

Алтухов В. М., Руднєв Є. С.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВАЖКИХ МАШИН**

*У статті розглянуто порівняльний аналіз конструктивних варіантів конічних передач електроприводів важких машин, які мають можливість регулювання зубчастого зачеплення з підвищеною точністю. Надійність та безшумність роботи конічної передачі залежить від класу точності, правильності монтажу та точності регулювання зубчастого зачеплення. Зазвичай конічні передачі встановлюють шляхом пригону компенсаторів. У відомих конічних передачах складного виконання регулювання зубчастого зачеплення здійснюють за допомогою регулювальних гайок. Істотним недоліком таких передач є низька точність регулювання зубчастого зачеплення, обумовлена тим, що при повороті регулювальної гайки на один оберт здійснюється переміщення конічної шестерні по валу на величину кроку різьблення регулювальної гайки. Якісний монтаж конічних зубчастих передач та точне регулювання зубчастого зачеплення дозволить забезпечити необхідний бічний зазор у передачі та пляму контакту на поверхні зубів. Подано вісім різних конструкцій зубчастих конічних передач, які дозволяють підвищити точність регулювання зубчастого зачеплення. У всіх запропонованих варіантах при повороті регулювальної гайки (або натискного гвинта) на один оберт здійснюється переміщення конічної шестерні по валу на величину, яка значно менша за крок різьблення регулювальної гайки (натискного гвинта). Практичний вибір однієї з конструкцій слід проводити, виходячи з потужності, що передається, передавального відношення, модуля передачі, кількості зубів шестерні і колеса, матеріалів шестерні і колеса. Після вибору конструкції передачі та визначення її розмірів необхідно виконати розрахунок деталей на міцність. Знання конструктивних варіантів виконання конічних передач електроприводів важких машин сприятиме практичному використанню наукових знань при розрахунку та конструюванні нових конічних передач у промисловості.*

**Ключові слова:** зубчасте зачеплення, конічні передачі, різьба, важіль, вал, шестерня.

**Актуальність дослідження.** В промисловості широко застосовуються механізми та машини, в складі електроприводу яких є конічні зубчасті передачі. Надійність і безшумність роботи в значній мірі залежить від класу точності конічної передачі. Забезпечення належного контакту в зачепленні передачі є дуже важливим. Правильність монтажу дуже впливає на роботу конічної передачі, її довговічність, надійність тощо. У конічних передачах часто причиною інтенсивного зносу, короткочасної роботи та виходу передачі з ладу є невміле регулювання зачеплення і монтаж [1]. Актуальним є підвищення точності регулювання конічного зачеплення.

**Постановка проблеми.** Конічні зубчасті колеса зазвичай встановлюють шляхом пригону компенсаторів (прокладок). У конічних передачах складного виконання регулювання зачеплення здійснюють за допомогою регулювальних гайок. Недоліком відомих пристроїв є низька точність регулювання, обумовлена тим, що обертання регулювальної гайки на один оберт дозволяє пересунути конічну шестерню по валу на величину кроку різьби регулювальної гайки.

**Теоретичний аналіз дослідження.** Найбільш важливим критерієм оцінки якості конічної зубчастої передачі є пляма контакту на поверхні зубів. Якісний монтаж конічних зубчастих передач вимагає контролю основних параметрів зачеплення: сили биття, бічного зазору і плями контакту. Без виконання цих вимог досягти надійної й безшумної роботи неможливо. Низька точність регулювання зачеплення створює сприятливі умови для підвищеного зносу передачі і виходу її з ладу [2].

**Мета статті.** Дослідження конструкцій конічних зубчастих передач важких машин з підвищеною точністю регулювання зачеплення.

**Задачі дослідження.** Розробити і виконати порівняльний аналіз конструктивних варіантів конічних передач електроприводів важких машин, у яких є можливість регулювання зубчастого зачеплення з підвищеною точністю.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Розроблено ряд конструкцій конічних передач електроприводів важких машин, які дозволяють підвищити точність регулювання конічного зачеплення.

Розроблено пристрій для регулювання зачеплення конічної передачі за допомогою гидропласту, зображений на рис. 1. Пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень містить конічну шестерню 1, встановлену на валу 2 з можливістю осьового переміщення по напрямній шпонці 3. На валу виконано бурт 4. В шестерні 1 виконані сполучені кільцева проточка і похилий до осі отвір. В кільцевій проточці з можливістю осьового переміщення встановлений гідроупор 5, взаємодіючий одним торцем з торцевою поверхнею 6 бурта 4 валу 2, а другим – з введеним в кільцеву проточку гидропластом 7. В шестерні 1 в похилому отворі встановлено механізм зміни тиску гидропласту 7, який складається з натискного гвинта 8 і плунжера 9, що контактує з гидропластом 7. Взаємодія гидроупора 5 з торцевою поверхнею 6 бурта 4 валу 2 забезпечується підтисканням шестерні 1 тарілчастою пружиною 10. Тарілчаста пружина 10 приводиться в стислий стан за допомогою болта

11 з шайбою 12. Розміщені в кільцевій проточці гідропласт 7, гідроупор 5, підпружинений до бурта 4 валу 2 в осьовому напрямку, і механізм зміни тиску гідропласту 7 утворюють регулювальний вузол.

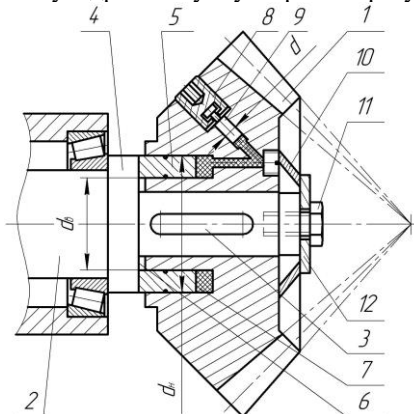


Рисунок 1 – Пристрій для регулювання зачеплення конічної передачі: 1 – конічна шестерня; 2 – вал; 3 – напрямна шпонка; 4 – бурт; 5 – гідроупор; 6 – торцева поверхня бурта; 7 – гідропласт; 8 – натискний гвинт; 9 – плунжер; 10 – тарілчаста пружина; 11 – болт; 12 – шайба

Регулювання зачеплення здійснюють шляхом обертання натискного гвинта 8, який переміщає плунжер 9, діючий на гідропласт 7. При цьому створюється тиск гідропласту 7, що перевищує зусилля тарілчастої пружини 10, яка була приведена в стислий стан за допомогою болта 11 з шайбою 12. Оскільки один торець гідроупора 5 впирається у торцеву поверхню 6 бурта 4 валу 2, то гідроупор 5 залишається на місці, а шестерня 1 під дією підвищеного тиску гідропласту 7 переміщається на валу 2 по напрямній шпонці 3 доти, поки тиск тарілчастої пружини 10 врівноважить тиск з боку гідропласту 7. Обертання гвинта 8 здійснюють до отримання оптимального зазору в зачепленні конічної шестерні 1 зі сполученим конічним зубчастим колесом. Висока точність регулювання зачеплення конічних шестерень забезпечується за рахунок того, що при повороті натискного гвинта 8 на один оберт він переміщується по різьбі на величину кроку різьби, а шестерня 1 переміщається на валу 2 на значно меншу величину.

При повороті натискного гвинта 8 на один оберт шестерня 1 переміщається на валу 2 на величину  $h$ , яка рівна:

$$h = p \cdot d^2 / (d_n^2 - d_o^2), \quad (1)$$

де  $p$  – крок різьби натискного гвинта;  
 $d_n, d_o, d$  – діаметри отворів (рис. 1).

Розроблено пристрій для регулювання зачеплення конічної передачі за допомогою кульок, зображений на рис. 2.

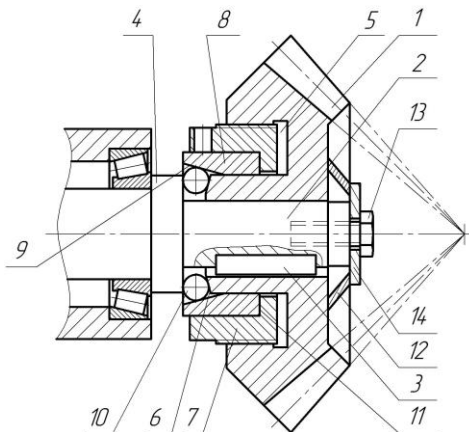


Рисунок 2 – Пристрій для регулювання зачеплення конічної передачі: 1 – конічна шестерня; 2 – вал; 3 – напрямна шпонка; 4 – бурт; 5 – кільцева розточка; 6 – торець маточини шестерні; 7 – регулювальна гайка; 8 – втулка; 9 – конічна ступень втулки; 10 – кульки; 11 – внутрішня торцева поверхня гайки; 12 – тарілчаста пружина; 13 – болт; 14 – шайба

Пристрій містить конічну шестерню 1, встановлену на валу 2 з можливістю осьового переміщення по напрямній шпонці 3. На валу виконано бурт 4. В шестерні 1 виконана кільцева розточка 5 з внутрішньою різьбою. Торець 6 маточини шестерні 1, звернений до бурта 4 валу 2, виконаний конічним. На зовнішній поверхні регулювальної гайки 7 виконана різьба, якою гайка 7 встановлена в різьбі кільцевій розточці шестерні



різьби –  $P_1$ , а крок внутрішньої різьби –  $P_2$ , причому  $P_1 > P_2$ . Регулювальна гайка 6 встановлена в різьбі кільцевої канавки шестерні 1 з можливістю взаємодії по внутрішній різьбі з кільцем 5. Кільце 5 впирається в бурт 4 валу 2 під дією тарілчастої пружини 7, яка впливає на кільце 5 через шестерню 1 і гайку 6. Тарілчаста пружина 7 наводиться в стислий стан за допомогою болта 8 з шайбою. В гайці 6 виконані вікна для гайкового ключа.

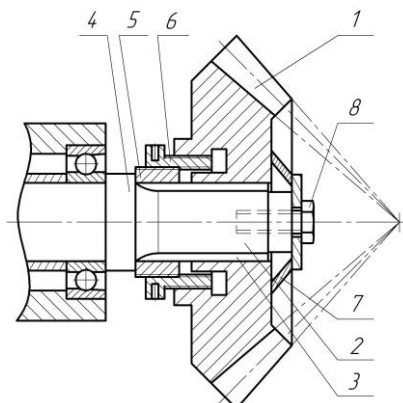


Рисунок 4 – Пристрій для регулювання зачеплення конічної передачі: 1 – конічна шестерня; 2 – вал; 3 – шліци; 4 – бурт; 5 – кільце; 6 – регулювальна гайка; 7 – тарілчаста пружина; 8 – болт

Регулювання зачеплення здійснюють шляхом обертання регулювальної гайки 6 гайковим ключем. При обертанні гайка 6 взаємодіє по зовнішній різьбі з шестернею 1, а по внутрішній різьбі – з кільцем 5. Оскільки у гайці 6 зовнішня і внутрішня різьба виконані одного напрямку, то при повороті гайці 6 на один оборот вона переміщається в напрямку бурта 4 валу 2 по кільцю 5 на величину кроку різьби  $P_2$ , при цьому шестерня 1 переміщається відносно гайці 6 в напрямку від бурта 4 валу 2 на величину кроку різьби  $P_1$ . Кільце 5 впирається в бурт 4 валу 2 під дією тарілчастої пружини 7. Шестерня 1 переміщається на шліцах 3 валу 2 під дією на неї регулювальної гайки 6 при її повороті, долаючи зусилля тарілчастої пружини 7, яка була приведена в стислий стан за допомогою болта 8 з шайбою. Відносно кільця 5 шестерня 1 за один оборот регулювальної гайки 6 переміщається на величину, рівну різниці кроків різьб  $P_1$  і  $P_2$ .

Обертання гайки 6 здійснюють до отримання повного зачеплення конічної передачі. При повороті регулювальної гайки 6 на один оберт шестерня 1 переміщається на валу 2 на величину  $h$ , яка рівна:

$$h = P_1 - P_2. \quad (2)$$

За рахунок того, що за один оборот регулювальної гайки 6 шестерня 1 переміщається по валу 2 на величину, рівну різниці кроків різьб  $P_1$  і  $P_2$ , виконаних на гайці 6, забезпечується висока точність регулювання зачеплення конічної передачі.

Розроблено пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень за допомогою двоплечих важелів і кульок [5], зображений на рис. 5.

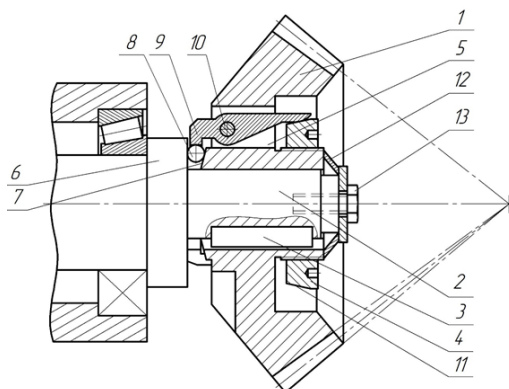


Рисунок 5 – Пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень: 1 – конічна шестерня; 2 – вал; 3 – напрямна шпонка; 4 – регулювальна гайка; 5 – радіальна виїмка; 6 – бурт; 7 – торець маточини шестерні; 8 – кульки; 9 – двоплечий важіль; 10 – ось; 11 – зовнішня конічна поверхня гайки; 12 – тарілчаста пружина; 13 – болт

Пристрій містить конічну шестерню 1, встановлену на валу 2 з можливістю осьового переміщення по напрямній шпонці 3. Регулювальна гайка 4 встановлена по різьбі на маточині шестерні 1. В гайці 4 виконані вікна для гайкового ключа. У шестерні 1 рівномірно по колу розміщені радіальні виїмки 5. На валу 2 виконано бурт 6. Торець 7 маточини шестерні 1, що звернений до бурта 6 валу 2, виконано конічним. Пристрій



радіальні виїмки 5, рівномірно розташовані по колу в кільцевій канавці 4. Регулювальна гайка 6 виконана ступінчастою, на її зовнішньої поверхні є різьба, якою гайка встановлена в різьбі кільцевої канавці 4 шестерні 1. На валу 2 виконано бурт 7. В радіальних виїмках 5 шестерні 1 встановлені двоплечі важелі 8 з можливістю повороту навколо осей 9, мимобіжних відносно осі шестерні 1, які спираються одним плечем на бурт 7 валу 2, а іншим – на внутрішню торцеву поверхню регулювальної гайки 6. Взаємодія важелів 8 з буртом 7 валу 2 і внутрішньою торцевою поверхнею регулювальної гайки 6 забезпечується підтискуванням шестерні 1 тарілчастою пружиною 10. Тарілчаста пружина 10 наводиться в стислий стан за допомогою болта 11 з шайбою. В гайці 6 виконані вікна для гайкового ключа.

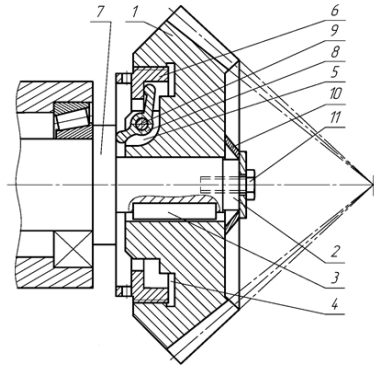


Рисунок 7 – Пристрій для регулювання зазору в зачепленні конічної передачі: 1 – конічна шестерня; 2 – вал; 3 – напрямна шпонка; 4 – ступінчаста кільцева канавка; 5 – радіальна виїмка; 6 – регулювальна гайка; 7 – бурт; 8 – двоплечий важіль; 9 – ось; 10 – тарілчаста пружина; 11 – болт

Регулювання зачеплення здійснюють шляхом обертання регулювальної гайки 4 гайковим ключем. При обертанні гайка 6 переміщається по різьбі в кільцевій канавці шестерні 1. Внутрішня торцева поверхня гайки 6, яка взаємодіє з одним плечем важелів 8, при русі гайки 6 повертає двоплечі важелі 8 на осях 9. Оскільки важелі 8 іншим плечем взаємодіють з буртом 7 валу 2, то при повороті важелів 8 на осях 9 шестерня 1 переміщається на валу 2 по напрямній шпонці 3, долаючи зусилля тарілчастої пружини 10, яка була приведена в стислий стан за допомогою болта 11 з шайбою. Обертання гайки 6 здійснюють до отримання оптимального зазору в зачепленні конічної шестерні 1 зі сполученим конічним зубчастим колесом. За рахунок співвідношення плечей важелів 8 забезпечується висока точність регулювання зазору в зачепленні, оскільки, при обертанні гайки 6 на один оборот, шестерня 1 переміщається на валу 2 на величину, значно меншу величини кроку різьби регулювальної гайки 6.

Розроблено пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень за допомогою двоплечих важелів [8], зображений на рис. 8.

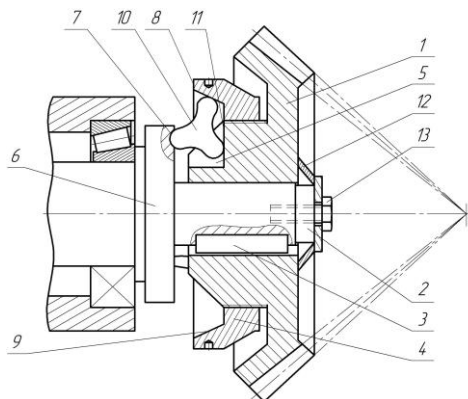


Рисунок 8 – Пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень: 1 – конічна шестерня; 2 – вал; 3 – напрямна шпонка; 4 – регулювальна гайка; 5 – радіальна виїмка; 6 – бурт; 7 – сегментний паз; 8 – великий торець; 9 – внутрішня конічна поверхня гайки; 10 – двоплечий важіль; 11 – торцева поверхня; 12 – тарілчаста пружина; 13 – болт

Пристрій містить конічну шестерню 1, встановлену на валу 2 з можливістю осьового переміщення по напрямній шпонці 3. На маточині шестерні 1 встановлена по різьбі регулювальна гайка 4. У шестерні 1 рівномірно по колу виконані радіальні виїмки 5. На валу виконано бурт 6 з радіальними сегментними пазами 7, розташованими навпроти виїмок 5 шестерні 1. Регулювальна гайка 4 великим торцем 8 звернена до бурту 6 валу 2, при цьому в гайці 4 виконано поглиблення у вигляді внутрішньої конічної поверхні 9, вісь якої збігається з віссю внутрішнього різьбового отвору гайки 4. В сегментних пазах 7 бурту 6 встановлені двоплечі

важелі 10, які спираються одним плечем на внутрішню конічну поверхню 9 гайки 4, а іншим – на торцеву поверхню 11 відповідної радіальної виїмки 5 шестерні 1. Взаємодія важелів 10 з внутрішньою конічною поверхню 9 гайки 4 і з торцевою поверхню 11 відповідної радіальної виїмки 5 шестерні 1 забезпечується підтисканням шестерні 1 тарілчастою пружиною 12. Тарілчаста пружина 12 наводиться в стислий стан за допомогою болта 13 з шайбою. В гайці 4 виконані вікна для гайкового ключа.

Регулювання зачеплення здійснюють шляхом обертання регулювальної гайки 4 ключем. При обертанні гайка 4 переміщається по різьбі уздовж маточини шестерні 1. Внутрішня конічна поверхня 9 гайки 4, яка взаємодіє з одним плечем важелів 10, при русі гайки 4 повертає двоплечі важелі 10 щодо радіальних сегментних пазів 7 бурта 6 валу 2. Оскільки важелі 10 іншим плечем взаємодіють з торцевою поверхню 11 відповідної радіальної виїмки 5 шестерні 1, то при повороті важелів 10, під дією внутрішньої конічної поверхні 9 гайки 4, шестерня 1 переміщається на валу 2 по напрямній шпонці 3, долаючи зусилля тарілчастої пружини 12, яка була приведена в стислий стан за допомогою болта 13 з шайбою. Обертання гайки 4 здійснюють до отримання повного зачеплення конічної шестерні 1 зі сполученим конічним зубчастим колесом. За рахунок співвідношення плечей важелів 10 забезпечується висока точність регулювання зачеплення, оскільки, при обертанні гайки 4 на один оборот, шестерня 1 переміщається на валу 2 на величину, значно меншу величини кроку різьби регулювальної гайки 4.

#### **Висновки.**

1. Розроблено вісім різних конструкцій зубчастих конічних передач, що дозволяють підвищити точність регулювання зубчастого зачеплення.
2. Практичний вибір конструкції зубчастої конічної передачі електроприводу важких машин слід здійснювати, виходячи з конфігурації конічної шестерні і конічного колеса, модуля передачі, передавального відношення, кількості зубів, потужності, що передається. Вибирається один із запропонованих варіантів та проводиться розрахунок на міцність усіх деталей.

#### **Література**

1. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник. – Харків: НТУ ХПІ, 2020. – 275 с.
2. Федулов А. А., Некрасов И. И., Александрова А. С. Монтаж зубчатых, цепных и ременных передач. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – 29 с.
3. Пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень: пат. 145625 Україна: МПК F16H1/14. № u 2020 04517; заявл. 20.07.2020; опубл. 28.12.2020, Бюл. № 24. 5 с.
4. Пристрій для регулювання зачеплення конічної передачі: пат. 148282 Україна: МПК F16H1/14. № u 2021 01304; заявл. 15.03.2021; опубл. 21.07.2021, Бюл. № 29. 4 с.
5. Пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень: пат. 145624 Україна: МПК F16H1/14. № u 2020 04516; заявл. 20.07.2020; опубл. 28.12.2020, Бюл. № 24. 5 с.
6. Пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень: пат. 145471 Україна: МПК F16H1/14. № u 2020 04523; заявл. 20.07.2020; опубл. 10.12.2020, Бюл. № 23. 5 с.
7. Пристрій для регулювання зазору в зачепленні конічної передачі: пат. 148279 Україна: МПК F16H1/14. № u 2021 01299; заявл. 15.03.2021; опубл. 21.07.2021, Бюл. № 29. 5 с.
8. Пристрій для регулювання зачеплення конічних шестерень: пат. 145626 Україна: МПК F16H1/14. № u 2020 04524; заявл. 20.07.2020; опубл. 28.12.2020, Бюл. № 24. 5 с.

#### **References**

1. Haidamaka A. V. Detali mashyn. Osnovy teorii ta rozrakhunkiv: navchalnyi posibnyk. – Kharkiv: NTU KhPI, 2020. – 275 s.
2. Fedulov A. A., Nekrasov I. I., Aleksandrova A. S. Montazh zubchatyih, tsepnnyih i remennyih peredach. – Ekaterinburg: UrFU, 2019. – 29 s.
3. Prystrii dlia rehuliuвання zacheplennia konichnykh shesteren: pat. 145625 Ukraina: MPK F16H1/14. № u 2020 04517; zaiavl. 20.07.2020; opubl. 28.12.2020, Biul. № 24. 5 s.
4. Prystrii dlia rehuliuвання zacheplennia konichnoi peredachi: pat. 148282 Ukraina: MPK F16H1/14. № u 2021 01304; zaiavl. 15.03.2021; opubl. 21.07.2021, Biul. № 29. 4 s.
5. Prystrii dlia rehuliuвання zacheplennia konichnykh shesteren: pat. 145624 Ukraina: MPK F16H1/14. № u 2020 04516; zaiavl. 20.07.2020; opubl. 28.12.2020, Biul. № 24. 5 s.
6. Prystrii dlia rehuliuвання zacheplennia konichnykh shesteren: pat. 145471 Ukraina: MPK F16H1/14. № u 2020 04523; zaiavl. 20.07.2020; opubl. 10.12.2020, Biul. № 23. 5 s.
7. Prystrii dlia rehuliuвання zazoru v zacheplenni konichnoi peredachi: pat. 148279 Ukraina: MPK F16H1/14. № u 2021 01299; zaiavl. 15.03.2021; opubl. 21.07.2021, Biul. № 29. 5 s.
8. Prystrii dlia rehuliuвання zacheplennia konichnykh shesteren: pat. 145626 Ukraina: MPK F16H1/14. № u 2020 04524; zaiavl. 20.07.2020; opubl. 28.12.2020, Biul. № 24. 5 s.

*The article deals with a comparative analysis of constructive options for bevel gears of electric drives of heavy machines, which have the ability to adjust the gearing with increased accuracy. Reliability and quiet operation of the bevel gear depends on the accuracy class, correct installation and the accuracy of the gearing. Usually, bevel gears are installed by adjusting the expansion joints. In known complex bevel gears, the gearing is adjusted by means of adjusting nuts. A significant disadvantage of such gears is the low accuracy of the gearing adjustment, due to the fact that when the adjusting nut is turned by one revolution, the bevel gear moves along the shaft by the size of the thread pitch of the adjusting nut. High-quality installation of bevel gears and precise adjustment of the gearing will provide the required lateral clearance in the gear and the contact patch on the surface of the teeth. Eight different bevel gear designs are presented to improve the accuracy of gear control. In all the proposed options, when the adjusting nut (or pressure screw) is turned by one revolution, the bevel gear moves along the shaft by an amount that is significantly less than the thread pitch of the adjusting nut (pressure screw). The practical choice of one of the designs should be carried out based on the transmitted power, gear ratio, transmission module, number of gear and wheel teeth, gear and wheel materials. After choosing the design of the transmission and determining its dimensions, it is necessary to perform a strength calculation of the parts. Knowledge of the design options for the implementation of bevel gears of electric drives of heavy machines will contribute to the practical use of scientific knowledge in the calculation and design of new bevel gears in industry.*

**Key words:** gearing, bevel gears, thread, lever, shaft, gear.

**Алтухов В. М.** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

**Руднев Є. С.** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.