83092 (UA),<br><b>Литвинова Таїсія Серафимівна,</b><br>пр. Червоногвардійський, 24, кв. 20, м.<br>Донецьк, 83076, Україна (UA) |
| <b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.10.2012, Бюл.№ 19</b> | <b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою:<br>UA 88522 C2; 26.10.2009<br>US 4395895 A; 02.08.1983<br>RU 2278747 C2; 10.06.2005<br>SU 1659143 A1; 30.06.1991  |

**(54) КЛІТЬ ГВИНТОВА ТРИВАЛКОВА ПЛАНЕТАРНА КОНСОЛЬНА ОБТИСКНА****(57) Реферат:**

Винахід належить до прокатного виробництва і може бути використаний на безперервних прокатних станах. Кліть містить розміщений у нерухомому корпусі механізм приводу кліті з центральним колесом і ротором та механізм валків зі своїм корпусом, поміщений у ротор кліті та зчленований з центральним колесом. Осі робочих валків схрещуються з віссю прокатки під кутом  $\gamma = 30^\circ$  і зміщені перпендикулярно осі прокатки. Валки мають певний змінний радіус та довжину і відповідну їм зону деформації, обмежену кутом зони деформації та кутом валка. При цьому швидкість ротора знаходиться у визначеному початковому співвідношенні до швидкості центрального колеса, а до приводу ротора або центрального колеса, відповідно при парній або непарній кількості ступенів передач валкового механізму, з'єднаний зовнішній редуктор для вирівнювання швидкостей електродвигунів кліті. Прокатка в такій кліті, де радіуси валків по всій своїй довжині пропорційно більше радіуса зони деформації у відношенні  $\approx 4:1$ , забезпечує мінімальний знос валків. Деформація металу відбувається без його обертання і скручування з великою витяжкою, малими енерговитратами та з максимальною продуктивністю.

**UA 99867 C2**



Фиг. 1

Винахід належить до прокатного виробництва і може бути використаний на безперервних прокатних станах. Дві такі кліті можуть замінити 15...17 чорнових клітей подовжньої прокатки із сумарною-втяжкою близько 100 одиниць, що значно заощадить обладнання і споживану енергію при виробництві сортового прокату.

5 Найбільш близьким аналогом до технічного рішення, що заявляється, є кліть тривалкова гвинтова консольна планетарна (Патент України № 88522, кл. B21B 13/12. опубл. Бюл. № 20, 2009 р.). Ця кліть містить механізм приводу кліті з обертовим ротором і центральним колесом, механізм валковий із своїм корпусом, розташований у роторі, і нерухомий корпус кліті. У цій кліті зафіксовані характерні параметри гвинтової прокатки: найкоротша відстань  $d$  і кут схрещування  $\gamma$  між осями прокатки і валка. Дана кліть є найбільш близькою по технічній суті до кліті, яка заявляється, тому що розробка її конструкції заснована на простих функціональних зв'язках характерних параметрів гвинтової прокатки з геометрією валків і зони деформації, які використовуються в подальшій оптимізації об'єкта і тому ця кліть вибрана як прототип.

10 Загальними ознаками для кліті, що заявляється, і кліті, вибраної як найближчий аналог, є: механізм приводу кліті із центральним колесом і ротором, механізм валків із своїм корпусом, поміщений у ротор кліті, і нерухомий корпус кліті, валки робочі, осі яких схрещуються стосовно осі прокатки під кутом  $\gamma$  і зміщені перпендикулярно осі прокатки на найкоротшу відстань

$$d = \frac{r_1}{1 - c_d}, \text{ валки мають радіус } r'(z') = \sqrt{c_d^2 d^2 + z'^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \text{ і довжину } z'_0 = z_0 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \text{ і відповідну їм}$$

$$\text{зону деформації з радіусом } r(z) = \sqrt{r_1^2 + z^2 \operatorname{tg}^2 \beta} \text{ і довжиною } z_0 = \frac{\sqrt{r_0^2 - r_1^2}}{\operatorname{tg} \beta}, \text{ обмежені кутом}$$

20 валка  $\sin \alpha_{\text{MAX}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \gamma$  і відповідно кутом зони  $\beta_{\text{MIN}} = \gamma - \alpha_{\text{MAX}}$ , де  $r_0$ ;  $r_1$  - радіуси підкату і

$$\text{розкату, } c_d = \frac{2\sqrt{3} \cos^2 \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma},$$

$z'$  - вісь валка, координати точок якої відлічуються від найкоротшої відстані  $d$ ,

$z$  - вісь прокатки, координати точок якої відлічуються від найкоротшої відстані  $d$ .

25 Стосовно прототипу тут формули приймають більш простий вид, якщо прийняти  $\alpha = c_\gamma \gamma$ ,  $\beta = (1 - c_\gamma) \gamma$ ,  $\gamma = \alpha + \beta$ .

Недолік відомої кліті в тому, що в даній конструкції кут схрещування між осями прокатки і валка вибраний більшим ( $\gamma \geq 45^\circ$ ). Такий же кут і в інших відомих конструкціях кліті (Черные металлы, № 22, 1973 р., с. 29...35; Черные металлы, №1, 1988 р., с. 26...32). При таких кутах схрещування валки мають малий радіус на своїй калібруючій ділянці, що призводить їх до швидкого зносу, що у виробничих умовах не економічно.

30 В основу винаходу поставлена задача - удосконалити кліть гвинтову тривалкову планетарну консольну обтискну, яка забезпечить раціональну технологію гвинтової прокатки, за рахунок вибору оптимального кута схрещування між осями прокатки і валка  $\gamma$ , а також геометрії зони деформації і валка і кінематичних параметрів кліті. Це дозволить збільшити розміри валків на калібруючій ділянці, збільшити швидкість прокатки, вести обтискний процес без обертання і скручування металу з великими втяжками і малими енерговитратами, а також зменшити питомий знос валків на тонну прокату.

40 Поставлена задача вирішується тим, що у гвинтовій тривалковій планетарній консольній обтискній кліті, що містить механізм приводу кліті із центральним колесом і ротором, механізм валків із своїм корпусом, поміщений у ротор кліті, і нерухомий корпус кліті, валки робочі, осі яких схрещуються стосовно осі прокатки під кутом  $\gamma$  і зміщені перпендикулярно осі прокатки на

$$\text{найкоротшу відстань } d = \frac{r_1}{1 - c_d}, \text{ валки мають радіус } r'(z') = \sqrt{c_d^2 d^2 + z'^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \text{ і довжину}$$

$$z'_0 = z_0 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \text{ відповідна їм зона деформації з радіусом } r(z) = \sqrt{r_1^2 + z^2 \operatorname{tg}^2 \beta} \text{ і довжиною}$$

$$z_0 = \frac{\sqrt{r_0^2 - r_1^2}}{\operatorname{tg} \beta}, \text{ обмежені кутом валка } \sin \alpha_{\text{MAX}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \gamma \text{ і відповідно кутом зони}$$

45  $\beta_{\text{MIN}} = \gamma - \alpha_{\text{MAX}}$ , відповідно до винаходу, механізм валків установлений так, що кут

схрещування осей прокатки і валка становить  $\gamma = 30^\circ$ , кут зони деформації  $\beta = \arctg\left[(1 - c_d) \operatorname{tg} 30^\circ\right]$ , відповідно кут валка  $\alpha = 30^\circ - \arctg\left[(1 - c_d) \operatorname{tg} 30^\circ\right]$ , при цьому центральне колесо кліті стосовно ротора обертається з початковою кутовою швидкістю  $\omega_{\text{Ц}} = \omega_{\text{Р}}(1 + i \cdot i_{\text{М}})$ , а до приводу ротора або центрального колеса відповідно при парній або непарній кількості ступенів передач валкового механізму з'єднано зовнішній редуктор з коефіцієнтом механічної

передачі  $i_{\text{К}} = \left(1 + \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma}\right)^{(-1)n}$ , де

$i = (-1)^n \cdot i_1 \cdot i_2 \dots i_n$  - сумарний коефіцієнт передачі валкового механізму,  $n$  - кількість щаблів передач цього механізму;

$i_{\text{М}} = \frac{\omega'}{\omega_{\text{М}}} = \frac{1 - c_d}{c_d \cdot \cos \gamma}$  - коефіцієнт передачі обертання валка  $\omega'$  і металу  $\omega_{\text{М}}$ ;

$\omega_{\text{Ц}}$  - кутова швидкість обертання центрального колеса;

$\omega_{\text{Р}}$  - кутова швидкість обертання ротора, рівна зі зворотним знаком кутової швидкості обертання металу  $\omega_{\text{Р}} = -\omega_{\text{М}}$  при нерухомому роторі кліті;

$\omega' = \frac{V_0}{d \cdot c_d \sin \gamma}$  початкова кутова швидкість валка при заданій швидкості  $V_0$  входу заготовки в кліть.

Характерні і основні параметри гвинтової прокатки, а також кінематичні схеми гвинтової планетарної кліті, що пояснюють вибір заявлених нових ознак винаходу, наведені на фіг. 1...6.

На фіг. 1 - Характерні і основні параметри гвинтової прокатки;

На фіг. 2 - Граничні умови ( $d \neq 0, \gamma = 0$ ); ( $d = 0, \gamma \neq 0$ ), при яких гвинтова прокатка неможлива;

На фіг. 3 - Кінематична схема планетарної гвинтової кліті із двоступінчастим валковим механізмом і головною конічною передачею;

На фіг. 4 - Кінематична схема планетарної гвинтової кліті з одноступінчастим валковим механізмом і головною гепоїдною передачею;

На фіг. 5 - Максимальні валки для кліті з кутом схрещування  $\gamma = 45^\circ$  (верхні), а також валки для кліті з кутом  $\gamma = 30^\circ$  (нижні) при дотриманні умови не скручування металу;

На фіг. 6 - Валки для клітей з кутом схрещування  $\gamma = 45^\circ$  (верхні), а також валки для кліті з кутом  $\gamma = 30^\circ$  (нижні) при дотриманні умови не скручування металу.

Виходячи із суті винаходу, що ґрунтується на аналізі геометрії гвинтової прокатки, об'єктивно виходить так, що три валки кліті, які розташовуються в обмеженому валковому просторі, жорстко зв'язують між собою складним нелінійним чином незалежні характерні геометричні параметри гвинтової прокатки  $d$  і  $\gamma$  (найкоротша відстань між осями прокатки і валка і кут схрещування між цими осями). У цій складній трансцендентній нелінійній геометрії гвинтової прокатки (див. Проектирование профилировок валков клетей винтовой прокатки /Ф.Е. Долженков, А.Ю. Литвиненко, В.И. Литвинов, Ф.А. Писаренко. - К.: Техника, 1992. - 135 с.) за допомогою простих геометричних моделей вдалося знайти цей зв'язок у вигляді простих функцій. Вони дозволяють вибрати оптимальні  $d$  і  $\gamma$ . Оптимізація гвинтової прокатки в планетарному виконанні ґрунтується на простих вимогах:

1. Вихідними даними для побудови кліті є задані радіуси підкату  $r_0$  і розкату  $r_1$ . Цієї інформації достатньо, щоб побудувати в першу чергу геометрію валків і зони деформації. Валки тут представляються у вигляді заготовок - гіперболоїдів, які надалі здобувають захоплюючі, деформуючі і калібруючі ділянки. Основні елементи кліті, які досить відомі, добудовуються до інструмента з вимогою їх неперетинання з аксіально-симетричними сусідами. Вони не повинні заходити за межі продовженого максимального гіперболоїда валка. Маючи початкову інформацію з геометрії в простому аналітичному вигляді, кінематика і динаміка технологічного процесу також представляється в простій аналітичній формі. Отже, оптимізація кліті практично залежить від геометрії гвинтової прокатки.

2. Валки повинні мати розміри як мінімум в 3-4 рази більше стосовно металу, який деформується, що в існуючих тривалкових планетарних клітях не дотримується. Початкові діаметри валка досить великі, а калібруюча ділянка інструмента має малий діаметр, тому ця ділянка швидко зношується, що в умовах виробництва приносить додаткові витрати.

3. Обтискна планетарна гвинтова кліть повинна мати максимальну поздовжню швидкість прокатки  $V_z$  стосовно аксіальної швидкості  $V_\phi$  заготовки, яка обертається щодо ротора кліті. Даний критерій гвинтової прокатки  $K_{ВГ} = \frac{V_z}{V_\phi}$  відповідає максимальному ККД кліті.

4. У звичайних гвинтових клітях існує ефект скручування металу. У тій кліті, де прокатка відбувається за найкоротшою відстанню  $d$ , від скручування металу позбутися принципово неможливо. Що стосується планетарної кліті, то згаданий ефект не повинен мати місце, тому що частково втрачається її перевага стосовно звичайної прокатки, якщо підкат або розкат починає повільно обертатися відносно один до одного. Усунення цього ефекту потребує додаткових витрат енергії при втриманні підкату в аксіальному напрямку, якщо аксіальна швидкість розкату підтримується на нулі приводом ротора кліті.

5. Для побудови приводу робочих валків і приводу ротора кліті необхідна інформація про початкове співвідношення кутових швидкостей центрального колеса  $\omega_\psi$  і ротора  $\omega_\rho$ . Зрозуміло, що умова азимутального спокою розкату залежить не тільки від параметрів механічної передачі кліті, але і від характерних геометричних її параметрів, що необхідно виявити.

3 метою подальшої оптимізації параметрів планетарної гвинтової кліті, які використовуються в пропонованій модернізації обладнання, запишемо в більш компактній формі відомі основні аналітичні залежності дотичних поверхонь обертання валка і "фіктивної" зони деформації, далі вона буде називатися "зона".

Отже, між осями прокатки  $z$  і валка  $z'$  кут схрещування рівний  $\gamma$  і ці осі відстоять один від одного на найкоротшій відстані  $d$ . Як і в прототипі, зазначені поверхні обертання валка і "зони" є гіперболоїдами, отриманими обертанням однієї й тієї ж прямої лінії. Ця твірна пряма відстоїть від осі прокатки на відстані, рівній заданому радіусу розкату  $r_1$ , і має з віссю прокатки кут схрещування  $\beta$ , так званий кут "зони"  $\beta$ . "Зона" - гіперболоїд утворюється обертанням твірної прямої лінії навколо осі прокатки  $z$ , а валок - гіперболоїд - обертанням тієї ж прямої лінії навколо осі валка  $z'$ . Між твірною прямою і віссю валка кут схрещування рівний  $\alpha = \gamma - \beta$ , так званий кут валка  $\alpha$ . Нижні індекси "0", "1" відповідають початку і кінцю "зони" або валка; верхній індекс, штрих, «/» присвоюється величинам, відповідним до осі валка;  $X_i$ ,  $X'_i$ ,  $i=1,2,3$  - координати, пов'язані з віссю прокатки і віссю валка. Валок, "зона" і використані характерні і основні параметри гвинтової прокатки показані на фіг. 1. Виходи валка і зони сполучені з найкоротшою відстанню  $d$ . При такій конфігурації найкоротша відстань  $d$  стає максимально можливою у тривалковій системі з максимальними розмірами валків. Якщо "зона" буде зміщена уздовж осі прокатки від свого оптимального положення, валки повинні бути збільшені, але вони будуть перетинатися, тоді  $d$  треба зменшувати, але це призводить до зменшення ККД гвинтової кліті. Отже, таке положення "зони" на осі прокатки відповідає оптимальній геометрії системи валки - метал.

Основні робочі формули, виходячи із заданих радіусів підкату  $r_0$  і розкату  $r_1$ , мають простий вигляд:

$$\left| \vec{AB} \right| = d_0 = d \frac{2\sqrt{3} \cos \gamma}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \gamma}} - \text{найкоротша відстань між осями валків};$$

$$X_{1A} = d; X_{2A} = -d \frac{\sqrt{3} \sin^2 \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma}; X_{3A} = d \frac{\sqrt{3} \sin \gamma \cos \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma}.$$

$$X_{1B} = -d \frac{(2 \cos^2 \gamma - \sin^2 \gamma)}{1 + 3 \cos^2 \gamma}; X_{2B} = -d \frac{\sqrt{3}(1 + \cos^2 \gamma)}{1 + 3 \cos^2 \gamma}; X_{3B} = -d \frac{\sqrt{3} \sin \gamma \cos \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma}.$$

$$\frac{\vec{AB}}{\left| \vec{AB} \right|} = \left\{ \frac{\sqrt{3} \cos \gamma}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \gamma}}; \frac{\cos \gamma}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \gamma}}; \frac{\sin \gamma}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \gamma}} \right\}; \cos \Psi = \frac{\sin \gamma}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \gamma}}; \Theta = 90^\circ - \Psi;$$

$$\cos^2 \Theta = \left( 1 - \frac{\sin^2 \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma} \right) = \frac{4 \cos^2 \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma}; \cos \Theta = \frac{2 \cos \gamma}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \gamma}};$$

$$r_1' = \frac{d_0}{2} \cos \Theta = d \frac{\sqrt{3} \cos \gamma}{\sqrt{1+3\cos^2 \gamma}} \cdot \frac{2 \cos \gamma}{\sqrt{1+3\cos^2 \gamma}} = d \frac{2\sqrt{3} \cos^2 \gamma}{1+3\cos^2 \gamma} = \text{проект.} \frac{d_0}{2} \text{ на пл. перпенд. осі прокатки}$$

$$c_d = \frac{2\sqrt{3} \cos^2 \gamma}{1+3\cos^2 \gamma}; r_1' = c_d d; d = r_1 + r_1'; d = \frac{r_1}{1-c_d};$$

$$c_d|_{\gamma=0} = \frac{\sqrt{3}}{2}; d|_{\gamma=0} = r_1 \frac{2}{2-\sqrt{3}}; r_1'|_{\gamma=0} = d \frac{\sqrt{3}}{2}; r_1'|_{\gamma=0} = r_1 \frac{\sqrt{3}}{2-\sqrt{3}};$$

$$r'(z') = \sqrt{c_d^2 d^2 + z'^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} - \text{функція валка};$$

$$5 \quad \frac{r_1'}{r_1} = \frac{c_d}{1-c_d}; d = r_1 \frac{1+3\cos^2 \gamma}{1+(2\sqrt{3}-3)\cos^2 \gamma}; r_1' = r_1 \frac{2\sqrt{3} \cos^2 \gamma}{1-(2\sqrt{3}-3)\cos^2 \gamma};$$

$$\alpha \leq \alpha_{\text{MAX}}; \sin \alpha_{\text{MAX}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \gamma - \text{максимальний кут валка};$$

$$r(z) = \sqrt{r_1'^2 + z^2 \operatorname{tg}^2 \beta} - \text{функція "зони"};$$

$$\beta \geq \beta_{\text{MIN}}; \beta_{\text{MIN}} = \gamma - \alpha_{\text{MAX}} - \text{мінімальний кут "зони"};$$

$$z_0 = \frac{\sqrt{r_0'^2 + r_1'^2}}{\operatorname{tg} \beta}; z_0' = z_0 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}; r_0' = \sqrt{z_0'^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + c_d^2 d^2};$$

- 10 Тут  $z_0$  - довжина "зони",  $z_0'$  - довжина валка,  $r_0', r_1'$  - початковий і кінцевий радіуси валка. Точки  $z, z'$  - відлічуються на осях прокатки і валка від найкоротшої відстані  $d$ . Максимальні габарити валка визначаються максимальним кутом валка  $\alpha_{\text{MAX}} = \arcsin\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \sin \gamma\right)$  і

найкоротшою відстанню  $d = r_1 \frac{1+3\cos^2 \gamma}{1-(2\sqrt{3}-3)\cos^2 \gamma}$ , мають простий вигляд і зручні при побудові кліті.

- 15 У зв'язку з тим, що незалежний параметр  $d$  став залежним від кута  $\gamma$  і при його збільшенні  $d$  зменшується, об'єктивно існує оптимум вибору кута  $\gamma$ .

Наведені функції задовольняють граничним умовам гвинтової прокатки, при яких сам процес прокатки неможливий. На фіг. 2 показані "валки", які перетворюються в конуси при  $d=0$ ,  $\gamma \neq 0$ . Ці конуси стикаються за максимальним кутом конуса  $\alpha_{\text{MAX}} = \frac{\gamma_0}{2}$ .  $\gamma_0$  - кут між осями

- 20 сусідніх конусів,  $\cos \gamma_0 = 1 - \frac{3}{2} \sin^2 \gamma$ ;  $\sin \frac{\gamma_0}{2} = \sqrt{\frac{1-\cos \gamma_0}{2}}$ . Тому  $\sin \alpha_{\text{MAX}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \gamma$ . В іншому

прикордонному випадку при  $d \neq 0$ ,  $\gamma=0$  "валки" перетворюються в циліндри, відповідні до формул, наведених вище. При росту кута схрещування  $\gamma$  циліндри перетворюються в гіперболоїди з таким же максимальним кутом валка  $\alpha_{\text{MAX}}$ .

- 25 Якщо обертання валка ініціює рух і деформацію металу, тоді кінематика точок поверхні валка, що контактують із металом, має першорядне значення у виборі параметрів конструкції кліті. Відомо, що геометричне місце точок (ГМТ) валка, що мінімально відстоять від осі прокатки, визначає не тільки геометрію переходу металу від заготовки до кінцевого прокату, але і співвідношення поздовжньої і азимутальної течії металу. Для валка - гіперболоїда це ГМТ є не що інше, як вищезгадана пряма лінія, що утворює гіперболічні поверхні валка і "зони".

- 30 В основній і штрихованій системах координат, пов'язаних з віссю прокатки  $z$  і віссю валків  $z'$ , лінійні швидкості точок даної прямої при кутовій швидкості валка  $\omega'$ , мають вигляд:

$$V_1' = -\omega' z' \operatorname{tg} \alpha; V_2' = \omega' c_1 d;$$

$$V_1 = V_1'; V_2 = V_2' \cos \gamma;$$

$$z' \operatorname{tg} \alpha = z \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \operatorname{tg} \alpha = z \frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = z c_2 \sin \gamma;$$

$$c_1 = \frac{r_1'}{d}; c_2 = \frac{a}{g};$$

$$V_\varphi = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}; V_\varphi = \omega' \sqrt{(c_1 \cos \gamma)^2 d^2 + z^2 (c_2 \sin \gamma)^2};$$

$$V_\varphi = \omega' \cos \gamma \sqrt{c_1^2 d^2 + c_2^2 z^2 \operatorname{tg}^2 \gamma};$$

$$V_z = V_2' \sin \gamma; V_z = \omega' c_1 d \sin \gamma;$$

$$5 \quad \frac{V_z}{V_\varphi} = \frac{c_1 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{c_1^2 d^2 + c_2^2 z^2 \operatorname{tg}^2 \gamma}}; c_1 = c_2; \frac{r_1'}{d} = \frac{c_d d}{d} = c_d = \frac{a}{g}; K_{\text{ВП1}} = \frac{V_z}{V_\varphi} = \frac{d \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{d^2 + z^2 \operatorname{tg}^2 \gamma}};$$

Співвідношення поздовжньої і азимутальної швидкостей названих точок, що дуже важливо, не залежить від функції валка і "зони", воно є функцією характерних параметрів  $d$ ,  $\gamma$  і координати  $z$  осі прокатки. Тому має сенс користуватися середнім критерієм  $K_{\text{ВП1}}$  уздовж осі прокатки.

$$10 \quad \frac{d \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{z^2 \operatorname{tg}^2 \gamma + d^2}} = \frac{d \operatorname{tg} \gamma}{d \operatorname{tg} \gamma \sqrt{\left(\frac{z}{d}\right)^2 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \gamma}}}; z_{\text{ОТН}} = \frac{z}{d}; w = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}; Z_{\text{ОТН}} = \frac{z_0}{d};$$

$$K_{\text{ВПср}} = \frac{1}{Z_{\text{ОТН}}} \int_0^{Z_{\text{ОТН}}} \frac{\partial z_{\text{ОТН}}}{\sqrt{z_{\text{ОТН}}^2 + w^2}} = \frac{1}{Z_{\text{ОТН}}} \left\{ \ln \left| z_{\text{ОТН}} + \sqrt{z_{\text{ОТН}}^2 + w^2} \right| \right\}_0^{Z_{\text{ОТН}}} = \frac{1}{Z_{\text{ОТН}}} \ln \left| \frac{Z_{\text{ОТН}} + \sqrt{Z_{\text{ОТН}}^2 + w^2}}{w} \right|;$$

$$K_{\text{ВПср1}} = \frac{V_z}{V_\varphi} \Big|_{\text{ср}} = \frac{1}{\frac{z_0}{d}} \ln \left| \frac{\frac{z_0}{d} + \sqrt{\left(\frac{z_0}{d}\right)^2 + \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}\right)^2}}{\frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}} \right|.$$

Другий критерій гвинтової прокатки характеризує скручування металу у зоні деформації. Скручування металу буде відсутнє, якщо співвідношення кутових швидкостей дотичних точок поверхонь валка і "зони" буде величиною постійною уздовж осі прокатки, тобто це співвідношення є функцією незалежних геометричних параметрів.

$$V_\varphi = \omega \cdot r(z) = \omega \sqrt{r_1^2 + z^2 \operatorname{tg}^2 \beta} = \omega \sqrt{(1 - c_d)^2 d^2 + z^2 \operatorname{tg}^2 \beta} = V_\varphi = \omega' \cos \gamma \sqrt{c_1^2 d^2 + c_2^2 z^2 \operatorname{tg}^2 \gamma};$$

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{\cos \gamma \sqrt{c_1^2 d^2 + c_2^2 z^2 \operatorname{tg}^2 \gamma}}{\sqrt{(1 - c_d)^2 d^2 + z^2 \operatorname{tg}^2 \beta}}; \text{при } c_1 = c_2 = c_d; \operatorname{tg} \beta = (1 - c_d) \operatorname{tg} \gamma; \frac{\omega}{\omega'} = \frac{c_d}{1 - c_d} \cos \gamma;$$

$$K_{\text{ВП2}} = \frac{\omega}{\omega'} = \frac{c_d}{1 - c_d} \cos \gamma \text{ при обов'язковій умові } \operatorname{tg} \beta = (1 - c_d) \operatorname{tg} \gamma.$$

Третій критерій гвинтової прокатки стосується до її планетарного виконання (дивися кінематичні схеми на фіг. 3, 4).

Планетарна гвинтова кліть, яка має два незалежні приводи валків і їх рухомого корпусу - ротора кліті, належить до планетарних диференціальних механізмів із двома ступенями свободи. За допомогою даного планетарного механізму реалізується гвинтова прокатка без обертання металу навколо осі прокатки. Це головна відмінність даного обладнання дозволяє сполучити в безперервному режимі гвинтову і поздовжню прокатки металу.

Кінематика такого складного об'єкта аналізується методом Вілліса. Суть цього методу полягає у відомості задачі аналізу планетарних і диференціальних механізмів до аналізу звичайних зубчастих передач шляхом переходу від абсолютного руху ланок розглянутого планетарного механізму до їхнього відносного руху стосовно водила. Тут водило називається ротором. Розрахунки планетарних і диференціальних передач можна робити, повідомивши подумки всьому механізму обертання з кутовою швидкістю, рівною за модулем і протилежною за напрямком кутової швидкості ротора (метод зупинки або метод Вілліса).

У задачі для планетарної диференціальної гвинтової кліті застосуємо формулу Вілліса до центрального колеса (ц), ротора (р) і деформованого металу (м). Як зрозуміло з кінематичної схеми (фіг. 3) формула Вілліса має вигляд:

$$\frac{\omega_{\text{Ц}} - \omega_{\text{Р}}}{\omega_{\text{М}} - \omega_{\text{Р}}} = -i_{\text{М}} \cdot i_2 \cdot i_1 = -i_{\Sigma}.$$

- 5 Тут  $i_{\text{М}}$ ,  $i_2$ ,  $i_1$ , відповідно співвідношення між кутовими швидкостями валка і металу, між кутовими швидкостями шестірень валка і сателіта і кутовими швидкостями шестірень сателіта і центрального колеса. Тоді із цього виразу кутова швидкість металу буде у вигляді:

$$\omega_{\text{М}} = \frac{\omega_{\text{Р}} \left( (1 + i_{\Sigma}) - \frac{\omega_{\text{Ц}}}{\omega_{\text{Р}}} \right)}{i_{\Sigma}}.$$

Зрозуміло, що метал не буде обертатися при дотриманні кінематичної рівності:

$$10 \quad (1 + i_{\Sigma}) - \frac{\omega_{\text{Ц}}}{\omega_{\text{Р}}} = 0,$$

$$\omega_{\text{Ц}} = \omega_{\text{Р}} (1 + i_{\text{М}} \cdot i_2 \cdot i_1)$$

Це головне кінематичне співвідношення можна одержати із простих логічних розуміннь. Коли ротор спочиває, відношення кутових швидкостей металу і центрального колеса буде у вигляді:

$$\omega_{\text{Ц}} = -i_{\text{М}} \cdot i_2 \cdot i_1 \cdot \omega_{\text{М}} \text{ при } \omega_{\text{Р}} = 0.$$

- 15 Далі, щоб метал не обертася, необхідно ротор обертати з кутовою швидкістю, рівною кутовій швидкості металу, але зі зворотним знаком, тобто  $\omega_{\text{Р}} = -\omega_{\text{М}}$ . Тоді, щоб не змінився відносний рух центрального колеса і сателіта і їх вибране кінематичне співвідношення  $\omega_{\text{Ц}} = -i_{\text{М}} \cdot i_2 \cdot i_1 \cdot \omega_{\text{М}} = i_{\text{М}} \cdot i_2 \cdot i_1 \cdot \omega_{\text{Р}}$ , центральну шестірню необхідно обертати з додатковою кутовою швидкістю  $\omega_{\text{Р}}$ . Тобто, сумарна кутова швидкість центральної шестірні приймає вид:

$$\omega_{\text{Ц}} = i_{\text{М}} \cdot i_2 \cdot i_1 \cdot \omega_{\text{Р}} + \omega_{\text{Р}},$$

$$20 \quad \omega_{\text{Ц}} = \omega_{\text{Р}} (1 + i_{\text{М}} \cdot i_2 \cdot i_1); \quad i_{\text{М}} = \frac{\omega'}{\omega_{\text{М}}} = \frac{1}{K_{\text{ВГП2}}}; \quad i = i_1 i_2.$$

В результаті отриманий той же результат у головному кінематичному співвідношенні планетарної гвинтової кліті, яке визначає умову відсутності обертання металу навколо осі прокатки. Коли ця умова отримана з різних точок зору, тоді вона вірна і її можна застосовувати при реалізації проекту розглянутої кліті.

- 25 Отже, третій критерій гвинтової прокатки має вигляд:

$$K_{\text{ВГП3}} = \frac{\omega_{\text{Ц}}}{\omega_{\text{Р}}} = 1 + \frac{\omega'}{\omega_{\text{М}}} i; \quad K_{\text{ВГП3}} = \frac{\omega_{\text{Ц}}}{\omega_{\text{Р}}} = 1 + \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma} i.$$

Необхідно відзначити, що знак коефіцієнта передачі  $i = (-1^n) \cdot i_1 \dots i_n$  залежить від кількості ступенів передач механізму кліті. При використанні гіпоїдної одноступінчастої передачі (дивися фіг. 4) коефіцієнт  $i$  буде зі знаком (-).

- 30 Знайдений третій критерій надійно можна використовувати в розрахунках коефіцієнтів механічної передачі приводу і є тільки початковою умовою для керування подвійним електроприводом планетарної гвинтової кліті. Динаміка процесу зажадає вести керування даним електроприводом зі зворотним зв'язком від датчика аксіальної швидкості розкату, але із зазначеною кінематичною початковою умовою.

- 35 Так само третій критерій використовується при вирівнюванні обертів двигунів центрального колеса і ротора, що дуже зручно при регулюванні цих двигунів. На кінематичній схемі кліті (фіг. 3) встановлено зовнішній редуктор приводу ротора з коефіцієнтом передачі, рівним

$$i_{\text{К}} = 1 + \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma} i \text{ за умови рівності діаметрів коліс ротора і центрального колеса. На фіг. 4}$$

показана кліть із одноступінчастою гіпоїдною передачею валкового механізму, тому зовнішній

- 40 редуктор з передаточним числом  $i_{\text{К}} = \left( 1 - \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma} \right)^{-1}$  з'єднано із приводом центрального колеса.



Для виявлення оптимальних параметрів кліті з вихідними даними  $r_0=75$  мм,  $r_1=25$  мм,  $\omega' = 2.25 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  виконана таблиця 1 з параметрами кліті:

$\gamma, c_d, d, r_1, \alpha_{\text{MAX}}, \beta_{\text{MIN}}, \alpha, z_0, z'_0, r'_0, \frac{z_0}{d}, K_{\text{ВПср1}}, V_z$ .

У таблиці 1 параметри  $z_0, z'_0, r'_0, \frac{z_0}{d}$  відповідають двом парам кутів  $\beta, \alpha=\gamma-\beta$  при відсутності

5 скручування металу, а також за максимальним валком і мінімальною "зоною"  $\alpha_{\text{MAX}}, \beta_{\text{MIN}}=\gamma-\alpha_{\text{MAX}}$ .

На фіг. 5 побудовані максимальні валки для кліті з кутом схрещування  $\gamma=45^\circ$ , а також валки для кліті з кутом  $\gamma=30^\circ$  при дотриманні умови не скручування металу. При  $\gamma=30^\circ$  кут "зони"  $\beta$  і кут валка  $\alpha$  відрізняються від свого мінімального ( $\Delta\beta=\beta-\beta_{\text{MIN}}=2^\circ$ ) і відповідно максимального значення ( $\Delta\alpha=\alpha_{\text{MAX}}-\alpha=2^\circ$ ) на малу величину, при збільшеній довжині "зони" усього на 9 %

10 стосовно "зони" кліті з кутом  $\gamma=45^\circ$ . Зрозуміло, що кут схрещування між осями прокатки і валка  $\gamma=30^\circ$  більш підходить для виробництва прокату з погляду зносу інструменту. Тут валки і "зона" по всій своїй довжині мають пропорційні розміри у відношенні приблизно 4:1, що не спостерігається для кліті з кутом схрещування  $\gamma=45^\circ$ .

На фіг. 6 побудовані валки при відсутності скручування металу для тих же клітей з кутами схрещування  $\gamma=30^\circ, 45^\circ$ . При  $\gamma=45^\circ$  валки дуже поменшали, тому що кут "зони"  $\beta$  і кут валка  $\alpha$  відрізняються від свого мінімального ( $\Delta\beta=\beta-\beta_{\text{MIN}}=10^\circ$ ) і відповідно максимального значення ( $\Delta\alpha=\alpha_{\text{MAX}}-\alpha=10^\circ$ ) на більшу величину. Тому, у виробничих умовах, якщо дотримувати умови не скручування металу, кліть із кутом схрещування  $\gamma=45^\circ$  застосовувати не можна.

З наведених таблиць видно, що для кутів  $\gamma=30^\circ$  і  $\gamma=46^\circ$  критерій  $K_{\text{ВП1}}$ , що визначає ККД прокатки, однаковий, хоча він має максимум при  $\gamma=37^\circ$ . Швидкість прокатки  $V_z$  має максимум при  $\gamma=30^\circ$ . Тобто, враховуючи, що при  $\gamma=30^\circ$  розміри валків по всій своїй довжині пропорційно більші стосовно "зони" у відношенні 4:1 і мають великий діаметр на калібруючій ділянці, а також задовольняють умові відсутності скручування металу, тоді кут  $\gamma=30^\circ$  схрещування найбільш оптимальний при побудові планетарної гвинтової кліті.

25 При цих оптимальних параметрах гвинтової прокатки  $\gamma=30^\circ$ ,  $d = r_1 \frac{1 + 3 \cos^2 \gamma}{1 - (2\sqrt{3} - 3) \cos^2 \gamma}$ ;

габарити валків пропорційно більші, що необхідно для мінімального питомого їхнього зносу.

Відсутнє скручування металу за кутом зони  $\text{tg}\beta = \left( 1 - \frac{2\sqrt{3} \cos^2 \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma} \right) \text{tg}\gamma$  і кутом валка  $\alpha=\gamma-\beta$ . Це

важливо для планетарного виконання кліті, тому що підкат обертається з малою швидкістю, якщо не дотримується названа умова, незважаючи на те, що подвійний привод кліті автоматично настроюється на відсутність обертання розкату. Швидкість прокатки  $V_z = \omega' c_d \sin \gamma$  максимальна при зменшеному куті  $\gamma=30^\circ$  через значне зменшення найкоротшої відстані  $d$  в області  $\gamma=40^\circ \dots 60^\circ$ . І як наслідок, такий вибір параметрів  $d$  і  $\gamma$  зв'язує початкові кутові швидкості обертання центрального колеса і ротора в конкретну залежність від цих же параметрів

30 
$$\frac{\omega_{\text{Ц}}}{\omega_{\text{Р}}} = 1 + \frac{1 - \frac{2\sqrt{3} \cos^2 \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma}}{\frac{2\sqrt{3} \cos^2 \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma} \cos \gamma} i$$
. Таким чином, можна стверджувати, що процес планетарної

35 гвинтової прокатки оптимізується за допомогою вищенаведених простих формул геометрії кліті і трьох її кінематичних критеріїв  $K_{\text{ВП1}}, K_{\text{ВП2}}, K_{\text{ВП3}}$ .

Енергія, затрачувана на роботу деформації металу, визначається також із простих фізичних розумінь. Коли ротор кліті нерухомий, його привод не споживає енергію, метал при цьому обертається з кутовою швидкістю  $\omega_{\text{М}} = -\omega' \frac{c_d}{1 - c_d} \cdot \cos \gamma$ . Центральне колесо кліті, відповідно до

40 кінематичної схеми (фіг. 3), обертається з кутовою швидкістю  $\omega_{\text{Ц}} = -\omega_{\text{М}} i_{\text{М}} i_{\text{Ц}} i_1$ , а двигун центрального колеса здобуває швидкість  $\omega_{\text{ДВ,Ц}} = -\omega_{\text{Ц}} i_{\text{Ц}}$ , де  $i_{\text{Ц}}$  - передаточне число між центральним колесом і його двигуном. Якщо один валок сприймає момент навантаження від деформівного металу  $M_{\text{Н}}$ , тоді загальна потужність двигуна центрального колеса, необхідна для трьох валків кліті,  $P=3 \cdot M_{\text{Н}} \cdot \omega'$ . У силу того, що споживана потужність не трансформується (тут

45 ККД механізму приймаємо за одиницю), момент навантаження на цьому двигуні визначається з

відомого співвідношення  $\frac{M_{H,ДВ,Ц}}{3 \cdot M_H} = \frac{\omega'}{\omega_{ДВ,Ц}} = \frac{1}{i_{Ц} \cdot i_2 \cdot i_1}$ . При цьому метал обертається,

передаючи своє аксіальне навантаження своїй нерухомій опорі, тобто - ротору. Як тільки, ротор відпускається в холостий спонтанний безперешкодний рух, процес прокатки зупиняється через те, що валки перестають обертатися щодо своїх осей, а обертаються разом з ротором тільки щодо осі прокатки. Тобто, поверхні валків уже не мають складової швидкості уздовж осі прокатки і метал не зтягується у вогнище деформації. При цьому шестерні сателітів не мають відносного руху стосовно обертового центрального колеса, тобто холоста швидкість ротора стає рівною швидкості центрального колеса. А регульований привод центрального колеса при зникненні навантаження не йде в рознос через підтримку швидкості свого двигуна на заданому рівні. Це схоже на неможливість руху автомобіля, у приводі якого використовується диференціальний механізм, якщо на одному з коліс зникає навантаження.

Щоб у процесі деформації металу зупинити його аксіальний рух, а метал мав можливість рухатися тільки уздовж осі прокатки, до ротора кліті необхідно прикласти активний момент, що компенсує аксіальне навантаження  $M_{H,М}$ , прикладене до деформуючого металу. Швидкість обертання ротора повинна бути рівною зі зворотним знаком швидкості обертання металу при зупиненому роторі, але з умовою, що центральне колесо обертається з додавкою швидкості, рівної швидкості ротора, інакше центральне колесо буде перешкоджати руху ротора. Тобто, здається, що споживання енергії при планетарній гвинтовій прокатці більше, ніж при звичайній, тому що витрачається додаткова енергія в приводі центрального колеса, а також додаткова енергія в приводі ротора.

Все це схоже на "парадокс споживання енергії", але цей парадокс необхідно згадати, тому що з подібними ефектами зустрічаються дослідники, що вивчають диференціальні механізми (Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. Издание второе, переработанное и дополненное, издательство "Машиностроение", Москва, 1966, Ленинград, 307 с, смотри 47-ю с.; Планетарные передачи. Справочник. Под ред. докторов технических наук В.Н. Кудрявцева и Ю.Н. Кирдяшева. Л., "Машиностроение", Ленингр. отд-ние, 1977, 536 с, смотри стр. 43...45). Тут відмічається, що в планетарних передачах зубчасті колеса крім корисної потужності, передають додаткову потужність, названу замкнутою. Вона циркулює в механічному контурі також як і потужність у зачепленні, має розмірність потужності, але не є енергетичним поняттям.

Для кліті із гіпоїдною передачею (фіг. 4), міркування ті ж, тільки центральне колесо обертається з "різницевою" швидкістю стосовно ротора.

Отже, момент навантаження щодо осі  $z'$  на один робочий валок  $M_H = \sigma_T \cdot S_{КОНТ} \cdot f_{ТР} \cdot r_{СР}$ . Момент навантаження щодо осі прокатки  $z$ , прикладений до деформованого металу від трьох валків, відповідно рівний  $M_{H,М} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{КОНТ} \cdot f_{ТР} \cdot r_{СР} \cdot \cos \gamma$ . Потужність прокатки на трьох валках  $P_{ПР} = 3 \cdot M_H \cdot \omega'$  при швидкості входу заготовки в кліть  $V_0 = \omega' c_d d \sin \gamma$  рівна  $P_{ПР} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{КОНТ} \cdot f_{ТР} \cdot r_{СР} \cdot \frac{V_0}{c_d \cdot d \cdot \sin \gamma}$ . Потужність, яку необхідно прикласти до приводу ротора, щоб зупинити обертання металу,  $P_{ВР} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{КОНТ} \cdot f_{ТР} \cdot r_{СР} \cdot \cos \gamma \cdot \omega_M$ .

Використовуючи другий критерій  $K_{ВП2} = \frac{\omega_M}{\omega'} = \frac{c_d}{1 - c_d} \cos \gamma$ ,

$P_{ВР} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{КОНТ} \cdot f_{ТР} \cdot r_{СР} \cdot \cos \gamma \cdot \omega' \cdot \frac{c_d}{1 - c_d} \cos \gamma$ . Сумарна потужність, прикладена до центрального колеса і ротора,

$P_{\Sigma} = P_{ПР} + P_{ВР} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{КОНТ} \cdot f_{ТР} \cdot r_{СР} \cdot \omega' + 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{КОНТ} \cdot f_{ТР} \cdot r_{СР} \cdot \cos \gamma \cdot \omega' \cdot \frac{c_d}{1 - c_d} \cos \gamma$

розподіляється відповідно:  $\frac{P_{ПР}}{P_{ВР}} = \left( \frac{r_{СР}}{r_{СР}} \right) \cdot \frac{(1 - c_d)}{c_d \cdot \cos^2 \gamma}$ .

Кліть, що заявляється, гвинтова тривалкова планетарна консольна обтискна пояснюється кресленнями на фіг. 7, 8, 9, 10, 11, 12.

На фіг. 7 показана схема планетарної гвинтової кліті з відомими параметрами  $\gamma = 45^\circ$ ,  $d = 81.4$  мм. Валки утворюють замкнений калібр, виконані максимальними, мають початковий і кінцевий радіуси нерозмірно великий і малий стосовно початку і кінцю "зони". Калібруюча їх ділянка має великий питомий знос інструмента. Кліть має властивість скручувати метал.

На фіг. 8 показана пропонована кліть із оптимально вибраним кутом схрещування  $\gamma=30^\circ$  і залежній від цього кута найкоротшою відстанню  $d=125$  мм. Валки виконані із пропованою умовою не скручування металу у зоні деформації, мають пропорційні розміри до цієї зони по всій своїй довжині у відношенні приблизно 4:1, близькі до максимальних пропорційних габаритів, що краще з погляду їх зносу. Кліть має максимальну швидкість прокатки, її ККД мало відрізняється від максимального у відповідності із оптимально вибраними характерними параметрами  $d$  і  $\gamma$ . Кліть складається із чотирьох складальних одиниць: механізм приводу кліті 1, механізм валків 2, корпус валків 3 і нерухомий корпус кліті 4. Механізм приводу кліті 1 має центральне колесо 5, зчленоване з механізмом валків 2, ротор 6 і ведучі шестерні 7, 8, що знаходяться у зачепленні із центральним колесом 5 і ротором 6. Механізм валків 2 із своїм корпусом валків 3 поміщені в ротор кліті 6. Ведучі шестерні 7, 8 з'єднані із двома двигунами, обороти яких вирівнюються за допомогою зовнішнього редуктора 9.

На фіг. 9, 10 виконані 3-d моделі клітей з кутами  $\gamma=45^\circ$  й  $\gamma=30^\circ$ . Кліть із кутом  $\gamma=30^\circ$  має правильні пропорції з погляду геометрії системи валки - метал.

На фіг. 11 показана 3-d модель пропонованої кліті із зовнішнім редуктором, що мають конкретний коефіцієнт передачі, за допомогою якого вирівнюються обороти подвійного електропривода.

На фіг. 12 показана технологічна схема застосування пропонованої кліті. Перевага даної кліті у великому ступені деформації за один прохід і можливості її стикування на вході з безперервним розливанням металу, а на виході - із клітьями поздовжньої прокатки, де відбувається чистова обробка прокату.

Кліть працює в такий спосіб. Ведуча шестірня 7 приводить в обертання центральне колесо 5, це колесо обертає механізм валків 2, валки обертаються навколо своїх осей. Ведуча шестірня 8 приводить в обертання ротор 6 навколо осі прокатки. При подачі заготовки в міжвалковий зазор валки затягують заготовку у зону деформації й обтискають її до заданого розміру без відносного скручування підкату і розкату. При цьому обертання заготовки компенсується обертанням ротора 6, швидкість якого знаходиться в визначеному початковому співвідношенні до швидкості центрального колеса 5. Розраховане початкове кінематичне співвідношення приводів планетарної кліті дозволяє автоматизованому подвійному електроприводу за допомогою датчика оборотів розкату забезпечити подальший рух деформованого металу тільки уздовж осі прокатки.

Приклад конкретного виконання пропонованого обладнання розглянемо для умов роботи дротового стану 150 Макіївського металургійного заводу. З метою економії енергії можна сполучити з безперервним розливанням круглої заготовки  $\oplus 150$  мм дві планетарні гвинтові кліті

із сумарною витяжкою  $\mu = \left(\frac{150}{50}\right)^2 \cdot \left(\frac{50}{16.66}\right)^2 = 81$ . Ці кліті замінюють обтискну і дві проміжні групи клітей поздовжньої прокатки, що полягають із  $17=9+4+4$  клітей згаданого стану 150, де

відбувається чорновий обтиск металу із загальною витяжкою  $\mu = \left(\frac{\oplus 150 \text{ мм}}{\oplus 17 \text{ мм}}\right)^2 = 78$ . Далі в

десятиклітьовому блоці із горизонтальних і вертикальних клітей, що чергуються, поздовжньої прокатки із сумарною витяжкою 8 одиниць розкат приймає кінцеві розміри дроту  $\oplus 6$  мм.

Отже, після безперервного розливання гаряча кругла заготовка  $\oplus 150$  мм, проходячи через індукційний нагрів, де вирівнюється її температура, безупинно подається із середньою

швидкістю  $6 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  в першу планетарну гвинтову кліть. Її кут схрещування і найкоротша

відстань між осями прокатки і валка відповідно рівні  $\gamma=30^\circ$ ,  $d \approx 125$  мм. Як зрозуміло із представлені таблиці 1, поздовжня швидкість входу заготовки в кліть узгоджується із швидкістю розливання, якщо швидкість обертання валків

$$f' = \frac{V_0}{2 \cdot \pi \cdot c_d \cdot d \cdot \sin \gamma} = \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.79941 \cdot 124.63 \cdot 0.5} = 0.319 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$
. Метал деформується з витяжкою

$$\mu = \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{75}{25}\right)^2 = 9$$
 при схрещеному куті зони деформації  $\beta = \arctg[(1-c_d) \cdot \tg \gamma] = \arctg[(1-$

$0.79941) \cdot 0.57735] = 6.606^\circ$ . Середній радіус зони деформації  $r_{CP} = \frac{r_0 + r_1}{2} = \frac{75 + 25}{2} = 50$  мм,

площа контакту металу і валка, як показує практика

$$S_{\text{КОНТ}} \approx \frac{2\pi \cdot r_{\text{CP}}}{6} \cdot \frac{z_0}{2} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 610.6}{6 \cdot 2} = 15985 \text{ мм}^2, \text{ границя текучості гарячого металу}$$

$$\sigma_T = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}, \text{ сила прокатки } F = \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} = 100 \cdot 15985 = 1598500 \text{ Н} \approx 1600 \text{ кН}, \text{ середній радіус валка}$$

$$r'_{\text{CP}} = \frac{r'_1 + r'_0}{2} = \frac{100 + 264}{2} = 182 \text{ мм} = 0,182 \text{ м}, \text{ коефіцієнт тертя } f_{\text{ТР}} = 0,3, \text{ момент прокатки}$$

(навантаження)  $M_H = \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} \cdot f_{\text{ТР}} \cdot r'_{\text{CP}} = 1600 \cdot 0,3 \cdot 0,182 = 87,36 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Момент навантаження, прикладений до деформованого металу від трьох валків,  $M_{\text{НМ}} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} \cdot f_{\text{ТР}} \cdot r'_{\text{CP}} \cdot \cos \gamma = 3 \cdot 1600 \cdot 0,3 \cdot 0,05 \cdot 0,866 = 62,35 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Потужність

прокатки на трьох валках  $P_{\text{ПР}} = 3 \cdot M_H \cdot \omega'$  при швидкості входу заготовки в кліть  $V_0 = \omega' c_d \sin \gamma$  рівна

$$P_{\text{ПР}} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} \cdot f_{\text{ТР}} \cdot r'_{\text{CP}} \cdot \frac{V_0}{c_d \cdot d \cdot \sin \gamma} = 3 \cdot 87,36 \cdot \frac{0,1}{0,79941 \cdot 0,125 \cdot 0,5} = 524,5 \text{ кВт}. \text{ Потужність,}$$

прикладена до приводу ротора для зупинки обертання металу,

$$P_{\text{ВР}} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} \cdot f_{\text{ТР}} \cdot r'_{\text{CP}} \cdot \cos \gamma \cdot \omega' \cdot \frac{c_d}{1 - c_d} \cos \gamma = 62,35 \cdot 2,007 \cdot \frac{0,79941}{1 - 0,79941} \cdot 0,866 = 431,9 \text{ кВт}.$$

Частота обертання ротора і центрального колеса відповідно

$$\omega_P = -\omega' \cdot \frac{c_d}{1 - c_d} \cdot \cos \gamma = 2,007 \cdot 3,451 = 6,926 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 1,1 \frac{\text{об}}{\text{с}};$$

$$\omega_{\text{Ц}} = \omega_P \left( 1 + \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma} i_{12} \right) = 6,926 \left( 1 + \frac{1 - 0,79941}{0,79941 \cdot 0,866} 3 \cdot 0,55 \right) = 10,24 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 1,63 \frac{\text{об}}{\text{с}}.$$

Зовнішній редуктор з коефіцієнтом механічної передачі

$$i_K = 1 + \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma} i = 1 + \frac{1 - 0,79941}{0,79941 \cdot 0,866} 3 \cdot 0,55 = 1,478, \text{ з'єднаний із двигуном ротора, збільшує}$$

його обороти до  $1,1 \cdot 1,478 = 1,63 \frac{\text{об}}{\text{с}}$  з метою вирівнювання швидкості двох приводів.

На виході з першої кліті розкат діаметром  $\oplus 50$  мм рухається із швидкістю  $V_1 = V_0 \cdot \mu = 0,1 \cdot 9 = 0,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  і входить у другу планетарну гвинтову кліть, яка повністю

геометрично подібна першій кліті в масштабі 1:3. Вихідні дані другої кліті зведено в таблицю 2. Зона деформації другої кліті має початковий і кінцевий радіуси  $r_0 = 25$  мм,  $r_1 = 8,33$  мм. У другій кліті кут схрещування і найкоротша відстань між осями прокатки і валка відповідно рівні  $\gamma = 30^\circ$ ,  $d \approx 42$  мм. Частота обертання валків  $f' = \frac{V_0}{2 \cdot \pi \cdot c_d \cdot d \cdot \sin \gamma} = \frac{900}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,79941 \cdot 41,53 \cdot 0,5} = 8,63 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ .

$$f' = \frac{V_0}{2 \cdot \pi \cdot c_d \cdot d \cdot \sin \gamma} = \frac{900}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,79941 \cdot 41,53 \cdot 0,5} = 8,63 \frac{\text{об}}{\text{с}}.$$

Метал деформується з витяжкою  $\mu = \left( \frac{r_0}{r_1} \right)^2 = \left( \frac{25}{8,33} \right)^2 = 9$  при схрещеному куті зони

деформації  $\beta = \arctg[(1 - c_d) \cdot \tg \gamma] = \arctg[(1 - 0,79941) \cdot 0,57735] = 6,606^\circ$ . Середній радіус зони

$$\text{деформації } r_{\text{CP}} = \frac{r_0 + r_1}{2} = \frac{25 + 8,33}{2} = 16,7 \text{ мм}, \text{ площа контакту металу і валка, як показує}$$

$$\text{практика } S_{\text{КОНТ}} \approx \frac{2\pi \cdot r_{\text{CP}}}{6} \cdot \frac{z_0}{2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 16,7 \cdot 203,5}{6 \cdot 2} = 1780 \text{ мм}^2, \text{ границю текучості гарячого}$$

$$\text{металу } \sigma_T = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}, \text{ сила прокатки } F = \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} = 100 \cdot 1780 = 178000 \text{ Н} \approx 178 \text{ кН}, \text{ середній радіус}$$

$$\text{валка } r'_{\text{CP}} = \frac{r'_1 + r'_0}{2} = \frac{33,2 + 87,9}{2} = 60,6 \text{ мм}, \text{ коефіцієнт тертя } f_{\text{ТР}} = 0,3, \text{ момент прокатки}$$

$$(\text{навантаження}) \quad M_H = \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} \cdot f_{\text{ТР}} \cdot r'_{\text{CP}} = 178 \cdot 0,3 \cdot 0,0606 = 3,24 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$\text{Момент навантаження, прикладений до деформівного металу від трьох валків } M_{\text{НМ}} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} \cdot f_{\text{ТР}} \cdot r'_{\text{CP}} \cdot \cos \gamma = 3 \cdot 178 \cdot 0,3 \cdot 0,01666 \cdot 0,866 = 2,32 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Потужність прокатки на трьох валках  $P_{\text{ПР}} = 3 \cdot M_H \cdot \omega'$  при швидкості входу заготовки в кліть  $V_0 = \omega' c_d \sin \gamma$  рівна

$$P_{\text{ПР}} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} \cdot f_{\text{ТР}} \cdot r'_{\text{СР}} \frac{V_0}{c_d \cdot d \cdot \sin \gamma} = 3 \cdot 3.24 \cdot \frac{900}{0.79941 \cdot 41.54 \cdot 0.5} = 526.87 \text{ кВт}.$$

Потужність, прикладена до приводу ротора для зупинки обертання металу

$$P_{\text{ВР}} = 3 \cdot \sigma_T \cdot S_{\text{КОНТ}} \cdot f_{\text{ТР}} \cdot r'_{\text{СР}} \cdot \cos \gamma \cdot \omega' \frac{c_d}{1 - c_d} \cos \gamma = 2.32 \cdot 54.2 \cdot \frac{0.79941}{1 - 0.79941} \cdot 0.866 = 433.97 \text{ кВт}.$$

Частота обертання ротора і центрального колеса відповідно

$$5 \quad \omega_P = -\omega' \frac{c_d}{1 - c_d} \cdot \cos \gamma = 54.19 \cdot 3.451 = 187 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 29,76 \frac{\text{об}}{\text{с}};$$

$$\omega_{\text{Ц}} = \omega_P \left( 1 + \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma} i_1 i_2 \right) = 187 \left( 1 + \frac{1 - 0.79941}{0.79941 \cdot 0.866} 3 \cdot 0.55 \right) = 276.48 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 44 \frac{\text{об}}{\text{с}}.$$

Зовнішній редуктор з коефіцієнтом механічної передачі

$$i_K = 1 + \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma} i = 1 + \frac{1 - 0.79941}{0.79941 \cdot 0.866} 3 \cdot 0.55 = 1.478, \text{ з'єднаний із двигуном ротора, вирівнює}$$

$$\text{його обороти із двигуном центрального колеса } 29,79 \cdot 1,478 = 44 \frac{\text{об}}{\text{с}}.$$

- 10 У зв'язку з тим, що в другій кліті швидкості валків, ротора, центрального колеса в 27 разів більше, ніж в першій кліті, тоді внутрішня редукція приводу ротора і центрального колеса анулюється і виконується в співвідношенні 1:1. Отже, циліндричний нерухомий корпус другої кліті трансформується у форму куба, а електродвигуни, один з них із пропонованим редуктором, установлюються по різні сторони кліті. Усе це не змінює суть пропонованого винаходу, тому на технологічній схемі фіг. 12 зазначена корекція другої кліті конкретно не показана. Другу кліть просто виконано в масштабі 1:3 стосовно першої.

Кінематика і динаміка гвинтової прокатки у великій і малій клітях протилежні один одному.

$$\text{Відношення моментів прокатки у двох клітях } \frac{M_1}{M_2} = \left( \frac{r_0}{r_1} \right)^3 = \frac{\omega_2}{\omega_1} \text{ обернено пропорціональне}$$

- 20 відношенню кутових швидкостей валків і рівне в кубі коефіцієнта геометричної подоби деформуючого металу в цих клітях. Тобто, у споживанні енергії дві кліті повністю ідентичні за умови рівності витяжок. Якщо мати справу з енергією такого складного об'єкта, значно полегшуються будь-які розрахунки розглянутої технології. А якщо керувати енергією або потужностями активних елементів кліті або електроприводами, а їх чотири у двох клітях, тоді узгодження загальної їхньої роботи більш оптимально здійснюється регуляторами потужностей
- 25 усіх зв'язаних приводів. Тому указана керована робота двох гвинтових агрегатів буде узгоджена з наступними елементами прокатного стану і попереднім тягнучим пристроєм безперервного розливання.

- Здавалося б, таке технологічно необхідне велике геометричне співвідношення двох клітей за збереженням споживаних потужностей (однакові витяжки), нелінійним чином вплине на розміри електродвигунів, у яких потужності повинні бути однаковими. Однак відомо, що в асинхронних двигунах з однаковими потужностями з ростом номінального моменту і з паралельним зменшенням швидкості, їх діаметр також росте пропорційно числу пар полюсів.

- 30 На стані 150 чорнова обробка металу в 17 - і клітях проводиться встановленою потужністю електроприводів на один рівчак близько 10 Мвт, що в п'ять раз більше пропонованої технології обтиску металу на двох гвинтових клітях.

- Відомо, що останнім часом обтискна група горизонтальних клітей поздовжньої прокатки комплектується вертикальними клітями, які чергуються, що дозволило ліквідувати операцію кантування металу. Але кількість клітей можливо значно зменшити, застосовуючи тільки технологію гвинтової прокатки в планетарному виконанні. Тому й ця модернізована технологія поздовжньої прокатки уступає пропонованій технології, де обтиск металу з великою витяжкою здійснюється з мінімальним його розширенням, за рахунок чого і заощаджується споживана енергія.

- 40 Кліть гвинтова тривалкова планетарна консольна обтискна, що заявляється, забезпечує оптимальну технологію прокатки за рахунок вибору оптимального кута схрещування між осями прокатки і валка, що видно з наведених таблиць, кінематичних співвідношень механізму подвійного приводу кліті і профілювання валків і зони деформації. Прокатка в кліті, що заявляється, де радіуси валків пропорційно більше радіусів зони деформації у співвідношенні 4:1 забезпечує мінімальний знос валків, дозволяє вести процес деформації без обертання і

скручування металу при великій витяжці і малих енерговитратах з максимальною швидкістю прокатки завдяки оптимальному співвідношенню характерних геометричних параметрів гвинтової прокатки  $d$  і  $\gamma$ .

Таблиця 1

$r_0=75$  мм,  $r_1=25$  мм,  $\omega'=2.007$  рад/с

| 1               | 2       | 3        | 4           | 5              | 6                     | 7               | 8                      | 9                                   |
|-----------------|---------|----------|-------------|----------------|-----------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------------|
| $\gamma$ , град | $c_d$   | $d$ , мм | $r'_1$ , мм | $\beta$ , град | $\beta_{\min}$ , град | $\alpha$ , град | $\alpha_{\max}$ , град | $z_0$ , мм<br>(при $\beta_{\min}$ ) |
| 15              | 0,85076 | 167,51   | 142,51      | 2,29           | 2,047                 | 12,71           | 12,953                 | 1977,9131                           |
| 16              | 0,84858 | 165,106  | 140,106     | 2,4861         | 2,19                  | 13,514          | 13,81                  | 1849,3634                           |
| 17              | 0,84625 | 162,602  | 137,602     | 2,6913         | 2,333                 | 14,309          | 14,667                 | 1735,6358                           |
| 18              | 0,84376 | 160,006  | 135,006     | 2,9062         | 2,478                 | 15,094          | 15,522                 | 1634,2596                           |
| 19              | 0,8411  | 157,327  | 132,327     | 3,1318         | 2,623                 | 15,868          | 16,377                 | 1543,2842                           |
| 20              | 0,83826 | 154,572  | 129,572     | 3,369          | 2,771                 | 16,631          | 17,229                 | 1461,1492                           |
| 21              | 0,83526 | 151,751  | 126,751     | 3,6185         | 2,919                 | 17,381          | 18,081                 | 1386,5914                           |
| 22              | 0,83207 | 148,871  | 123,871     | 3,8815         | 3,07                  | 18,119          | 18,93                  | 1318,5773                           |
| 23              | 0,8287  | 145,94   | 120,94      | 4,1589         | 3,222                 | 18,841          | 19,778                 | 1256,253                            |
| 24              | 0,82513 | 142,967  | 117,967     | 4,4518         | 3,375                 | 19,548          | 20,625                 | 1198,907                            |
| 25              | 0,82137 | 139,958  | 114,958     | 4,7614         | 3,531                 | 20,239          | 21,469                 | 1145,9417                           |
| 26              | 0,81741 | 136,921  | 111,921     | 5,089          | 3,689                 | 20,911          | 22,311                 | 1096,8514                           |
| 27              | 0,81324 | 133,864  | 108,864     | 5,4358         | 3,848                 | 21,564          | 23,152                 | 1051,2052                           |
| 28              | 0,80886 | 130,792  | 105,792     | 5,8032         | 4,01                  | 22,197          | 23,99                  | 1008,6341                           |
| 29              | 0,80425 | 127,712  | 102,712     | 6,1928         | 4,174                 | 22,807          | 24,826                 | 968,81961                           |
| 30              | 0,79941 | 124,631  | 99,6311     | 6,6061         | 4,341                 | 23,394          | 25,659                 | 931,48599                           |
| 31              | 0,79433 | 121,554  | 96,5542     | 7,0448         | 4,51                  | 23,955          | 26,49                  | 896,39301                           |
| 32              | 0,78901 | 118,487  | 93,4869     | 7,5108         | 4,682                 | 24,489          | 27,318                 | 863,33048                           |
| 33              | 0,78343 | 115,434  | 90,4344     | 8,0058         | 4,857                 | 24,994          | 28,143                 | 832,11372                           |
| 34              | 0,77758 | 112,401  | 87,4014     | 8,532          | 5,035                 | 25,468          | 28,965                 | 802,57982                           |
| 35              | 0,77146 | 109,392  | 84,3924     | 9,0915         | 5,216                 | 25,908          | 29,784                 | 774,58449                           |
| 36              | 0,76506 | 106,412  | 81,4115     | 9,6866         | 5,4                   | 26,313          | 30,6                   | 747,99951                           |
| 37              | 0,75837 | 103,463  | 78,4627     | 10,32          | 5,588                 | 26,68           | 31,412                 | 722,71058                           |
| 38              | 0,75137 | 100,549  | 75,5493     | 10,993         | 5,78                  | 27,007          | 32,22                  | 698,61544                           |
| 39              | 0,74405 | 97,6746  | 72,6746     | 11,71          | 5,975                 | 27,29           | 33,025                 | 675,62237                           |
| 40              | 0,7364  | 94,8415  | 69,8415     | 12,472         | 6,174                 | 27,528          | 33,826                 | 653,64887                           |
| 41              | 0,72842 | 92,0528  | 67,0528     | 13,283         | 6,378                 | 27,717          | 34,622                 | 632,62053                           |
| 42              | 0,72008 | 89,3108  | 64,3108     | 14,146         | 6,586                 | 27,854          | 35,414                 | 612,47009                           |
| 43              | 0,71138 | 86,6176  | 61,6176     | 15,064         | 6,798                 | 27,936          | 36,202                 | 593,13659                           |
| 44              | 0,70229 | 83,9753  | 58,9753     | 16,04          | 7,016                 | 27,96           | 36,984                 | 574,56468                           |
| 45              | 0,69282 | 81,3856  | 56,3856     | 17,076         | 7,239                 | 27,924          | 37,761                 | 556,70399                           |
| 46              | 0,68294 | 78,8499  | 53,8499     | 18,176         | 7,467                 | 27,824          | 38,533                 | 539,50862                           |
| 47              | 0,67264 | 76,3696  | 51,3696     | 19,343         | 7,701                 | 27,657          | 39,299                 | 522,93662                           |
| 48              | 0,66191 | 73,9457  | 48,9457     | 20,58          | 7,941                 | 27,42           | 40,059                 | 506,94965                           |
| 49              | 0,65074 | 71,5794  | 46,5794     | 21,889         | 8,187                 | 27,111          | 40,813                 | 491,51255                           |
| 50              | 0,6391  | 69,2714  | 44,2714     | 23,273         | 8,439                 | 26,727          | 41,561                 | 476,5931                            |
| 51              | 0,62699 | 67,0223  | 42,0223     | 24,732         | 8,699                 | 26,268          | 42,301                 | 462,16168                           |
| 52              | 0,61439 | 64,8328  | 39,8328     | 26,269         | 8,966                 | 25,731          | 43,034                 | 448,19106                           |
| 53              | 0,6013  | 62,7033  | 37,7033     | 27,883         | 9,24                  | 25,117          | 43,76                  | 434,65617                           |
| 54              | 0,58769 | 60,6341  | 35,6341     | 29,575         | 9,522                 | 24,425          | 44,478                 | 421,53393                           |
| 55              | 0,57356 | 58,6255  | 33,6255     | 31,342         | 9,813                 | 23,658          | 45,187                 | 408,80304                           |
| 56              | 0,55891 | 56,6775  | 31,6775     | 33,183         | 10,11                 | 22,817          | 45,887                 | 396,44388                           |
| 57              | 0,54371 | 54,7902  | 29,7902     | 35,093         | 10,42                 | 21,907          | 46,578                 | 384,4383                            |
| 58              | 0,52798 | 52,9636  | 27,9636     | 37,067         | 10,74                 | 20,933          | 47,259                 | 372,76959                           |
| 59              | 0,5117  | 51,1977  | 26,1977     | 39,1           | 11,07                 | 19,9            | 47,93                  | 361,42231                           |
| 60              | 0,49487 | 49,4924  | 24,4924     | 41,183         | 11,41                 | 18,817          | 48,59                  | 350,38219                           |

| 1               | 10                        | 11  | 12                                 | 13  | 14                                 |
|-----------------|---------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|
| $\gamma$ , град | $z_0$ , мм (при $\beta$ ) | $z'_0$ , мм<br>(при $\alpha_{\max}, \beta_{\min}$ ) | $z'_0$ , мм (при $\alpha, \beta$ ) | $r'_0$ , мм<br>(при $\alpha_{\max}, \beta_{\min}$ ) | $r'_0$ , мм (при $\alpha, \beta$ ) |
| 15              | 1768,206                  | 1928,8187   | 1726,2572                          | 465,9485  | 414,606                            |
| 16              | 1628,589                  | 1797,2127   | 1584,991                           | 463,4665  | 405,877                            |
| 17              | 1504,291                  | 1680,4706   | 1459,2347                          | 460,852   | 396,813                            |
| 18              | 1392,854                  | 1576,124  | 1346,5336                          | 458,1093  | 387,448                            |
| 19              | 1292,337                  | 1482,225  | 1244,9495                          | 455,2422  | 377,816                            |
| 20              | 1201,187                  | 1397,2156   | 1152,9309                          | 452,2549 1  | 367,953                            |
| 21              | 1118,147                  | 1319,8351   | 1069,2204                          | 449,1514  | 357,891                            |
| 22              | 1042,186                  | 1249,0523   | 992,78664                          | 445,9356  | 347,664                            |
| 23              | 972,4517                  | 1184,0158   | 922,77541                          | 442,6111  | 337,305                            |
| 24              | 908,2319                  | 1124,0167   | 858,47178                          | 439,1818  | 326,845                            |
| 25              | 848,9262                  | 1068,4595   | 799,27204                          | 435,6512  | 316,315                            |
| 26              | 794,0245                  | 1016,841  | 744,66197                          | 432,0227  | 305,745                            |
| 27              | 743,0901                  | 968,7327  | 694,20007                          | 428,2997  | 295,162                            |
| 28              | 695,7465                  | 923,76768   | 647,50432                          | 424,4854  | 284,593                            |
| 29              | 651,6668                  | 881,62994   | 604,24181                          | 420,5828  | 274,064                            |
| 30              | 610,5654                  | 842,04587   | 564,12045                          | 416,5948  | 263,599                            |
| 31              | 572,1913                  | 804,77747   | 526,88234                          | 412,5244  | 253,22                             |
| 32              | 536,3226                  | 769,61672   | 492,29835                          | 408,3741  | 242,949                            |
| 33              | 502,7624                  | 736,38108   | 460,1638                           | 404,1467  | 232,804                            |
| 34              | 471,3345                  | 704,90973   | 430,29488                          | 399,8445  | 222,804                            |
| 35              | 441,881                   | 675,06044   | 402,5257                           | 395,4701  | 212,965                            |
| 36              | 414,2597                  | 646,70701   | 376,70584                          | 391,0258  | 203,302                            |
| 37              | 388,3419                  | 619,73708   | 352,69836                          | 386,5138  | 193,829                            |
| 38              | 364,0106                  | 594,05032   | 330,37811                          | 381,9364  | 184,558                            |
| 39              | 341,1593                  | 569,55687   | 309,63028                          | 377,2958  | 175,5                              |
| 40              | 319,6907                  | 546,17603   | 290,3492                           | 372,5942  | 166,665                            |
| 41              | 299,5152                  | 523,83515   | 272,43736                          | 367,8336  | 158,061                            |
| 42              | 280,5507                  | 502,46866   | 255,80449                          | 363,0162  | 149,695                            |
| 43              | 262,7214                  | 482,0172  | 240,36686                          | 358,144   | 141,574                            |
| 44              | 245,9573                  | 462,427   | 226,0466                           | 353,2194  | 133,701                            |
| 45              | 230,1932                  | 443,64917   | 212,77118                          | 348,2443  | 126,082                            |
| 46              | 215,369                   | 425,63918   | 200,4729                           | 343,221   | 118,719                            |
| 47              | 201,4286                  | 408,35643   | 189,08848                          | 338,1517  | 111,615                            |
| 48              | 188,3196                  | 391,7638  | 178,55868                          | 333,0387  | 104,77                             |
| 49              | 175,9933                  | 375,82727   | 168,828                            | 327,8843  | 98,1854                            |
| 50              | 164,404                   | 360,51566   | 159,84435                          | 322,6909  | 91,8608                            |
| 51              | 153,509                   | 345,80028   | 151,55884                          | 317,4609  | 85,7951                            |
| 52              | 143,2682                  | 331,65474   | 143,92551                          | 312,1971  | 79,9868                            |
| 53              | 133,6442                  | 318,05467   | 136,90113                          | 306,9019  | 74,4338                            |
| 54              | 124,6015                  | 304,97757   | 130,44505                          | 301,5781  | 69,1333                            |
| 55              | 116,1069                  | 292,40259   | 124,51898                          | 296,2285  | 64,082                             |
| 56              | 108,1292                  | 280,31041   | 119,08686                          | 290,8561  | 59,2764                            |
| 57              | 100,6387                  | 268,68307   | 114,11475                          | 285,464   | 54,7123                            |
| 58              | 93,60781                  | 257,50384   | 109,57064                          | 280,0552  | 50,3851                            |
| 59              | 87,01009                  | 246,75713   | 105,42439                          | 274,6331  | 46,2901                            |
| 60              | 80,82071                  | 236,42834   | 101,6476                           | 269,201   | 42,422                             |

Продовження табл. 1

| 1               | 15                        | 16                | 17           |
|-----------------|---------------------------|-------------------|--------------|
| $\gamma$ , град | $Z_{\text{отн}}, Z_0=600$ | $K_{\text{ВПср}}$ | $V_z$ , мм/с |
| 15              | 3,58188                   | 0,2380406         | 74,04164     |
| 16              | 3,63403                   | 0,2506284         | 77,52288     |
| 17              | 3,68999                   | 0,2626419         | 80,75978     |
| 18              | 3,74986                   | 0,2740641         | 83,74729,    |
| 19              | 3,81372                   | 0,2848806         | 86,48174     |
| 20              | 3,88168                   | 0,2950806         | 88,96077     |
| 21              | 3,95385                   | 0,304656          | 91,18326     |
| 22              | 4,03034                   | 0,3136015         | 93,1493      |
| 23              | 4,11127                   | 0,3219149         | 94,86013     |
| 24              | 4,19678                   | 0,3295965         | 96,31805     |
| 25              | 4,287                     | 0,3366492         | 97,52638     |
| 26              | 4,38208                   | 0,3430783         | 98,48933     |
| 27              | 4,48218                   | 0,3488915         | 99,212       |
| 28              | 4,58745                   | 0,3540982         | 99,70021     |
| 29              | 4,69806                   | 0,3587101         | 99,96049     |
| 30              | 4,81421                   | 0,3627401         | 100          |
| 31              | 4,93607                   | 0,3662032         | 99,82641     |
| 32              | 5,06385                   | 0,3691152         | 99,44786     |
| 33              | 5,19776                   | 0,3714934         | 98,87289     |
| 34              | 5,33801                   | 0,373356          | 98,11036     |
| 35              | 5,48484                   | 0,374722          | 97,1694      |
| 36              | 5,63849                   | 0,3756113         | 96,05934     |
| 37              | 5,79919                   | 0,3760441         | 94,78966     |
| 38              | 5,96722                   | 0,3760414         | 93,36995     |
| 39              | 6,14285                   | 0,3756241         | 91,80983     |
| 40              | 6,32634                   | 0,3748136         | 90,11894     |
| 41              | 6,518                     | 0,3736315         | 88,3069      |
| 42              | 6,71811                   | 0,3720994         | 86,38325     |
| 43              | 6,92699                   | 0,3702387         | 84,35743     |
| 44              | 7,14495                   | 0,368071          | 82,23879     |
| 45              | 7,37231                   | 0,3656176         | 80,0365      |
| 46              | 7,6094                    | 0,3628996         | 77,75956     |
| 47              | 7,85653                   | 0,3599381         | 75,41681     |
| 48              | 8,11406                   | 0,3567538         | 73,01686     |
| 49              | 8,3823                    | 0,3533671         | 70,56813     |
| 50              | 8,66159                   | 0,3497984         | 68,07879     |
| 51              | 8,95224                   | 0,3460674         | 65,55679     |
| 52              | 9,25457                   | 0,3421938         | 63,00984     |
| 53              | 9,56887                   | 0,3381971         | 60,44541     |
| 54              | 9,89542                   | 0,3340963         | 57,8707      |
| 55              | 10,2345                   | 0,3299103         | 55,29268     |
| 56              | 10,5862                   | 0,3256578         | 52,71807     |
| 57              | 10,9509                   | 0,3213571         | 50,15331     |
| 58              | 11,3285                   | 0,3170266         | 47,60463     |
| 59              | 11,7193                   | 0,3126843         | 45,07798     |
| 60              | 12,1231                   | 0,3083483         | 42,57909     |



Таблица 2

$r_0=25$  мм,  $r_1=8,333$  мм,  $\omega'=54,2001$  рад/с

| 1               | 2       | 3        | 4           | 5              | 6                    | 7               | 8                     | 9                                  |
|-----------------|---------|----------|-------------|----------------|----------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|
| $\gamma$ , град | $C_d$   | $d$ , мм | $r_1'$ , мм | $\beta$ , град | $\beta_{min}$ , град | $\alpha$ , град | $\alpha_{max}$ , град | $Z_0$ , мм<br>(при $\beta_{min}$ ) |
| 15              | 0,85076 | 55,8364  | 47,5031     | 2,29           | 2,047                | 12,71           | 12,953                | 659,30471                          |
| 16              | 0,84858 | 55,0351  | 46,7018     | 2,486          | 2,19                 | 13,514          | 13,81                 | 616,45479                          |
| 17              | 0,84625 | 54,2005  | 45,8672     | 2,691          | 2,333                | 14,309          | 14,667                | 578,54556                          |
| 18              | 0,84376 | 53,3352  | 45,0019     | 2,906          | 2,478                | 15,094          | 15,522                | 544,75347                          |
| 19              | 0,8411  | 52,442   | 44,1087     | 3,132          | 2,623                | 15,868          | 16,377                | 514,42833                          |
| 20              | 0,83826 | 51,5239  | 43,1906     | 3,369          | 2,771                | 16,631          | 17,229                | 487,04999                          |
| 21              | 0,83526 | 50,5834  | 42,2501     | 3,619          | 2,919                | 17,381          | 18,081                | 462,19738                          |
| 22              | 0,83207 | 49,6234  | 41,2901     | 3,881          | 3,07                 | 18,119          | 18,93                 | 439,52598                          |
| 23              | 0,8287  | 48,6465  | 40,3132     | 4,159          | 3,222                | 18,841          | 19,778                | 418,7512                           |
| 24              | 0,82513 | 47,6554  | 39,3221     | 4,452          | 3,375                | 19,548          | 20,625                | 399,63586                          |
| 25              | 0,82137 | 46,6525  | 38,3192     | 4,761          | 3,531                | 20,239          | 21,469                | 381,98075                          |
| 26              | 0,81741 | 45,6402  | 37,3069     | 5,089          | 3,689                | 20,911          | 22,311                | 365,6173                           |
| 27              | 0,81324 | 44,621   | 36,2877     | 5,436          | 3,848                | 21,564          | 23,152                | 350,40192                          |
| 28              | 0,80886 | 43,5971  | 35,2638     | 5,803          | 4,01                 | 22,197          | 23,99                 | 336,21153                          |
| 29              | 0,80425 | 42,5706  | 34,2373     | 6,193          | 4,174                | 22,807          | 24,826                | 322,94003                          |
| 30              | 0,79941 | 41,5435  | 33,2102     | 6,606          | 4,341                | 23,394          | 25,659                | 310,49549                          |
| 31              | 0,79433 | 40,5179  | 32,1846     | 7,045          | 4,51                 | 23,955          | 26,49                 | 298,79782                          |
| 32              | 0,78901 | 39,4955  | 31,1622     | 7,511          | 4,682                | 24,489          | 27,318                | 287,77697                          |
| 33              | 0,78343 | 38,478   | 30,1447     | 8,006          | 4,857                | 24,994          | 28,143                | 277,37138                          |
| 34              | 0,77758 | 37,467   | 29,1337     | 8,532          | 5,035                | 25,468          | 28,965                | 267,52674                          |
| 35              | 0,77146 | 36,464   | 28,1307     | 9,092          | 5,216                | 25,908          | 29,784                | 258,19496                          |
| 36              | 0,76506 | 35,4704  | 27,1371     | 9,687          | 5,4                  | 26,313          | 30,6                  | 249,3333                           |
| 37              | 0,75837 | 34,4874  | 26,1541     | 10,32          | 5,588                | 26,68           | 31,412                | 240,90365                          |
| 38              | 0,75137 | 33,5163  | 25,183      | 10,99          | 5,78                 | 27,007          | 32,22                 | 232,87193                          |
| 39              | 0,74405 | 32,5581  | 24,2248     | 11,71          | 5,975                | 27,29           | 33,025                | 225,20757                          |
| 40              | 0,7364  | 31,6137  | 23,2804     | 12,47          | 6,174                | 27,528          | 33,826                | 217,88307                          |
| 41              | 0,72842 | 30,6841  | 22,3508     | 13,28          | 6,378                | 27,717          | 34,622                | 210,87362                          |
| 42              | 0,72008 | 29,7701  | 21,4368     | 14,15          | 6,586                | 27,854          | 35,414                | 204,1568                           |
| 43              | 0,71138 | 28,8724  | 20,5391     | 15,06          | 6,798                | 27,936          | 36,202                | 197,71229                          |
| 44              | 0,70229 | 27,9917  | 19,6584     | 16,04          | 7,016                | 27,96           | 36,984                | 191,52165                          |
| 45              | 0,69282 | 27,1284  | 18,7951     | 17,08          | 7,239                | 27,924          | 37,761                | 185,56809                          |
| 46              | 0,68294 | 26,2832  | 17,9499     | 18,18          | 7,467                | 27,824          | 38,533                | 179,8363                           |
| 47              | 0,67264 | 25,4564  | 17,1231     | 19,34          | 7,701                | 27,657          | 39,299                | 174,31229                          |
| 48              | 0,66191 | 24,6485  | 16,3152     | 20,58          | 7,941                | 27,42           | 40,059                | 168,9833                           |
| 49              | 0,65074 | 23,8597  | 15,5264     | 21,89          | 8,187                | 27,111          | 40,813                | 163,8376                           |
| 50              | 0,6391  | 23,0904  | 14,7571     | 23,27          | 8,439                | 26,727          | 41,561                | 158,86445                          |
| 51              | 0,62699 | 22,3407  | 14,0074     | 24,73          | 8,699                | 26,268          | 42,301                | 154,05397                          |
| 52              | 0,61439 | 21,6109  | 13,2776     | 26,27          | 8,966                | 25,731          | 43,034                | 149,39709                          |
| 53              | 0,6013  | 20,901   | 12,5677     | 27,88          | 9,24                 | 25,117          | 43,76                 | 144,88546                          |
| 54              | 0,58769 | 20,2113  | 11,878      | 29,57          | 9,522                | 24,425          | 44,478                | 140,51138                          |
| 55              | 0,57356 | 19,5417  | 11,2084     | 31,34          | 9,813                | 23,658          | 45,187                | 136,26775                          |
| 56              | 0,55891 | 18,8924  | 10,5591     | 33,18          | 10,11                | 22,817          | 45,887                | 132,14802                          |
| 57              | 0,54371 | 18,2633  | 9,93002     | 35,09          | 10,42                | 21,907          | 46,578                | 128,14616                          |
| 58              | 0,52798 | 17,6545  | 9,32118     | 37,07          | 10,74                | 20,933          | 47,259                | 124,25659                          |
| 59              | 0,5117  | 17,0658  | 8,73255     | 39,1           | 11,07                | 19,9            | 47,93                 | 120,47416                          |
| 60              | 0,49487 | 16,4974  | 8,16409     | 41,18          | 11,41                | 18,817          | 48,59                 | 116,79412                          |

Продовження табл. 2

| 1               | 10                        | 11  | 12                                 | 13  | 14                                 |
|-----------------|---------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|
| $\gamma$ , град | $z_0$ , мм (при $\beta$ ) | $z'_0$ , мм<br>(при $\alpha_{\max}, \beta_{\min}$ ) | $z'_0$ , мм (при $\alpha, \beta$ ) | $r'_0$ , мм<br>(при $\alpha_{\max}, \beta_{\min}$ ) | $r'_0$ , мм (при $\alpha, \beta$ ) |
| 15              | 589,4023                  | 642,93987   | 575,41934                          | 155,3162  | 138,202                            |
| 16              | 542,8634                  | 599,07121   | 528,3306                           | 154,4888  | 135,292                            |
| 17              | 501,4307                  | 560,15714   | 486,41181                          | 153,6174  | 132,271                            |
| 18              | 464,2849                  | 525,37494   | 448,84475                          | 152,7031  | 129,149                            |
| 19              | 430,7791                  | 494,07526   | 414,98337                          | 151,7474  | 125,939                            |
| 20              | 400,3958                  | 465,73878   | 384,3105                           | 150,7517  | 122,651                            |
| 21              | 372,7158                  | 439,94524   | 356,40696                          | 149,7172  | 119,297                            |
| 22              | 347,3955                  | 416,35096   | 330,92904                          | 148,6452  | 115,888                            |
| 23              | 324,1507                  | 394,67214   | 307,59196                          | 147,5371  | 112,435                            |
| 24              | 302,7441                  | 374,67241   | 286,1574                           | 146,394   | 108,948                            |
| 25              | 282,9755                  | 356,15334   | 266,42415                          | 145,2171  | 105,438                            |
| 26              | 264,6749                  | 338,94717   | 248,22078                          | 144,0076  | 101,915                            |
| 27              | 247,6968                  | 322,91106   | 231,40014                          | 142,7666  | 98,3872                            |
| 28              | 231,9156                  | 307,92271   | 215,83488                          | 141,4952  | 94,8643                            |
| 29              | 217,2224                  | 293,87679   | 201,41404                          | 140,1943  | 91,3547                            |
| 30              | 203,5219                  | 280,6821  | 188,04024                          | 138,865   | 87,8664                            |
| 31              | 190,7305                  | 268,25929   | 175,62753                          | 137,5082  | 84,4068                            |
| 32              | 178,7743                  | 256,53903   | 164,09953                          | 136,1247  | 80,9829                            |
| 33              | 167,5875                  | 245,46048   | 153,38801                          | 134,7156  | 77,6013                            |
| 34              | 157,1116                  | 234,97003   | 143,4317                           | 133,2815  | 74,2679                            |
| 35              | 147,2937                  | 225,02026   | 134,1753                           | 131,8234  | 70,9882                            |
| 36              | 138,0866                  | 215,56911   | 125,56867                          | 130,342   | 67,7673                            |
| 37              | 129,4474                  | 206,57913   | 117,56618                          | 128,838   | 64,6096                            |
| 38              | 121,3369                  | 198,01687   | 110,12609                          | 127,3122  | 61,5194                            |
| 39              | 113,7198                  | 189,85238   | 103,21014                          | 125,7653  | 58,5001                            |
| 40              | 106,5636                  | 182,05877   | 96,783115                          | 124,1981  | 55,5551                            |
| 41              | 99,83844                  | 174,61181   | 90,812498                          | 122,6112  | 52,687                             |
| 42              | 93,51695                  | 167,48964   | 85,268206                          | 121,0054  | 49,8984                            |
| 43              | 87,57386                  | 160,67248   | 80,122327                          | 119,3814  | 47,1912                            |
| 44              | 81,98579                  | 154,14241   | 75,348906                          | 117,7398  | 44,567                             |
| 45              | 76,73111                  | 147,88313   | 70,923764                          | 116,0815  | 42,0273                            |
| 46              | 71,78971                  | 141,8798  | 66,824334                          | 114,407   | 39,573                             |
| 47              | 67,14289                  | 136,11888   | 63,029524                          | 112,7173  | 37,2049                            |
| 48              | 62,77323                  | 130,588   | 59,51959                           | 111,0129  | 34,9233                            |
| 49              | 58,66445                  | 125,27582   | 56,276027                          | 109,2948  | 32,7285                            |
| 50              | 54,80135                  | 120,17195   | 53,281477                          | 107,5637  | 30,6202                            |
| 51              | 51,16968                  | 115,26682   | 50,519639                          | 105,8204  | 28,5983                            |
| 52              | 47,7561                   | 110,55164   | 47,975193                          | 104,0657  | 26,6623                            |
| 53              | 44,54808                  | 106,01828   | 45,633734                          | 102,3007  | 24,8112                            |
| 54              | 41,53385                  | 101,65924   | 43,481706                          | 100,5261  | 23,0444                            |
| 55              | 38,70232                  | 97,467579   | 41,506347                          | 98,74288  | 21,3607                            |
| 56              | 36,04307                  | 93,43685  | 39,695641                          | 96,95208  | 19,7588                            |
| 57              | 33,54626                  | 89,561068   | 38,038268                          | 95,1547   | 18,2374                            |
| 58              | 31,20262                  | 85,834658   | 36,523564                          | 93,35177  | 16,795                             |
| 59              | 29,00338                  | 82,252418   | 35,14148                           | 91,5444   | 15,43                              |
| 60              | 26,94025                  | 78,809485   | 33,882549                          | 89,73372  | 14,1407                            |

Продовження табл. 2

| 1               | 15                        | 16                | 17           |
|-----------------|---------------------------|-------------------|--------------|
| $\gamma$ , град | $Z_{\text{отн}}, z_0=200$ | $K_{\text{вПср}}$ | $V_z$ , мм/с |
| 15              | 3,581893                  | 0,2380404         | 666,3747     |
| 16              | 3,634042                  | 0,2506282         | 697,706      |
| 17              | 3,690006                  | 0,2626417         | 726,838      |
| 18              | 3,749871                  | 0,2740638         | 753,7256     |
| 19              | 3,813735                  | 0,2848803         | 778,3357     |
| 20              | 3,881696                  | 0,2950803         | 800,6469     |
| 21              | 3,953864                  | 0,3046556         | 820,6493     |
| 22              | 4,030354                  | 0,3136011         | 838,3437     |
| 23              | 4,111289                  | 0,3219145         | 853,7411     |
| 24              | 4,196798                  | 0,329596          | 866,8625     |
| 25              | 4,28702                   | 0,3366487         | 877,7374     |
| 26              | 4,3821                    | 0,3430778         | 886,404      |
| 27              | 4,482194                  | 0,3488909         | 892,908      |
| 28              | 4,587463                  | 0,3540976         | 897,3018     |
| 29              | 4,69808                   | 0,3587094         | 899,6444     |
| 30              | 4,814226                  | 0,3627395         | 900          |
| 31              | 4,936089                  | 0,3662025         | 898,4377     |
| 32              | 5,063871                  | 0,3691145         | 895,0307     |
| 33              | 5,197779                  | 0,3714926         | 889,856      |
| 34              | 5,338034                  | 0,3733552         | 882,9932     |
| 35              | 5,484864                  | 0,3747212         | 874,5246     |
| 36              | 5,638509                  | 0,3756105         | 864,5341     |
| 37              | 5,799217                  | 0,3760433         | 853,107      |
| 38              | 5,967248                  | 0,3760405         | 840,3295     |
| 39              | 6,142873                  | 0,3756232         | 826,2884     |
| 40              | 6,326369                  | 0,3748127         | 811,0705     |
| 41              | 6,518026                  | 0,3736307         | 794,7621     |
| 42              | 6,718142                  | 0,3720985         | 777,4492     |
| 43              | 6,927023                  | 0,3702378         | 759,2169     |
| 44              | 7,144982                  | 0,3680701         | 740,1491     |
| 45              | 7,372342                  | 0,3656166         | 720,3285     |
| 46              | 7,609426                  | 0,3628987         | 699,8361     |
| 47              | 7,856566                  | 0,3599372         | 678,7513     |
| 48              | 8,114092                  | 0,3567529         | 657,1518     |
| 49              | 8,382334                  | 0,3533662         | 635,1132     |
| 50              | 8,661622                  | 0,3497974         | 612,7091     |
| 51              | 8,952276                  | 0,3460664         | 590,0111     |
| 52              | 9,254605                  | 0,3421929         | 567,0886     |
| 53              | 9,568907                  | 0,3381961         | 544,0087     |
| 54              | 9,895456                  | 0,3340954         | 520,8363     |
| 55              | 10,2345                   | 0,3299094         | 497,6341     |
| 56              | 10,58626                  | 0,3256568         | 474,4626     |
| 57              | 10,95091                  | 0,3213562         | 451,3798     |
| 58              | 11,32857                  | 0,3170257         | 428,4417     |
| 59              | 11,71931                  | 0,3126834         | 405,7019     |
| 60              | 12,12313                  | 0,3083474         | 383,2118     |

## ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 5 Кліть гвинтова тривалкова планетарна консольна обтискна, що містить розміщений у нерухомому корпусі механізм приводу кліті з центральним колесом і ротором, механізм валків зі своїм корпусом, поміщений у ротор кліті та зчленований з центральним колесом, при цьому осі робочих валків схрещуються з віссю прокатки під кутом  $\gamma$  і зміщені перпендикулярно осі

прокатки на найкоротшу відстань  $d = \frac{r_1}{1 - c_d}$ , а самі валки мають радіус  $r'(z) = \sqrt{c_d^2 d^2 + z^2 \tan^2 \alpha}$ ,

довжину  $z_0' = z_0 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$  і відповідну їм зону деформації з радіусом  $r(z) = \sqrt{r_1^2 + z^2 \tan^2 \beta}$ , довжиною

$z_0 = \frac{\sqrt{r_0^2 - r_1^2}}{\tan \beta}$ , обмежені кутом валка  $\sin \alpha_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \gamma$  і відповідно кутом зони деформації

$\beta_{\min} = \gamma - \alpha_{\max}$ , яка **відрізняється** тим, що механізм валків установлений так, що кут

5 схрещування осей валків і прокатки становить  $\gamma = 30^\circ$ , кут зони деформації  $\beta = \arctg[(1 - c_d) \tan 30^\circ]$ ,

відповідно кут валка  $\alpha = 30^\circ - \arctg[(1 - c_d) \tan 30^\circ]$ , при цьому центральне колесо кліті встановлено з

можливістю обертання відносно ротора з початковою кутовою швидкістю  $\omega_{\text{Ц}} = \omega_{\text{Р}}(1 + i \cdot i_{\text{М}})$ , а до

приводу ротора або центрального колеса, відповідно при парній або непарній кількості ступенів передач валкового механізму, з'єднаний зовнішній редуктор з коефіцієнтом механічної передачі

$$10 \quad i_K = \left( 1 + \frac{1 - c_d}{c_d \cos \gamma} \cdot i \right)^{(-1)^n},$$

де  $r_0$ ,  $r_1$  - радіуси підкату і розкату;

$$c_d = \frac{2\sqrt{3} \cos^2 \gamma}{1 + 3 \cos^2 \gamma};$$

$z'$  - вісь валка, координати точок якої відлічуються від найкоротшої відстані  $d$ ;

$z$  - вісь прокатки, координати точок якої відлічуються від найкоротшої відстані  $d$ ;

15  $i = (-1)^n \cdot i_1 \cdot i_2 \dots i_n$  - сумарний коефіцієнт передачі валкового механізму,  $n$  - кількість ступенів передач цього механізму;

$$i_{\text{М}} = \frac{\omega'}{\omega_{\text{М}}} = \frac{1 - c_d}{c_d \cdot \cos \gamma} - \text{коефіцієнт передачі обертання валка } \omega' \text{ і металу } \omega_{\text{М}};$$

$\omega_{\text{Ц}}$  - кутова швидкість обертання центрального колеса;

$\omega_{\text{Р}}$  - кутова швидкість обертання ротора, рівна зі зворотним знаком кутовій швидкості

20 обертання металу  $\omega_{\text{Р}} = -\omega_{\text{М}}$  при нерухомому роторі кліті;

$\omega' = \frac{V_0}{d \cdot c_d \sin \gamma}$  - початкова кутова швидкість валка при заданій швидкості  $V_0$  входу заготовки в кліть.

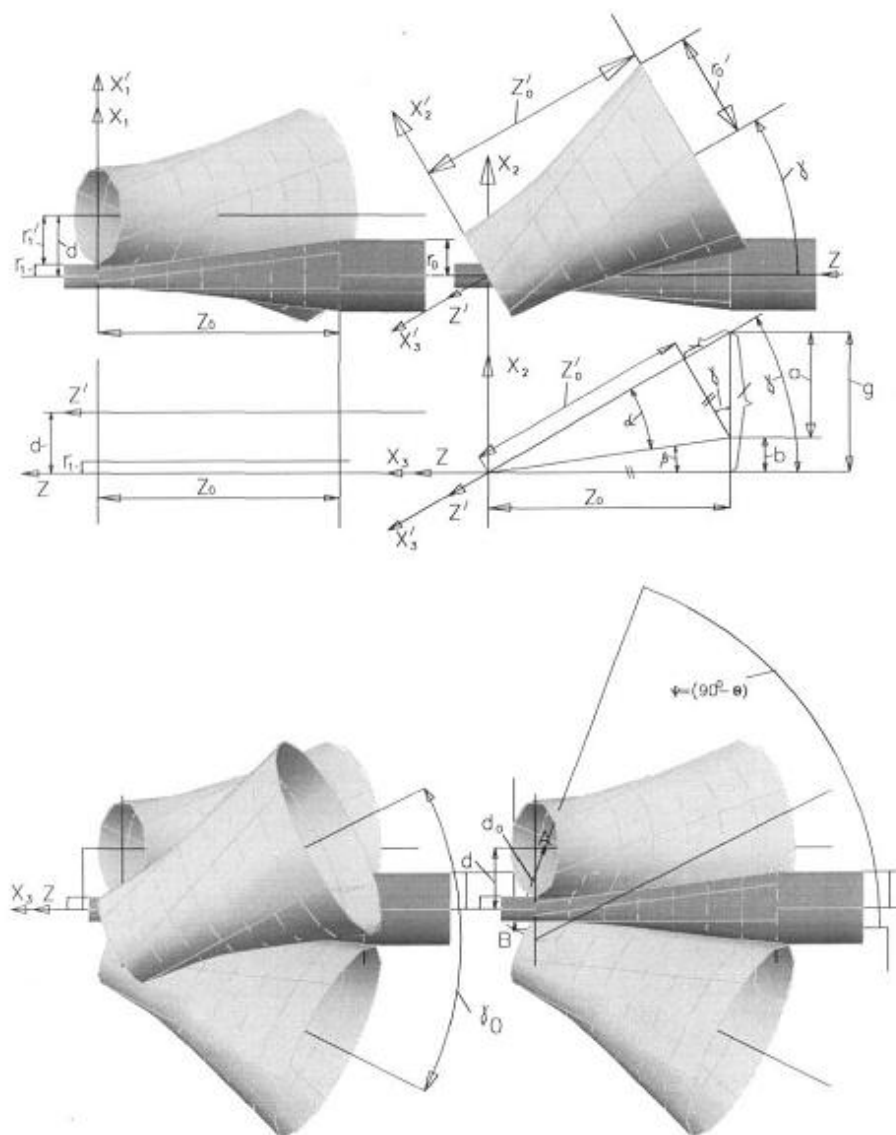
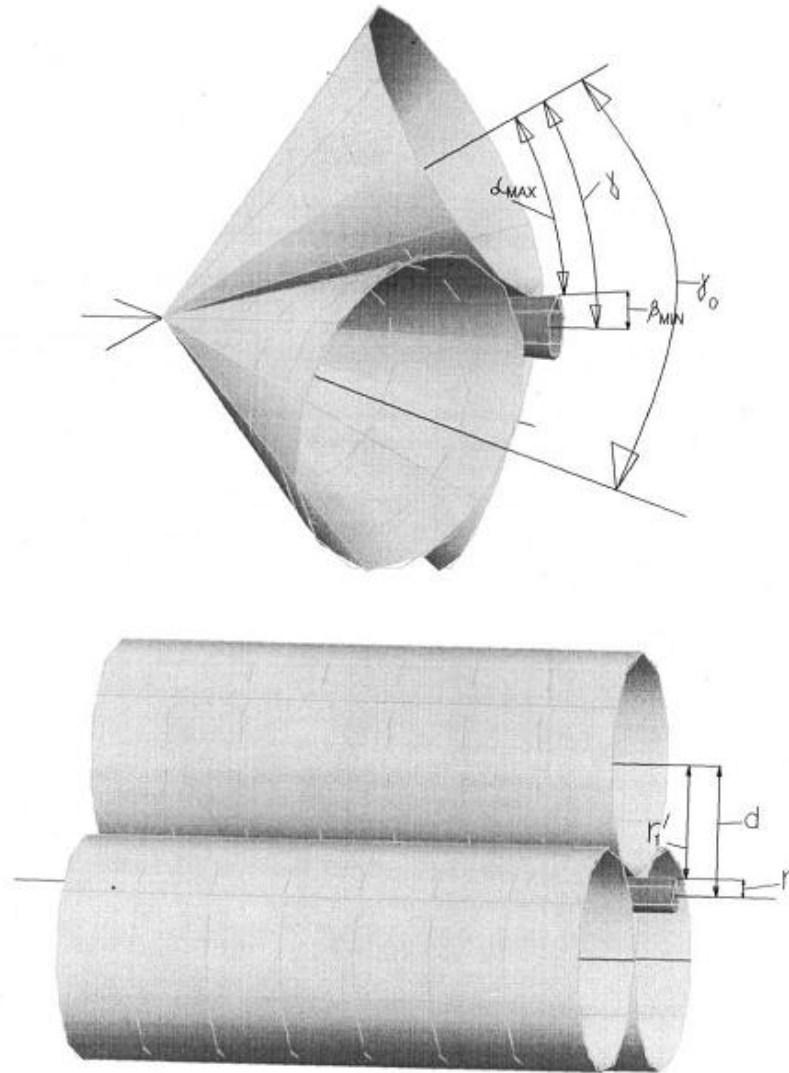


Fig. 1



Фиг. 2

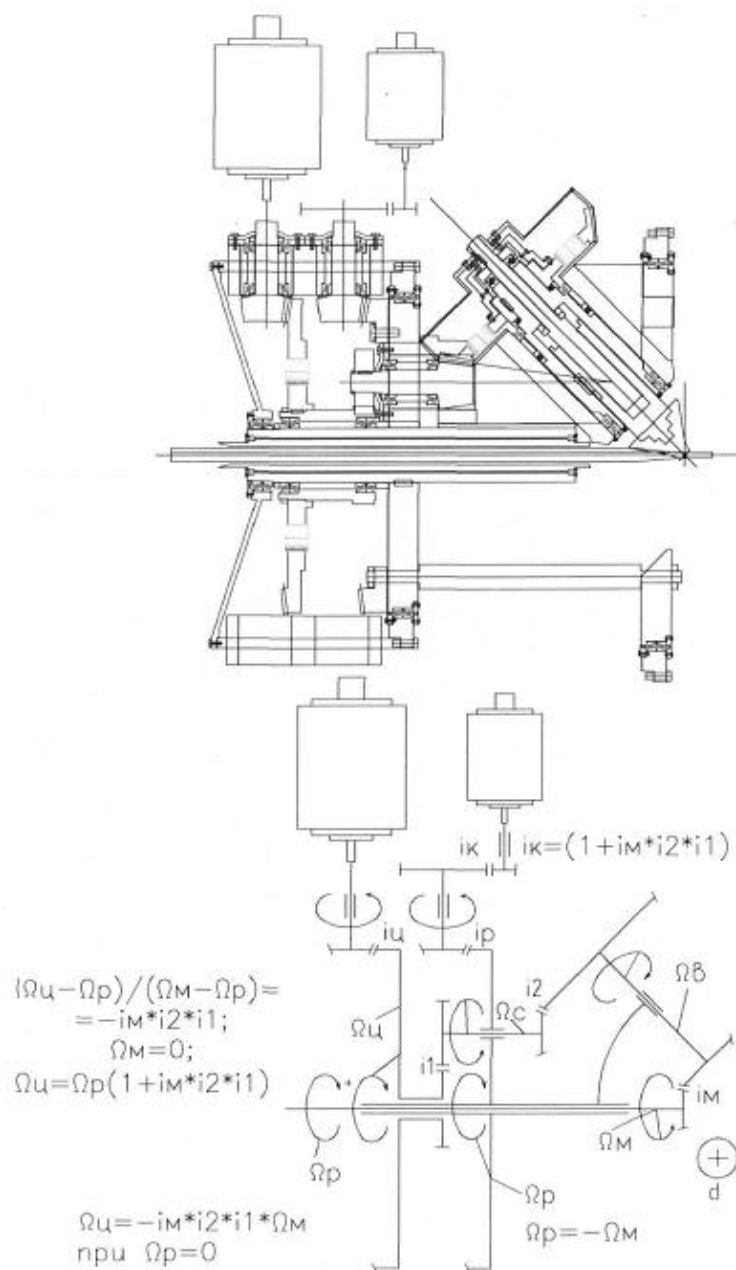


Fig. 3

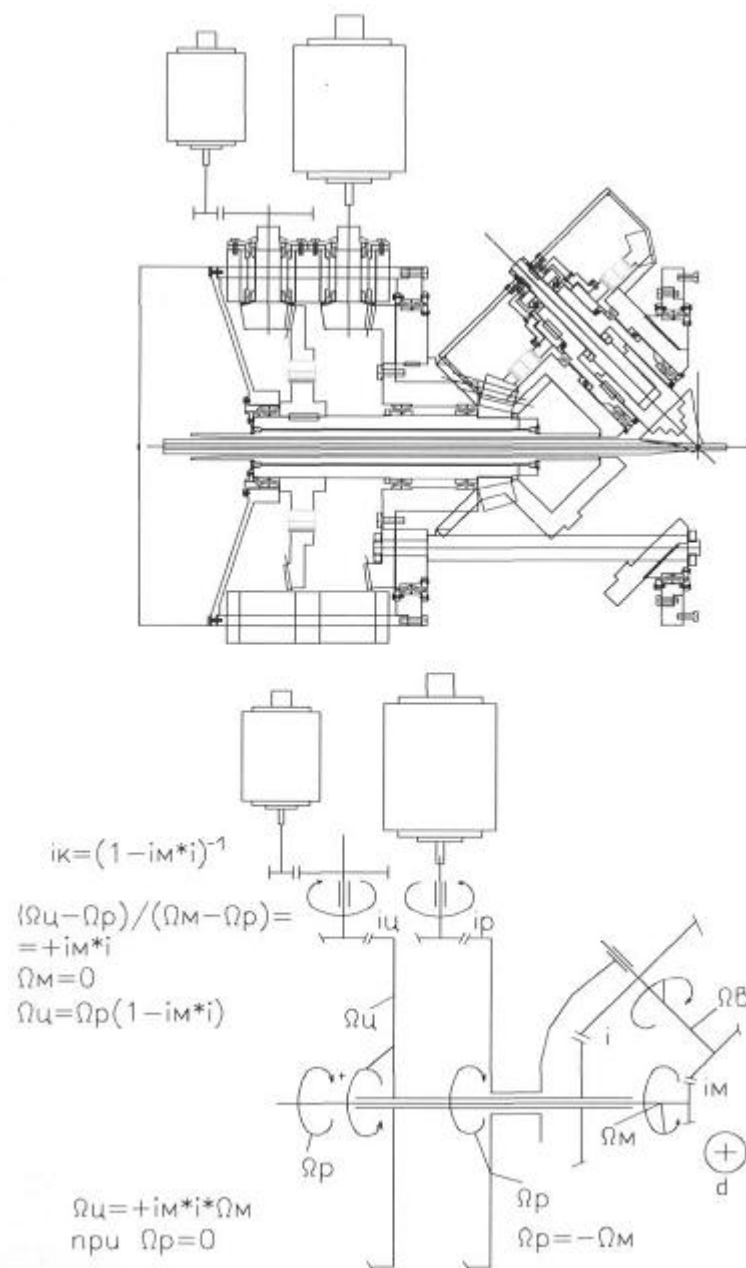


Fig. 4



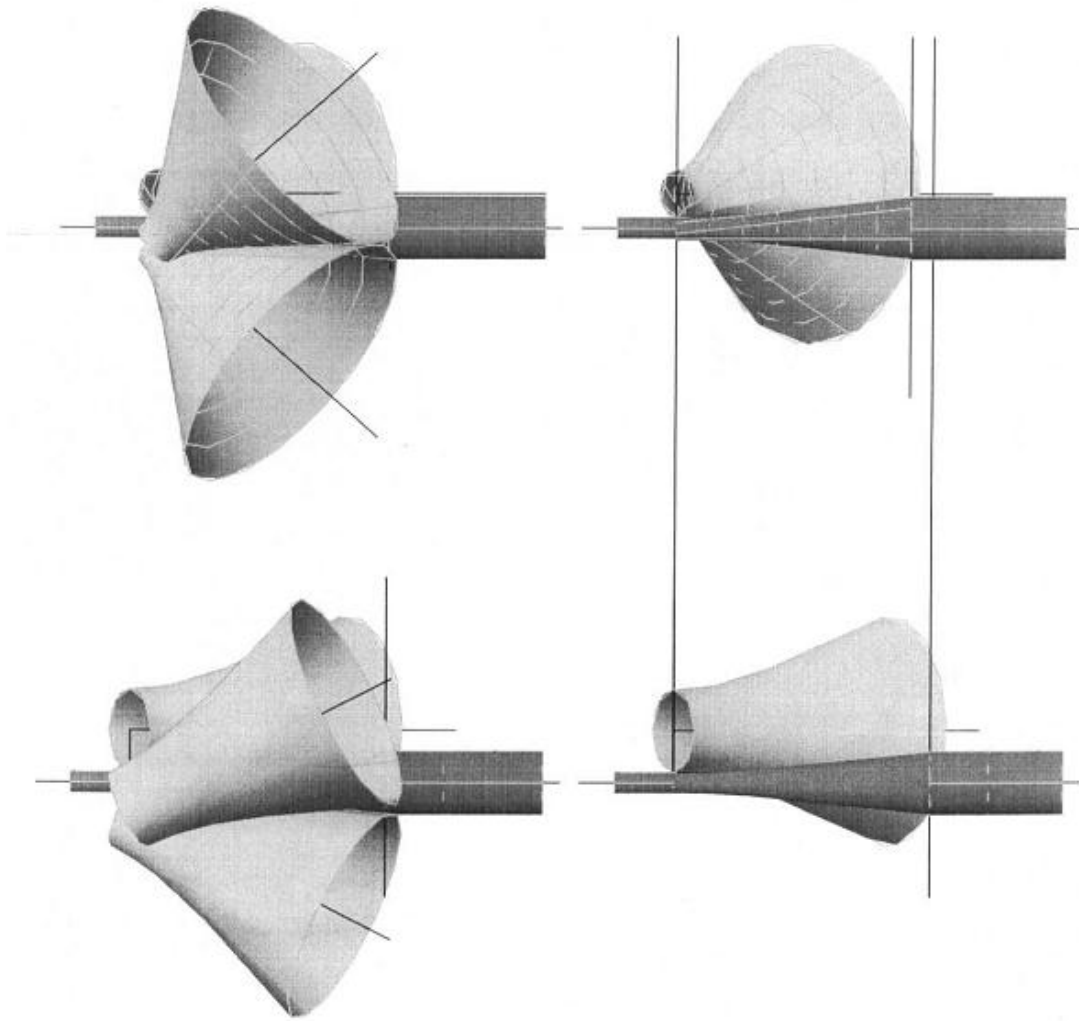
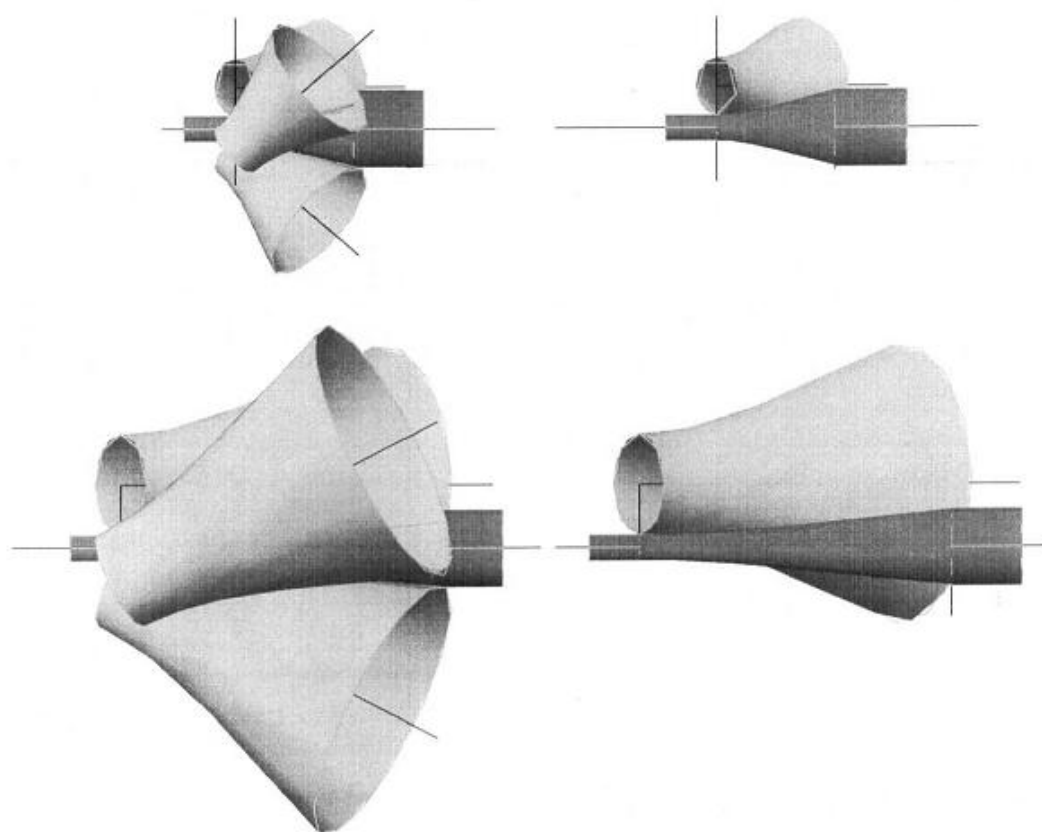
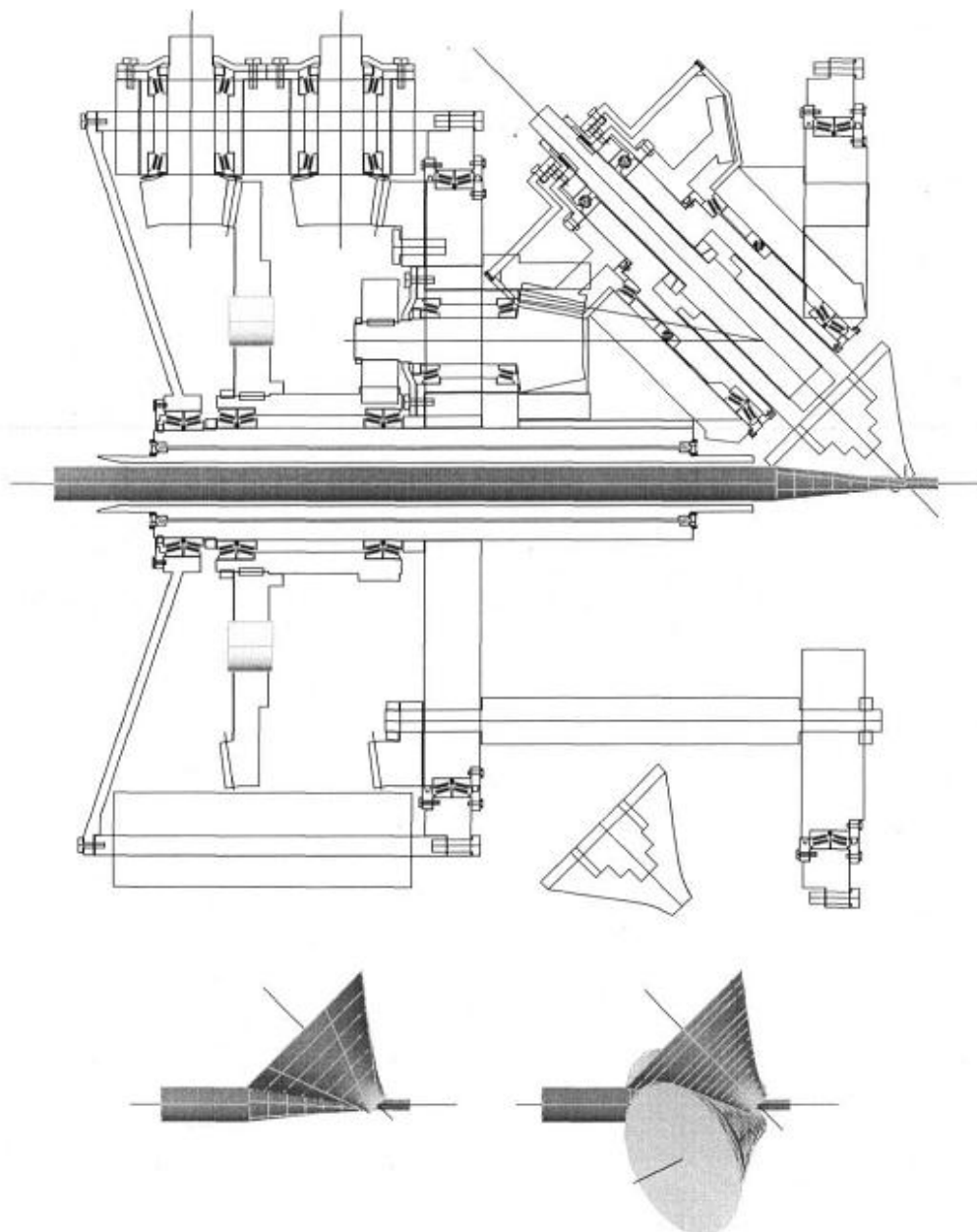


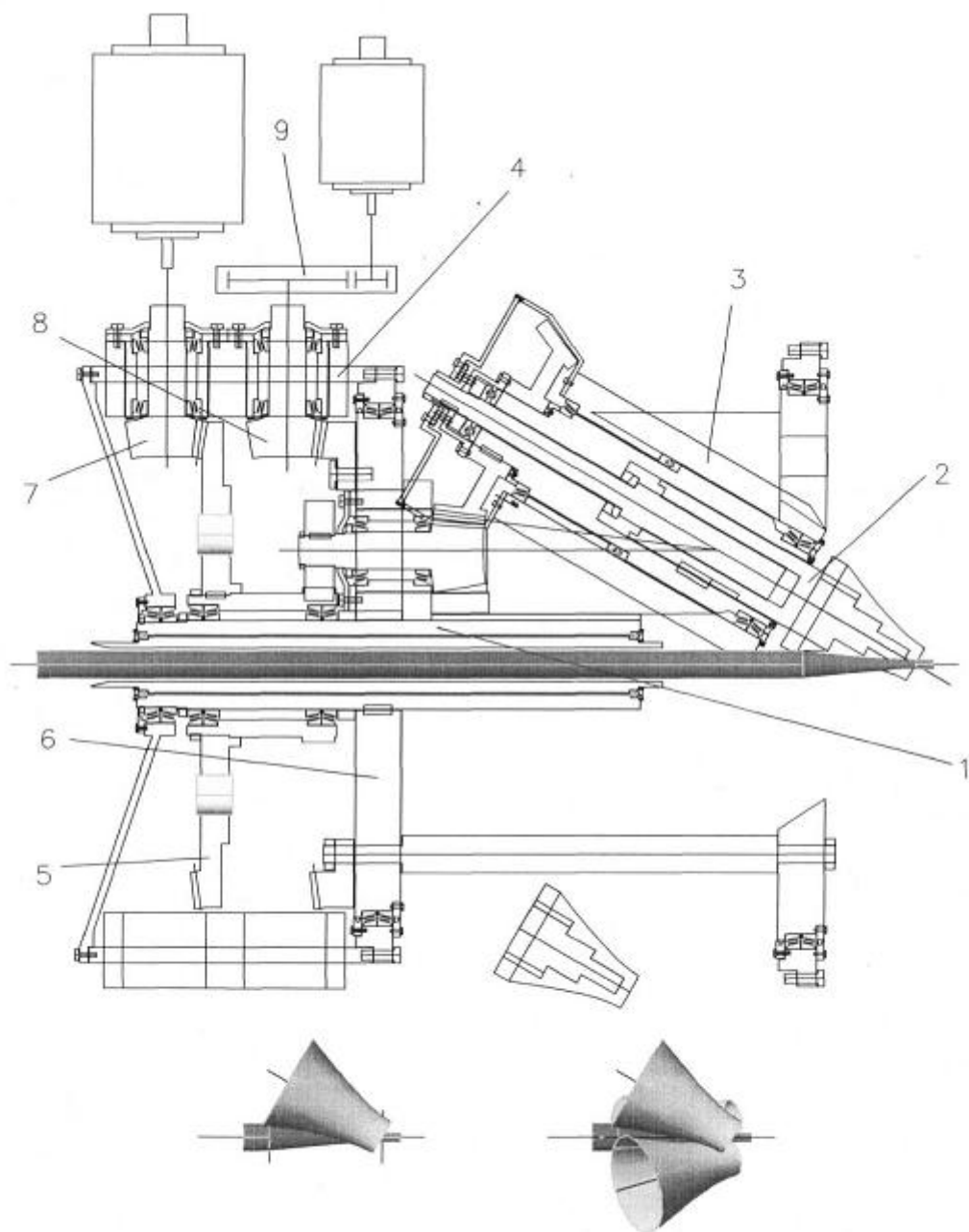
Fig. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

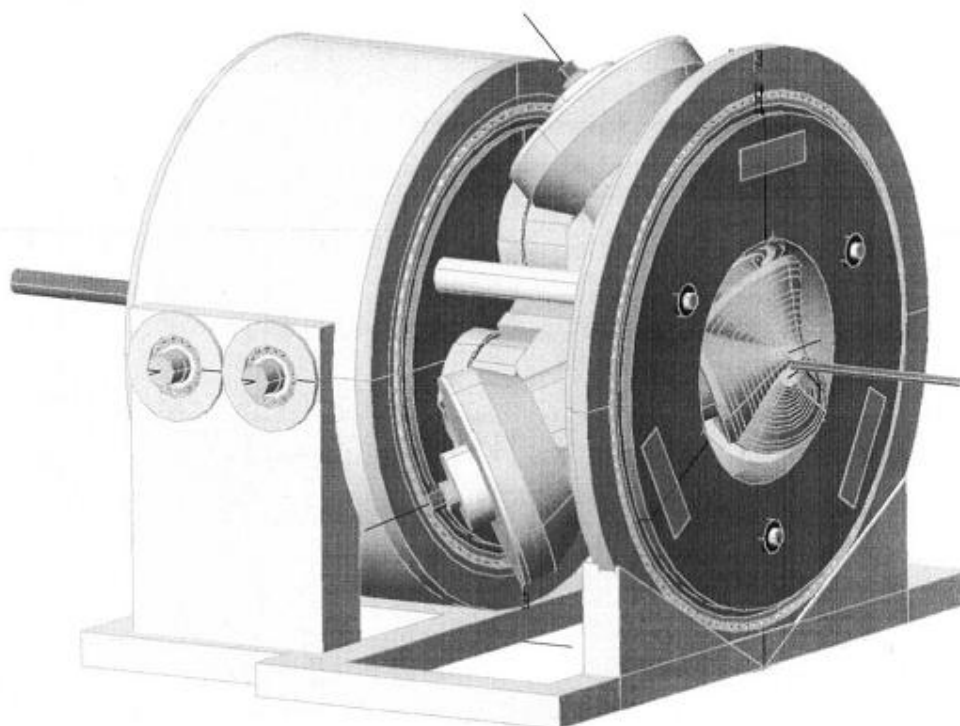
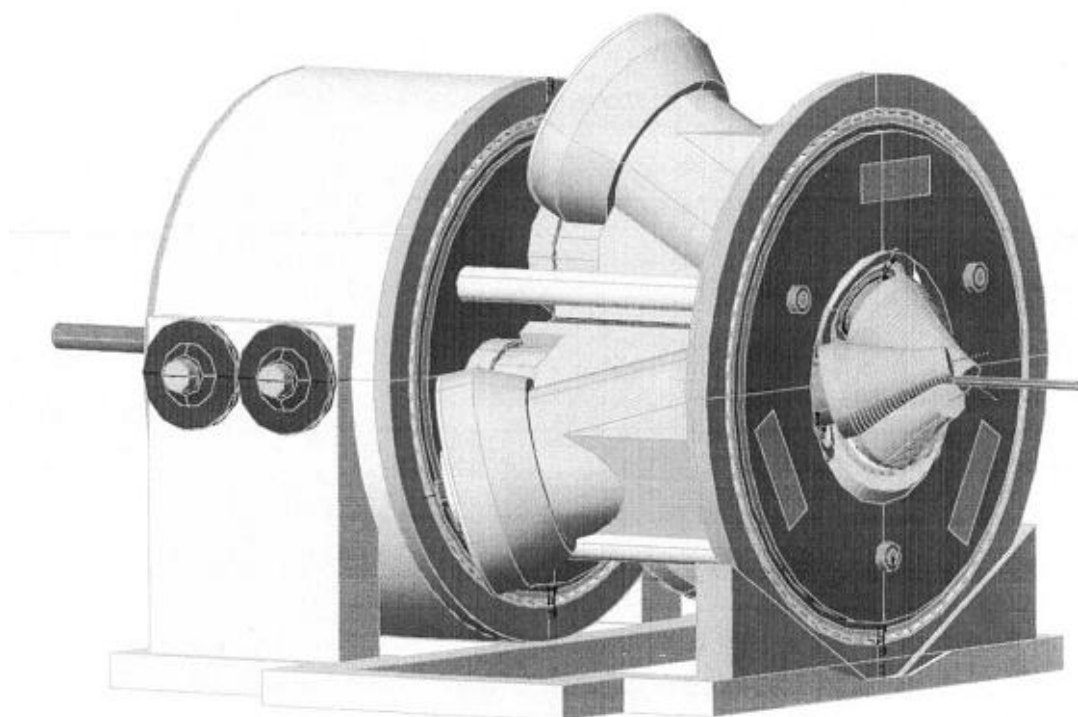
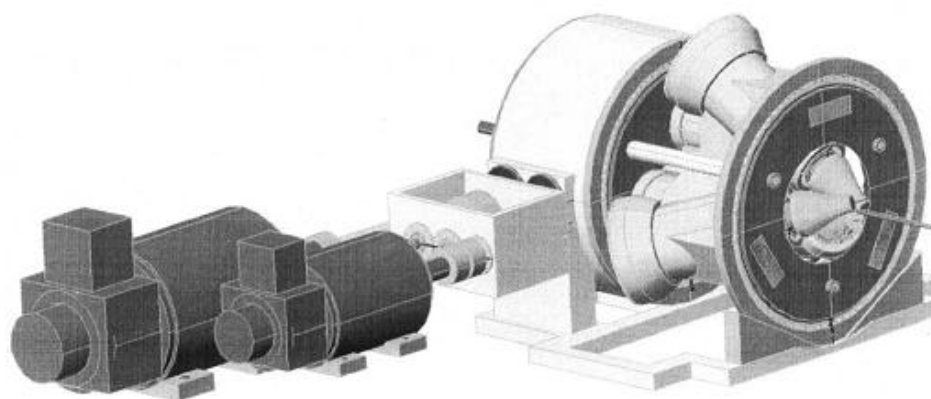


Fig. 9



**Fig. 10**



**Fig. 11**

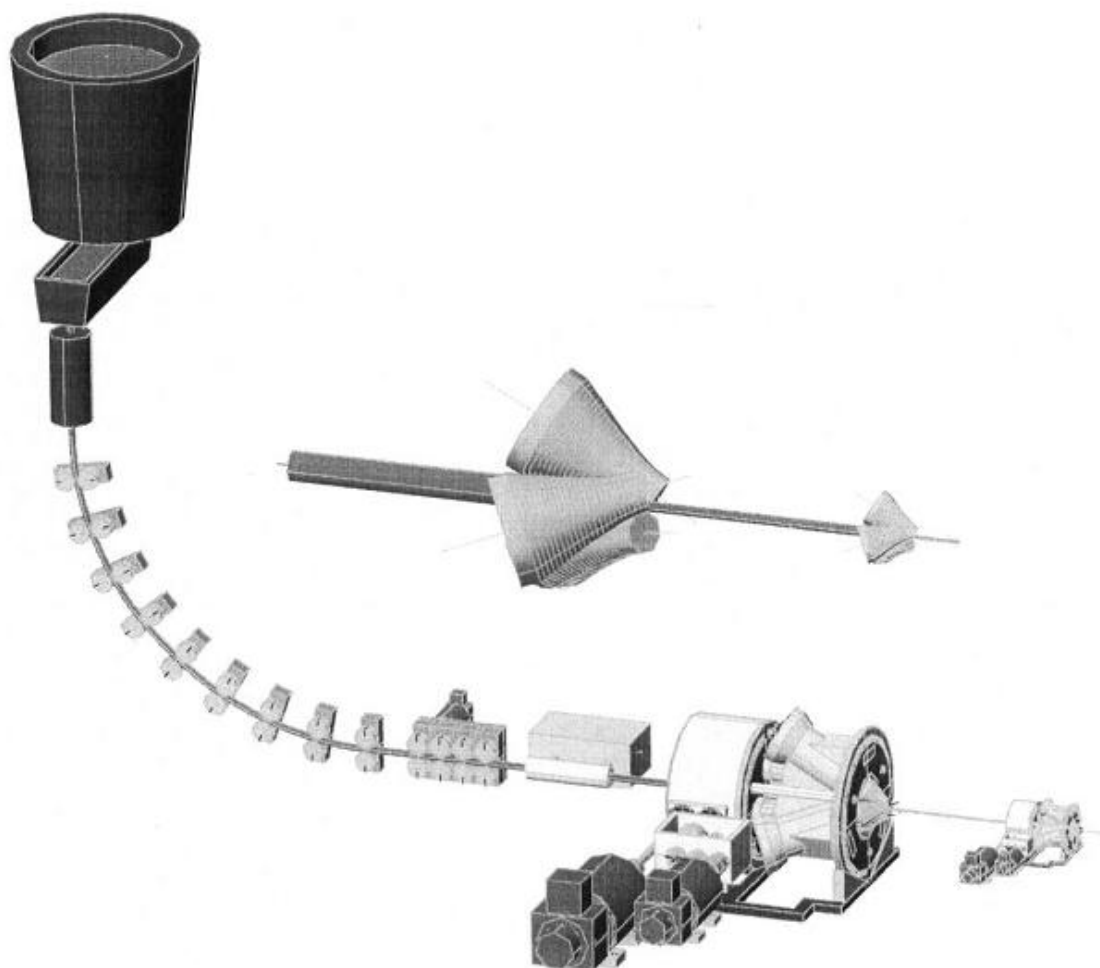


Fig. 12

---

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601