

Шифр: Супермаховик

Студентська наукова робота пов'язана  
з дослідженнями у галузі геометричного  
моделювання об'єктів

**Тема: «Створення тривимірної моделі та  
моделювання процесу роботи привода  
кривошипного преса із витим та складеним  
маховиком»**

## ПЛАН РОБОТИ

Вступ .....	3
1 Постановка завдання пошукової роботи .....	5
2 Створення 3D-моделі та візуалізація роботи привода кривошипного преса з витим маховиком .....	7
3 Опис запатентованої конструкції удосконаленого привода преса з витим маховиком .....	11
4 Створення 3D-моделі та візуалізація роботи привода кривошипного преса зі складеним маховиком .....	18
5 Опис конструкції нового привода преса зі складеним маховиком .....	22
Висновок .....	28
Список використаної літератури .....	30

## ВСТУП

Сучасне моделювання і автоматизація проектування передбачають суттєве підвищення технічного рівня проектів, кількості варіантів конструкторських рішень та продуктивності праці конструкторів при зменшенні витрат розумової праці й одночасному скороченні термінів підготовки графічної документації і ґрунтуються на широкому застосуванні систем автоматизованого проектування (САПР). Сьогодні у САПР важливе місце відводиться геометричним уявленням та опису математичних моделей об'єктів проектування на всіх етапах роботи від розробки основної концепції проекту до створення робочої документації [1–3]. Суттєвою відмінністю автоматизованого проектування від неавтоматизованого є можливість заміни дорогого практичного моделювання, яке займає багато часу та коштів, – математичним, при якому кількість розроблених варіантів практично не обмежена, а усі проектні операції і процедури здійснюються у діалоговому (інтерактивному) режимі при взаємодії людини з ЕОМ.

У представленій роботі для розробки САПР моделі маховичного привода кривошипного преса з маховиками оригінальної конструкції, які отримали назву "Супермаховики", були використані наступні програмні продукти: SolidWorks, Autodesk Inventor, Borland Delphi та пакет програмного забезпечення CAD. За допомогою системи моделювання руху CosmosMotion, яка є стандартною системою в SolidWorks Premium, вдалося наочно продемонструвати робочий хід повзуна преса з обертанням удосконаленого маховичного привода. Модель можна розглядати з різних боків, зробити розріз у потрібному місці, виконати переріз будь-якої деталі або усієї моделі. На підставі розробленої моделі отримано складальне креслення удосконаленого привода преса, робочі креслення його основних деталей і запропоновані нові конкурентоспроможні варіанти конструкцій витого, гнучкого, пружного та складеного маховиків, на які у співпраці зі студентами готуються дві заявки на очікувані винаходи.

### **Актуальність теми.**

В умовах глобального використання комп'ютерних технологій у світі для проектування нових технічних об'єктів, представлена на конкурс робота з використанням програмних продуктів Solidworks, Autodesk Inventor, AutoCad та інших для автоматизованого проектування й моделювання принципово нового привода ковальсько-штампувального обладнання, є актуальною і своєчасною.

### **Мета роботи:**

Створення твердотільної тривимірної моделі та моделювання процесів роботи приводау кривошипного преса з принципово новою конструкцією витого та складеного маховиків і теоретичне дослідження процесу роботи привода для вибору оптимальних параметрів маховиків.

### **Завдання наукової роботи:**

- Створити твердотільну 3D-модель нового маховичного привода кривошипного преса.
- Розробити з використанням САПР складальне креслення удосконаленого привода кривошипного преса і робочі креслення запропонованих витого та складеного маховиків.
- Здійснити моделювання роботи привода технологічного обладнання з витим та складеним маховиками.
- Розглянути теоретичні питання роботи удосконаленого маховичного привода кривошипного преса.

### **Практичне значення.**

Робота, присвячена автоматизованому створенню принципово нового маховичного привода кривошипного обладнання, має велике практичне значення для підприємств ковальсько-штампувального машинобудування, оскільки комп'ютерне моделювання і проектування нової техніки набуває широкого використання на сучасному виробництві, а також для навчального процесу з метою підготовки висококваліфікованих спеціалістів, які мають добре засвоїти комп'ютерні технології й навчитися винаходити та захищати нові технічні рішення.

**Наукова новизна** роботи полягає в наступному:

– вперше створена твердотільна 3-D модель маховичного привода кривошипного преса з витим маховиком, новизна якого захищена патентом України на винахід № 30037;

– вперше створені твердотільні 3-D моделі маховика, навитого із металевої стрічки, і складеного маховика з гнучкими та пружними елементами;

– застосована САПР для розробки складального креслення запропонованого маховичного привода кривошипного преса та робочих креслень маховиків оригінальної конструкції;

– теоретично досліджено процес роботи нового маховичного привода кривошипного преса з витим маховиком.

## 1 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПОШУКОВОЇ РОБОТИ

Обробка металів тиском (ОМТ) відноситься до найпрогресивніших способів обробки матеріалів у сучасному машинобудуванні [4]. Суттєвими перевагами процесів ОМТ є висока продуктивність, економія матеріалу, підвищена якість та точність отриманих виробів. Але обладнання для обробки тиском відноситься до найбільш великих і дорогих технологічних машин зі складним технологічним циклом проектування, виготовлення та випробування. Такий комплекс конструкторських і виробничих задач вимагає значних витрат розумової та фізичної праці. Перспективними для цих цілей є методи моделювання й конструювання нового обладнання з використанням сучасних комп'ютерних технологій та систем автоматизованого проектування.

Сучасне кривошипне обладнання звичайно складається зі станини, маховичного привода, головного виконавчого механізму і допоміжних пристроїв [5]. Основний привод призначений для приведення кривошипної машини в дію і складається з трифазного асинхронного електродвигуна змінного струму, клинопасової передачі, монолітного (суцільного) маховика, фрикційних муфти та гальма, зубчастих передач і приймального та проміжних

валів. Технологічні процеси ОМТ визначаються великими зусиллями та значними витратами енергії, які нерівномірно розподілені у часі: при робочому ході і виконанні технологічної операції досягають максимальних величин, а при холостому ході й паузі у роботі зменшуються у десятки разів. Для вирівнювання навантаження привода кривошипних машин у ньому передбачений акумулятор кінетичної енергії у вигляді маховика, встановленого на приймальному валу кривошипної машини і зв'язаного клинопасовою передачею з асинхронним електродвигуном. Це дозволяє в 6–10 разів зменшити установчу потужність електричного двигуна.

Найбільш недосконалою ланкою у приводі сучасної кривошипної машини є саме маховик, принципова конструкція якого не змінювалася більше 100 років з часів виготовлення у 1893 році першої кривошипної горизонтально-кувальної машини (ГКМ) американською фірмою «National Machinery Co». Змінювалися конструктивні елементи у вигляді форми обода зі спицями, конфігурації дискової частини, наявності ребер жорсткості, але маховик завжди залишався круглою деталлю, виготовленою із суцільного металу. Традиційно маховик отримують способом лиття з чавуну або сталі з канавками на зовнішній циліндричній поверхні під клинові паси клинопасової передачі. Кількість обертів маховика обмежена через можливість його розриву, коли лінійна швидкість крайніх точок обода перевищує допустимі значення. Для чавунних маховиків величина критичної швидкості складає 15 м/с, а для сталевих – 25 м/с. Тому кількість обертів маховика не перевищує 400–450 за хвилину, і доводиться збільшувати момент інерції та масу маховика для зростання запасу його кінетичної енергії.

Актуальним є завдання вдосконалення конструкції маховика з метою збільшення допустимої швидкості його обертання та запасу кінетичної енергії, що дозволить зменшити установчу потужність електричного двигуна або підвищити енергоспроможність кривошипного обладнання. Тому у Кіровоградському національному технічному університеті [6] почато, а в Сумському державному університеті [7] продовжено пошукову науково-

дослідницьку роботу, направлену на поліпшення енергетичних параметрів кривошипного обладнання, зміну структури його привода та вдосконалення конструкції маховика. Було запропоновано виготовити маховик не суцільним, а витим зі стрічки чи дроту і розмістити його на приймальному валу, співвісно валу електричного двигуна. На таке технічне рішення отримано патент України № 30037 [6]. Крім того, було подано заявку на конструкцію складеного маховика з гнучкими стрічковими елементами, пріоритет якої захищено авторським свідоцтвом Радянського Союзу № 1824796 [8].

## 2 СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ ПРИВОДА КРИВОШИПНОГО ПРЕСА З ВИТИМ МАХОВИКОМ

На підставі раніше запропонованих ідей, розроблених на рівні технічних пропозицій, студентами факультету інформаційних технологій СумДУ створено твердотільну просторову модель нового привода кривошипного преса з маховиком, обод якого навитий із тонкої сталеві стрічки (рис.1), розроблені 3D-моделі витого маховика зі стрічки шириною 80 – 100 мм й товщиною 0.5 – 2 мм без розрізу (рис.2) та з вирізом четвертої частини (рис.3), а також зі сталеві дроту діаметром 0,5 – 3 мм без розрізу (рис.4) та з вирізом четвертої частини (рис.5). Це дозволило змодельовати роботу запропонованого привода і з'ясувати, що уникнути розшарування витків або дроту можливо шляхом підкладання під внутрішні витки обода баласту у вигляді масивних сталевих підкладок, що мають форму секторів, накладок чи тягарів. При обертанні маховика баласт притискає внутрішні витки до зовнішніх за рахунок дії відцентрових сил і перешкоджає розшаруванню обода. Крім того, можливе навивання гнучкого елемента на несучий центр з натягом. У цьому випадку клей не застосовується, так як за рахунок натягу забезпечується щільна посадка витків один на одній. Цей натяг створюється, коли гнучкий сталевий елемент накручується в нагрітому стані, що при наступному охолодженні призводить до зменшення діаметра витків і отримання попередньо напруженого з'єднання.

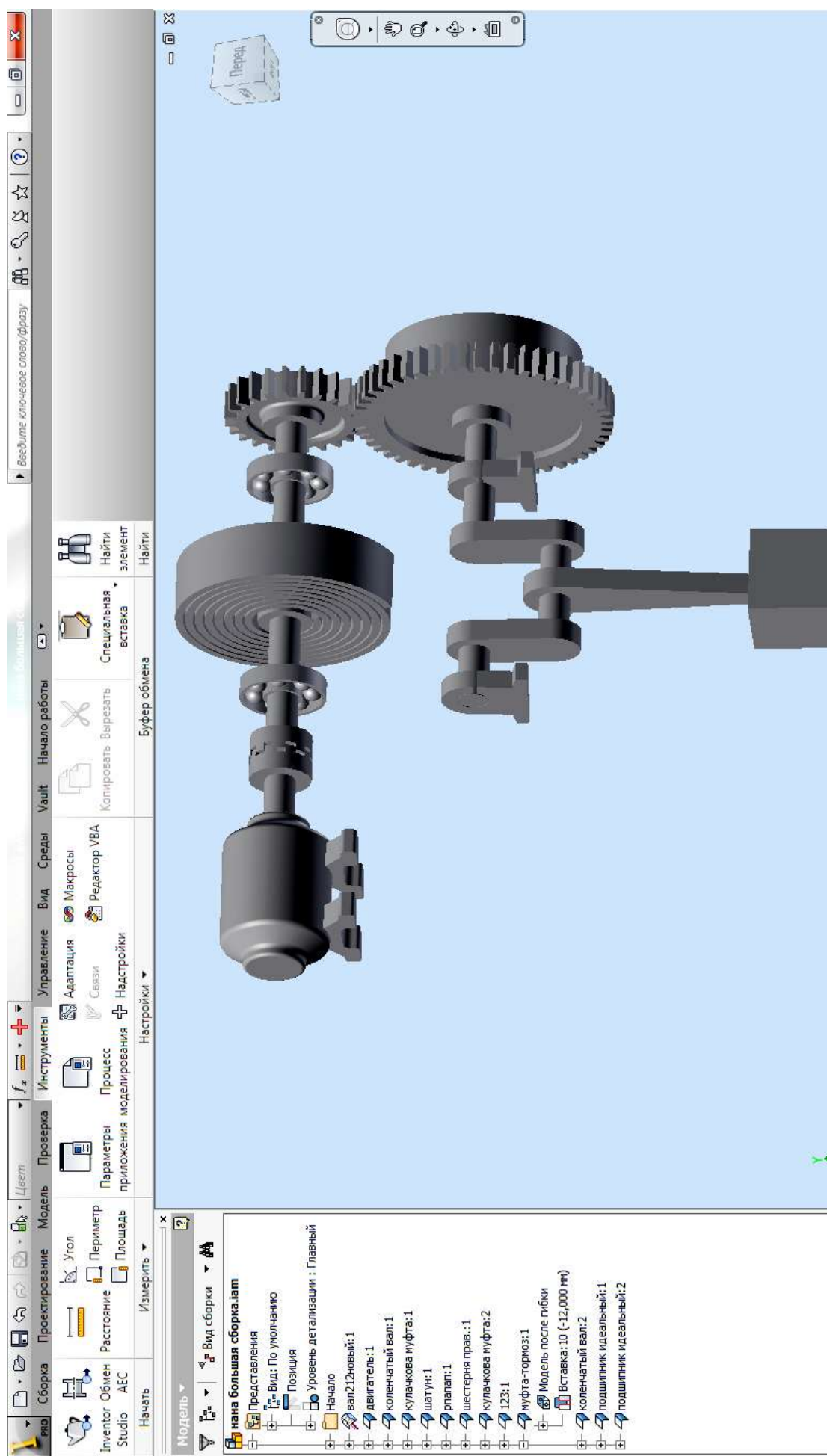


Рисунок 1 – Твёрдотельна тривимірна модель привода кривошипного преса з витим маховиком



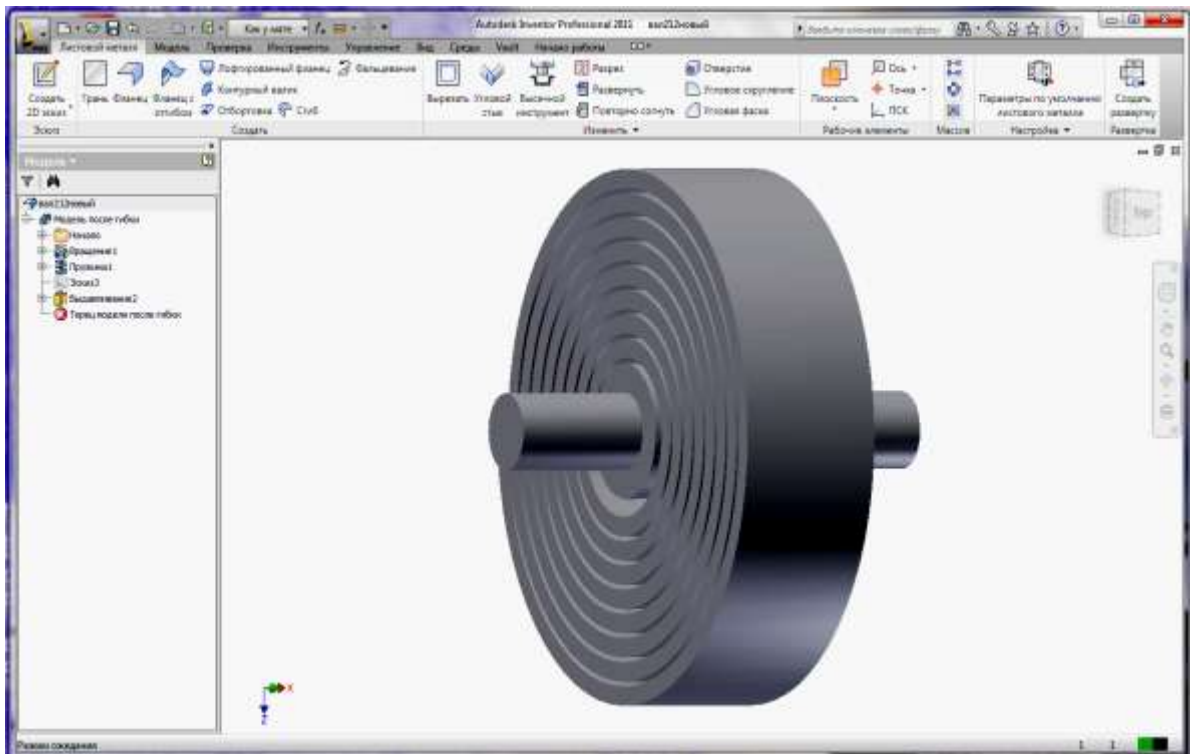


Рисунок 2 – 3D-модель витого маховика зі стрічки

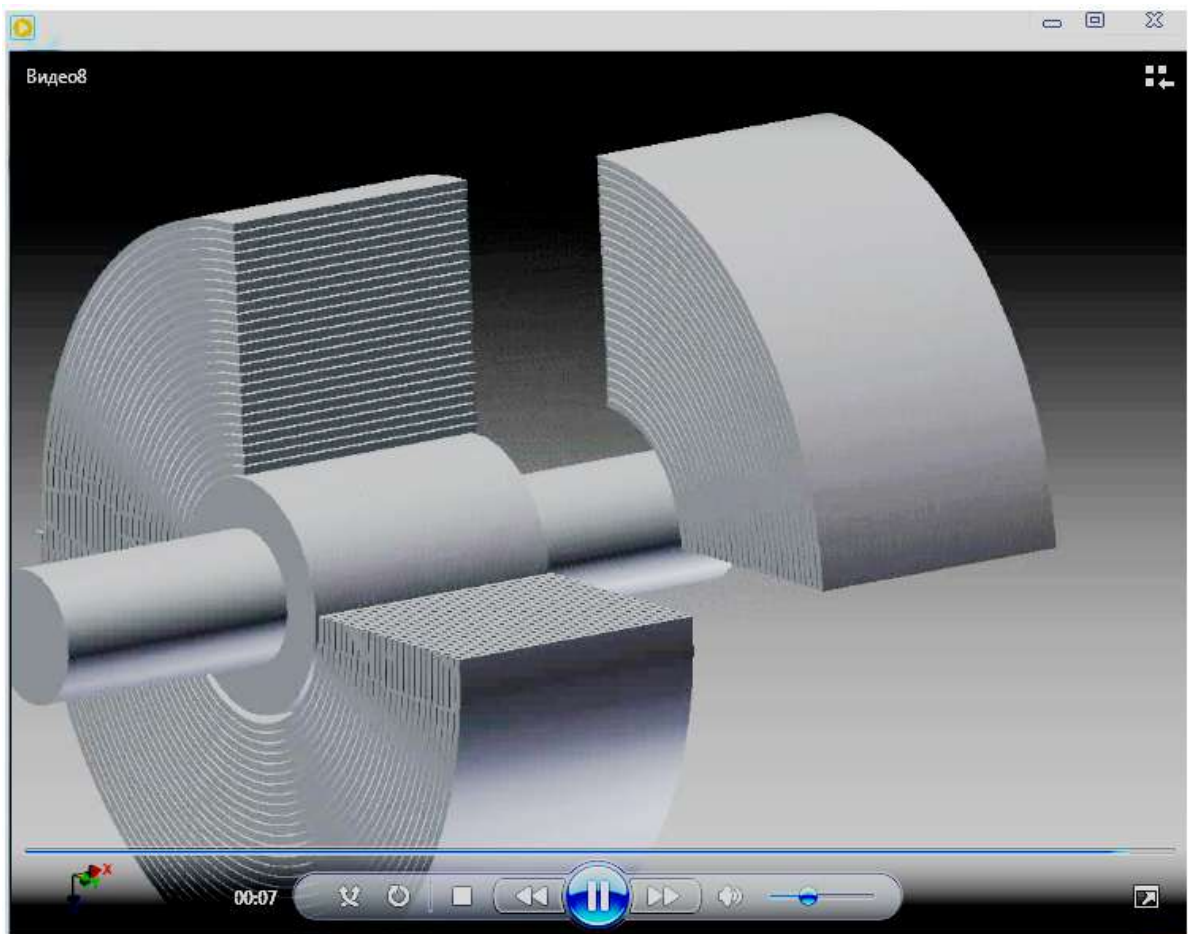


Рисунок 3 – 3D-модель витого маховика зі стрічки з вирізом четвертої частини

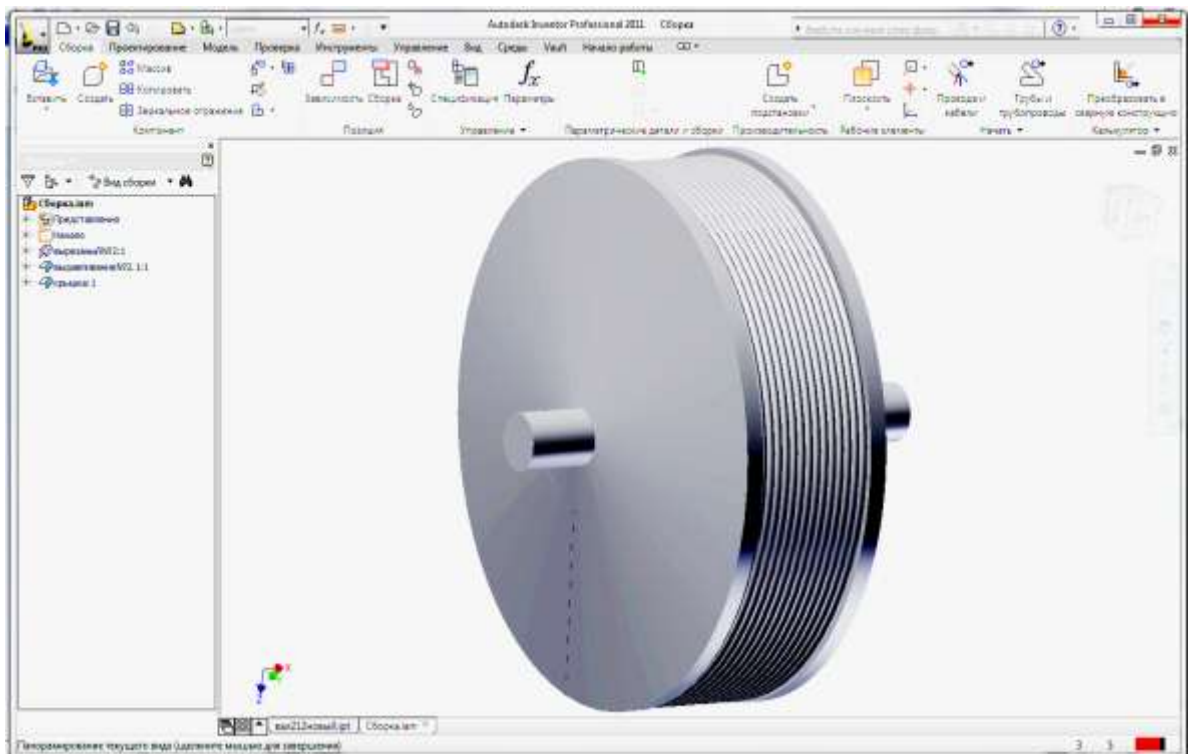


Рисунок 4 – 3D-модель витого маховика із дроту

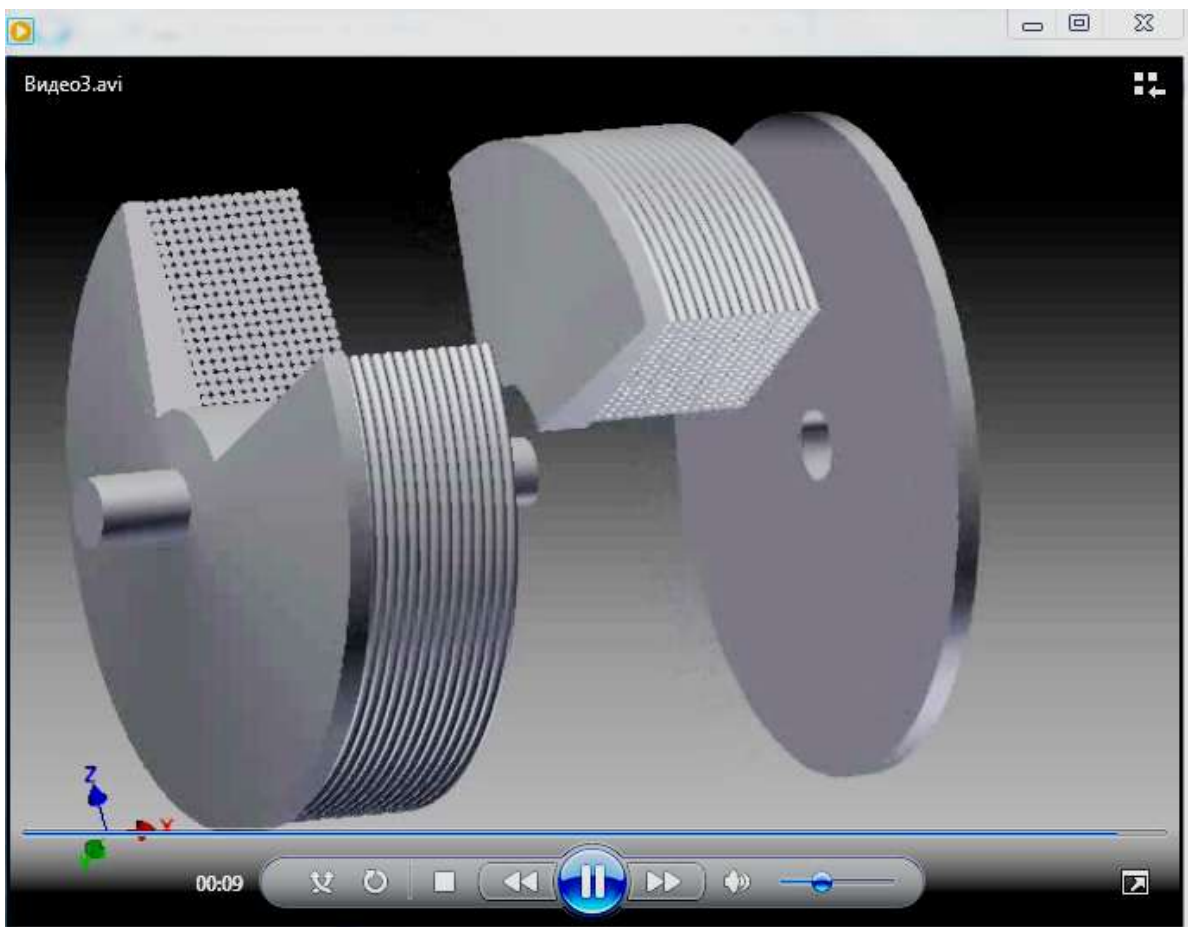


Рисунок 5 – 3D-модель витого маховика із дроту з вирізом четвертої частини

### 3 ОПИС ЗАПАТЕНТОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ УДОСКОНАЛЕНОГО ПРИВОДА КРИВОШИПНОГО ПРЕСА З ВИТИМ МАХОВИКОМ

Спроектований за допомогою САПР привод кривошипного преса (рис. 6) складається з електричного двигуна 1, з'єднувальної муфти 2, приймального вала 3, розміщеного в підшипникових вузлах 4 із встановленим на ньому витим маховиком 5, а також зубчастої передачі, яка включає шестерню 6 та зубчасте колесо 7. У зубчасте колесо вмонтовано систему вмикання 8 преса, що складається з муфти й гальма. З'єднувальна муфта 2 єднає встановлені співвісно вал електродвигуна 1 і приймальний вал 3, а також запобігає перенавантаженню електродвигуна, тобто є запобіжним пристроєм. Зубчасте колесо 7 встановлено на кривошипному валу 9, який поєднано шатуном 10 з повзуном преса (на кінематичній схемі останній не показано).

У маховику 5, який встановлено в захисному кожусі (на кресленнях умовно не зображено), в якості гнучкого елемента для навивання обода використовується високоміцна стрічка, дріт або волокна. Площа поперечного перерізу високоміцного гнучкого елемента може бути постійною чи пропорційною квадрату його відстані від осі обертання. Нижній кінець високоміцної стрічки 11, із якої навито маховик, закріплено на несучому центрі 12 (рис. 7), а коли обод маховика виконано із високоміцного дроту 13, то його навито на несучий центр зі щокми 14 (рис. 8). Ці несучі центри закріплено на приймальному валу 3 будь-яким відомим засобом (за допомогою шпонки, шліців, посадки з натягом та інше). Виконання обода маховика з навитою високоміцною гнучкою стрічки або дроту зумовлене тим, що максимальну міцність метал має саме у вигляді стрічки чи дроту. Стрічка або дріт завдяки їх внутрішній структурі, яка утворена холодним прокатуванням чи волочінням, мають міцність значно вищу від міцності початкового монолітного матеріалу. Наприклад, монолітний метал зі сталі 45 має межу міцності при розтягуванні 580 МПа, а стрічка товщиною 1–4 мм, яку виготовлено з того самого металу, – до 700 МПа. Межа міцності дроту зі сталі 45 досягає 1100 МПа.

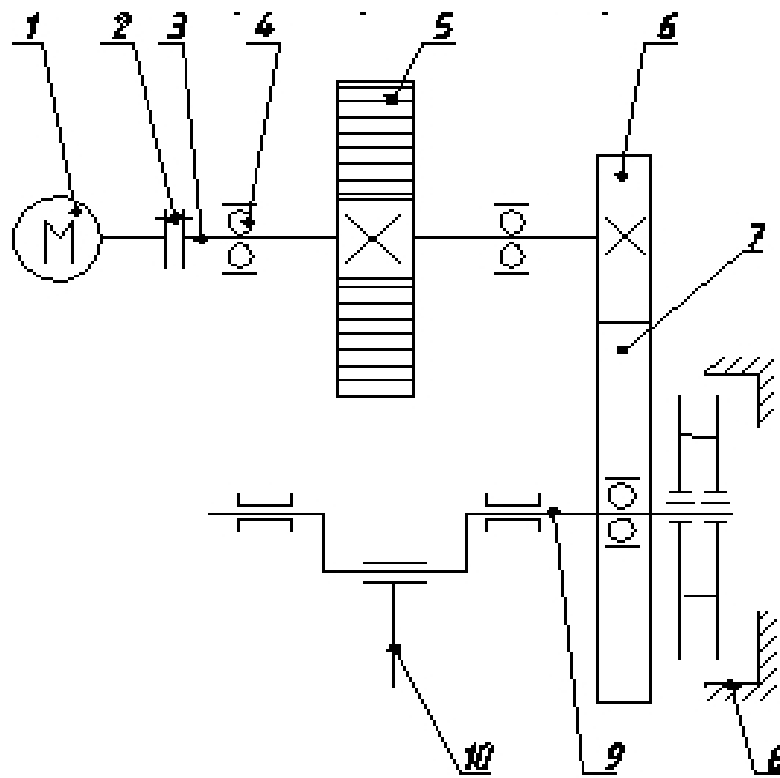


Рисунок 6 – Кінематична схема приводу кривошипної машини з витим маховиком

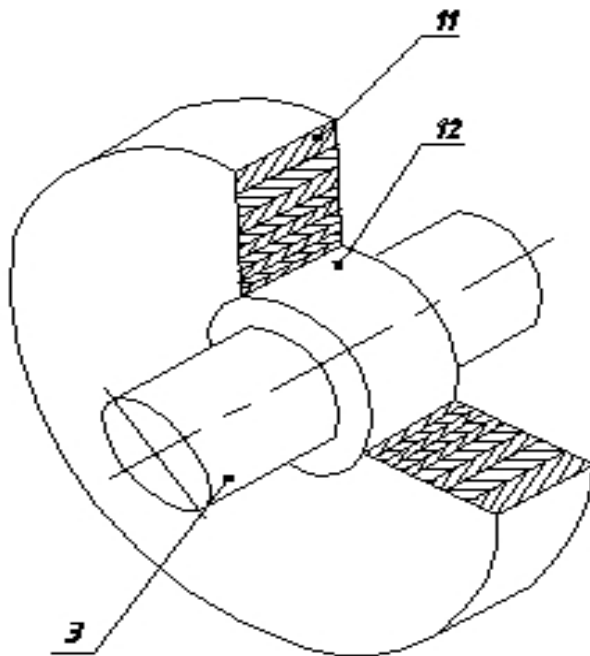


Рисунок 7 – Схематичне зображення витого маховика зі стрічки

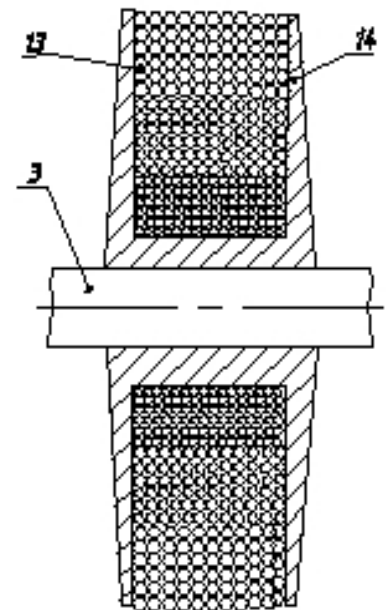


Рисунок 8 – Поздовжній переріз витого маховика з дроту

Витки стрічки скріплені між собою будь-яким способом, що не зменшує міцності стрічки, наприклад, склеєні. Клей мусить бути достатньо еластичним для того, щоб заповнити собою зазори між витками стрічки, які утворюються при обертанні маховика за рахунок неоднакового розширення витків різного діаметра. Можливе також бандажування обода маховика шляхом навивання одного – двох шарів достатньо міцного тонкого дроту, що перевищує по міцності стрічку, поверх останнього її витка. У маховику, обод якого виконано із дроту, усі витки також повинні бути скріплені між собою будь-яким способом, що не зменшує їх міцності. Наприклад, витки з'єднуються між собою за допомогою клею, а останній виток прикріплено до несучого центру /катушки/, зварюванням.

Запропонований привод працює наступним чином. Від електричного двигуна 1 через з'єднувальну муфту 2 обертання передається маховику 5, розташованому на приймальному валу 3 та шестерні 6, яка знаходиться в зачепленні з зубчастим колесом 7, вільно встановленим на головному валу 9. При вмиканні муфти кривошипного преса відбувається з'єднання зубчастого колеса 7 з головним валом 9. Вал 9 обертається і через шатун 10 приводить до зворотно-поступального руху повзун. При вимиканні муфти відбувається роз'єднання зубчастого колеса 7 з головним валом 9 і одночасне гальмування обертання вала та інших ведених деталей привода. Під час вистоювання повзуна у крайньому верхньому положенні і його холостого ходу вниз електричний двигун 1 розганяє маховик 5, коли останній завдяки збільшенню швидкості обертання накопичує значний запас кінетичної енергії. При робочому ході, коли опір деформованого металу різко зростає, швидкість обертання привода починає зменшуватися. Інерція маховика 5 намагається підтримувати її постійною. При цьому маховик 5 віддає частину своєї кінетичної енергії і допомагає електричному двигуну 1 долати збільшений опір переміщенню повзуна вниз. Після закінчення робочого ходу електричний двигун 1 знову розганяє маховик 5 до попередньої швидкості і відновлює запас його кінетичної енергії, який було віддано під час робочого ходу на виконання

технологічної операції. Таким чином, корисна робота деформації металу виконується пресом не тільки за рахунок роботи електричного двигуна в цей період, але й за рахунок частини кінетичної енергії, накопиченої маховиком під час холостого ходу і відданої при робочому ході повзуна преса. Маховик згладжує піки навантаження, які виникають під час штампування і сприймаються електродвигуном, що значно полегшує умови роботи останнього.

Нова конструкція маховика з ободом, накрученим із високоміцного гнучкого елемента, дає змогу збільшити кількість його обертів без порушення цілісності конструкції. Це дозволяє встановити витий маховик на валу електричного двигуна і позбутися громіздкої клинопасової передачі, яка збільшує габаритні розміри кривошипного преса і вимагає частої заміни клинових пасів внаслідок їх інтенсивного зношення при розгоні масивного монолітного маховика. Такий привод з клинопасовою передачею не може використовуватися, наприклад, у вибухонебезпечних приміщеннях внаслідок електризації пасів, на які також не повинно потрапляти мінеральне масло, що ускладнює експлуатацію преса.

Кінетична енергія маховика для преса певного зусилля повинна бути однаковою, незалежно від того, на якому валу встановлено маховик:

$$W_M = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{I_1 \cdot \omega_1^2}{2},$$

де  $I$  – момент інерції монолітного маховика, встановленого на приймальному валу привода відомої конструкції;

$\omega$  – кутова швидкість монолітного маховика, встановленого на приймальному валу;

$I_1$  – момент інерції витого маховика, встановленого на валу електродвигуна, згідно запропонованій конструкції;

$\omega_1$  – кутова швидкість витого маховика, встановленого на валу електричного двигуна.

Звідси співвідношення моментів інерції маховиків, встановлених в удосконаленому і у відомому приводах, дорівнює

$$\frac{I_1}{I} = \frac{\omega^2}{\omega_1^2},$$

тобто моменти інерції маховиків зворотно пропорційні квадратам кутових швидкостей валів, на яких вони встановлені.

Але співвідношення  $\frac{\omega_1}{\omega}$  являє собою передаточне число клинопасової передачі  $i_k$ , яку розміщено у відомому приводі між валом електродвигуна та приймальним валом. Тому момент інерції маховика у запропонованому приводі, обод якого навито із гнучкого елемента, знаходиться за виразом:

$$I_1 = \frac{I}{i_k^2}.$$

Таким чином, більша кутова швидкість маховика забезпечує збільшення запасу кінетичної енергії, тобто підвищення енергоємності привода, або при незмінній величині кінетичної енергії – зменшення радіальних розмірів маховика, тобто зниження матеріалоємності конструкції.

При обертанні привода в ободі маховика виникають напруження розтягання, які пропорційні густині його матеріалу і квадрату кругової швидкості на зовнішній поверхні обода. Кругова швидкість витків маховика збільшується по мірі віддалення від осі обертання. Відповідно збільшуються і напруження розтягання в них згідно формулі:

$$\sigma = \rho \cdot V^2 = \rho \cdot \omega' \cdot R_i^2,$$

де  $\sigma$  – розтягувальні напруження у кожному витку маховика;

$\rho$  – густина матеріалу, з якого навито обод маховика;

$V$  – колова швидкість кожного витка маховика;

$\omega'$  – кутова швидкість кожного витка;

$R_i$  – радіус певного витка маховика.

При навиванні обода маховика із високоміцного гнучкого елемента, площа поперечного перерізу якого пропорційна квадрату його відстані від

поздовжньої осі, питомі розтягувальні напруження в його витках при обертанні вирівнюються, що приводить до рівної величини пружних деформацій кожного витка. Це запобігає розшаруванню обода маховика.

Максимально допустима кутова швидкість монолітного маховика у відомому приводі дорівнює

$$\omega = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{[\sigma]}{\rho}},$$

де  $R$  – зовнішній радіус відомого монолітного маховика;

$[\sigma]$  – допустиме напруження на розтягання монолітного матеріалу.

Максимально допустима кутова швидкість маховика, обод якого навито із високоміцного гнучкого елемента, складає

$$\omega_1 = \frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{\rho}},$$

де  $R_1$  – зовнішній радіус удосконаленого витого маховика;

$[\sigma]_1$  – допустиме напруження на розтягання високоміцного гнучкого елемента, з якого навито обод маховика.

Співвідношення максимально допустимих кутових швидкостей витого і монолітного маховиків, виходячи з однакового запасу їх кінетичної енергії, буде записано у вигляді:

$$\frac{\omega_1}{\omega} = \frac{R}{R_1} \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}}.$$

Звідси радіус витого маховика, який встановлено в удосконаленому приводі, знаходиться із наступного математичного виразу:

$$R_1 = R \frac{\omega}{\omega_1} \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}} = \frac{R}{i_k} \sqrt{K},$$

де  $i_k = \frac{\omega_1}{\omega}$  – передаточне число клинопасової передачі, яка є у відомому приводі і відсутня в удосконаленому приводі при встановленні маховика на валу електродвигуна;



$K = \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$  – коефіцієнт, що характеризує співвідношення міцнісних

властивостей високоміцного гнучкого елемента та монолітного матеріалу.

Наприклад, при модернізації привода кривошипного преса зусиллям 6,3 МН, який має монолітний маховик зі сталі 45 з радіусом  $R=1000$  мм, встановлений на приймальному валу, який зв'язано з електродвигуном клинопасовою передачею з передаточним числом  $i_k = 3,4$ , зовнішній радіус запропонованого маховика, накрученого із гнучкої стрічки зі сталі 45 і встановленого на валу електричного двигуна, буде складати

$$R_1 = \frac{R}{i_k} \sqrt{\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}} = \frac{1000}{3,4} \sqrt{\frac{700}{580}} = 324 \text{ мм.}$$

Таким чином, в удосконаленому приводі радіус витого маховика може бути більше, ніж в 3 рази менший за радіус монолітного сталевих маховика у відомому приводі при однаковому запасі кінетичної енергії.

При роботі привода в ободі витого маховика 5 виникають напруження розтягання і пов'язані з ним деформації. Чим далі від центра розташовано виток гнучкого елемента, тим сильніше його напружено. Отже, першим розірватися може саме цей зовнішній виток. До того ж, його ослаблено кріпленням до передостаннього витка склеюванням, зварюванням та інше. У випадку перевищення допустимої кругової швидкості маховика останній виток розривається і вступає в активне тертя із захисним кожухом. Цей останній виток є своєрідним запобіжником, і він розривається сам, але уберігає від розриву весь маховик. Розірваний зовнішній виток при контакті з кожухом гальмує маховик і створює значний шум. Оператор по характерному шуму може зробити висновок про аварію, що відбулася, і вимкнути привод преса. Для відновлення роботоздатності маховика достатньо розірваний гнучкий елемент (стрічку, дріт або волокно) приклеїти чи приварити до основного обода. Такий простий ремонт служба механіка цеху може виконати на місці без демонтажу важкого маховика з підшипникових вузлів приймального вала.

#### 4 СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ ПРИВОДА КРИВОШИПНОГО ПРЕСА ЗІ СКЛАДЕНИМ МАХОВИКОМ

Для привода кривошипного обладнання звичайно застосовуються асинхронні електродвигуни змінного струму [9]. Перспективним є використання синхронних електричних двигунів з підвищеними коефіцієнтами корисної дії (ККД) та потужності  $\cos \phi$ , які можуть навіть працювати зі струмом, що випереджає напругу за фазою. Це підвищує коефіцієнт потужності  $\cos \phi$  усієї ділянки технологічного обладнання [10]. Але такі двигуни мають постійну (синхронну) частоту обертання вала, а суцільний маховик за принципом своєї роботи обертається нерівномірно – пригальмовується при робочому ході і розганяється під час пауз у роботі. Без зміни конструкції та принципу роботи останнього їх ставити разом на одному валу не можна. Тому виникла потреба у принциповій зміні конструкції маховика для розміщення його разом з синхронним електричним двигуном з метою економії електричної енергії, підвищення енергетичних показників кожної кривошипної машини окремо та всього штампувального цеху в цілому. Сьогодні, під час економічної та енергетичної світової кризи, така задача є надзвичайно актуальною. Незважаючи на наш пріоритет [5] далі у цьому напрямку нічого не розроблено.

Тому студенти факультету інформаційних технологій СумДУ створили твердотільну просторову модель нового привода кривошипного преса з синхронним електродвигуном і складеним маховиком, ступиця та обод якого з'єднані гнучкими пружними сталевими стрічками (рис.9), змоделювати роботу такого привода з перемоткою стрічок зі ступиці (рис.10) на обод (рис.11) і навпаки при розгоні й гальмуванні маховика та при сталому режимі роботи (рис.12). На рисунку 13 зображено аксонометричну проекцію складеного маховика, коли витки стрічки рівномірно намотані на ступиці та ободі. Це дозволило з'ясувати, що під час роботи кривошипного преса стрічка по черзі перемотується зі ступиці на обод і назад, що пригальмовує або розганяє маховик при постійній швидкості обертання синхронного електродвигуна.

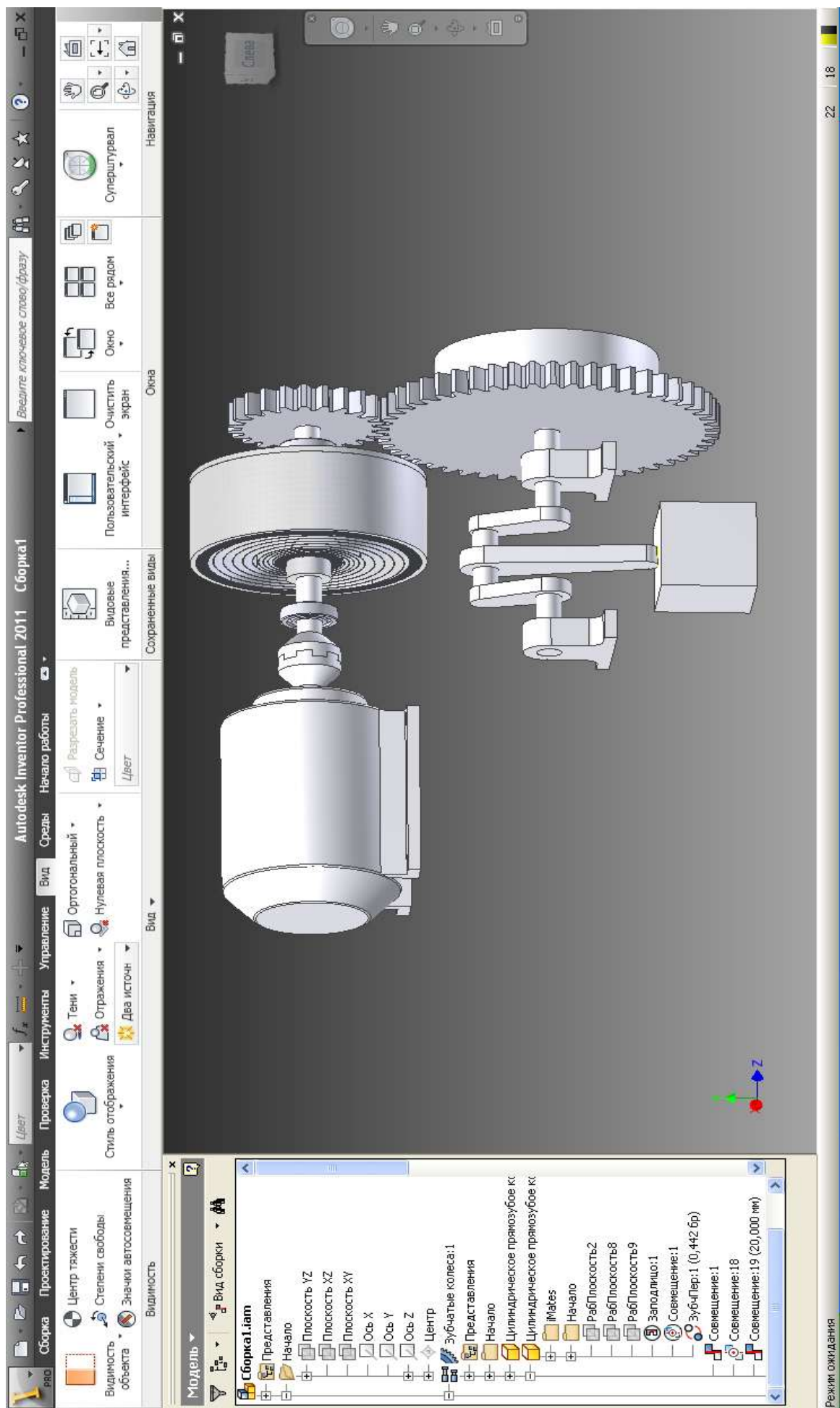


Рисунок 9 – Твёрдотільна тривимірна модель привода кривошипного преса зі складеним маховиком

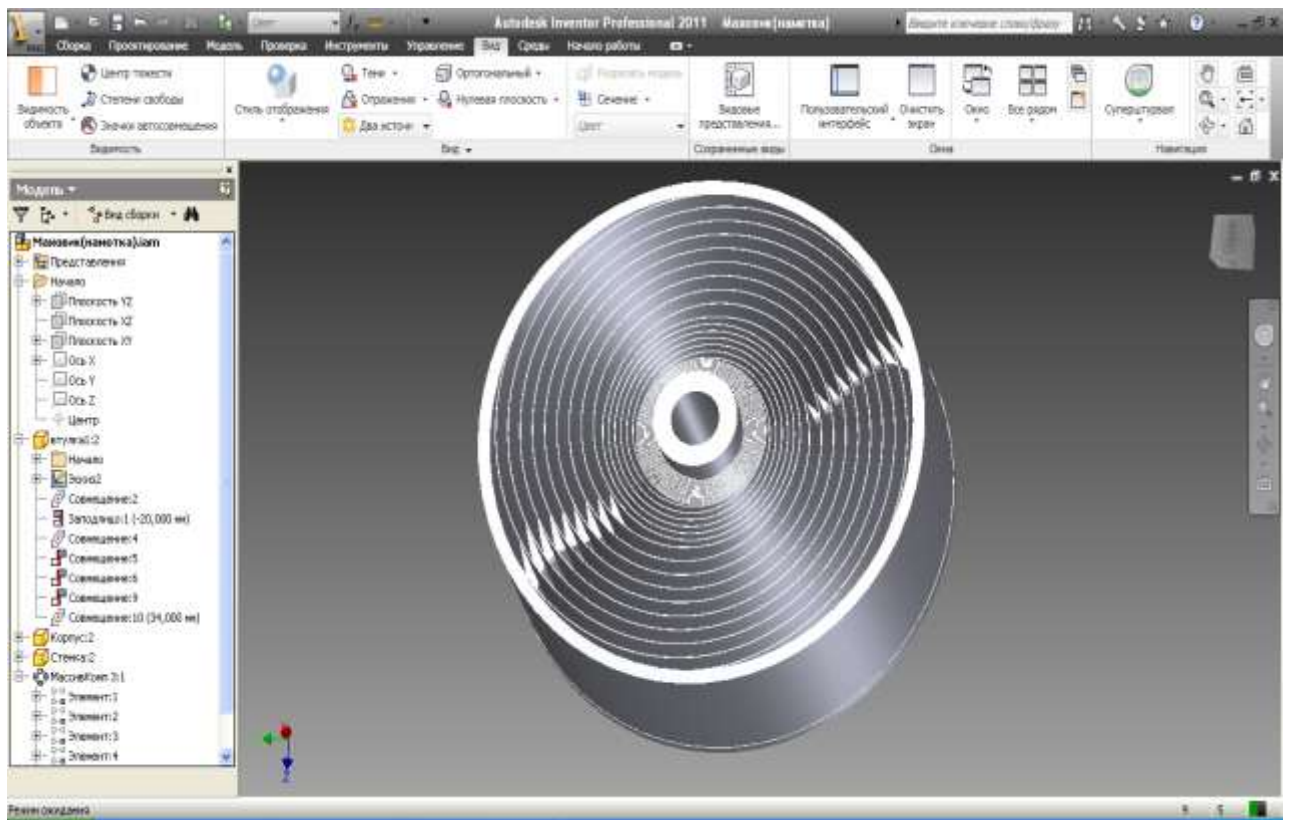


Рисунок 10 – 3D-модель складеного маховика з намоткою стрічки на ступиці

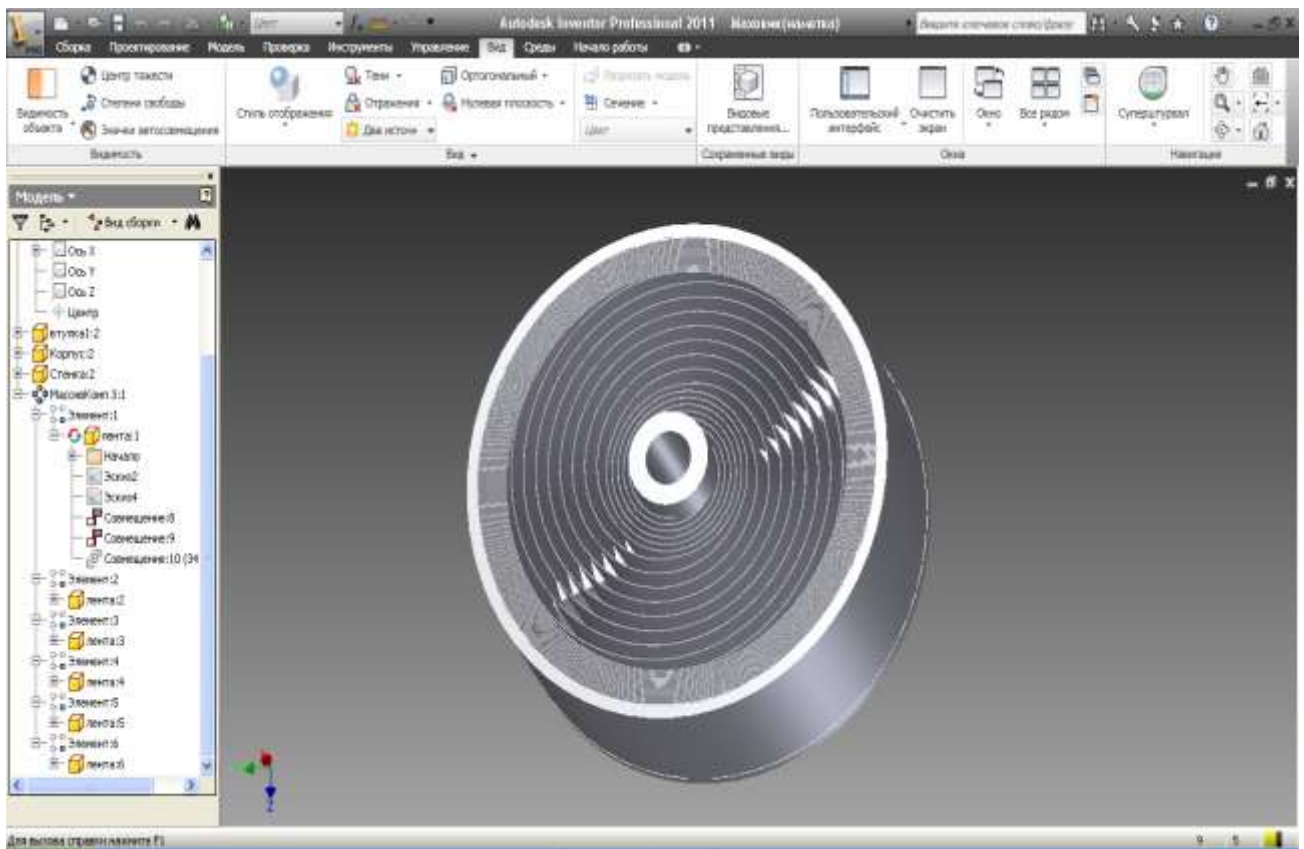


Рисунок 11 – 3D-модель складеного маховика з намоткою стрічки на ободі

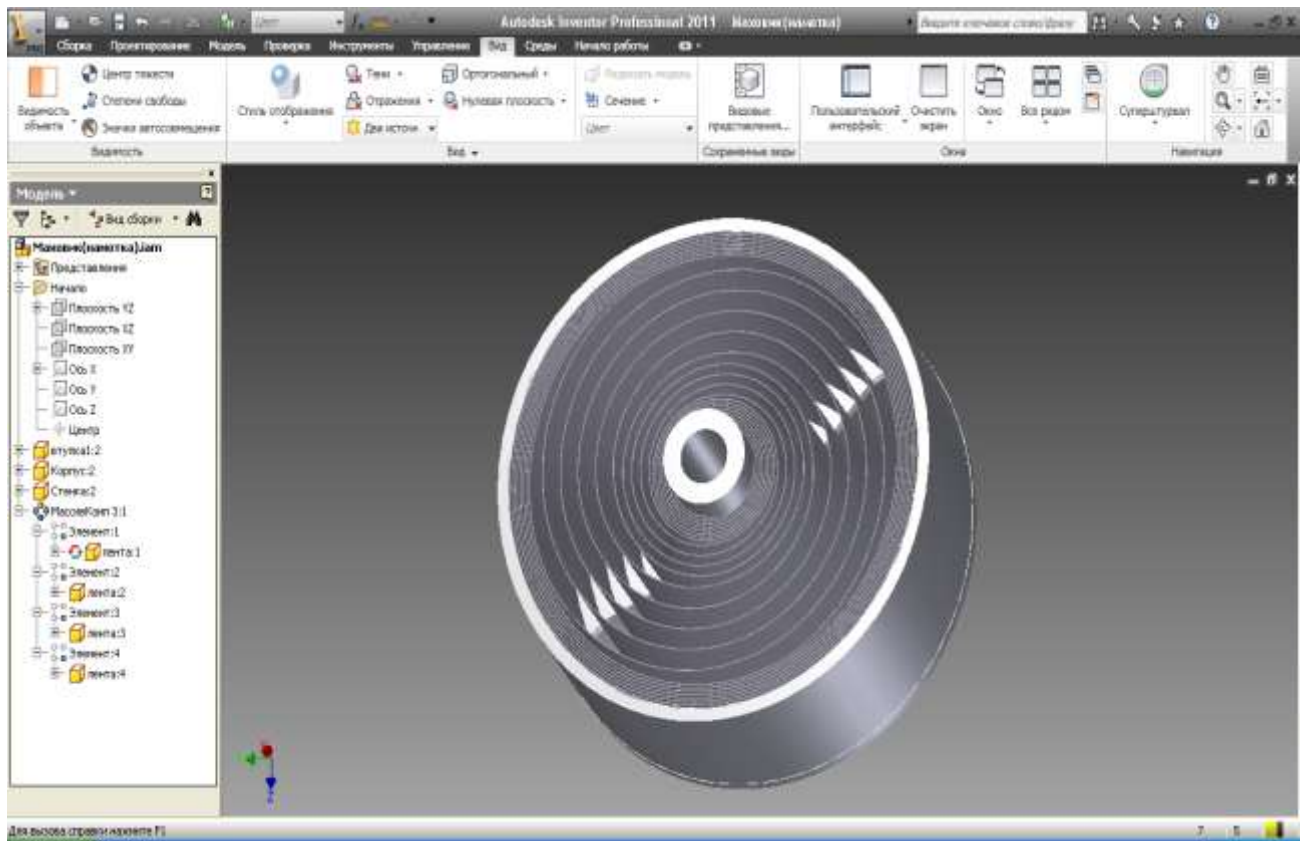


Рисунок 12 – 3D-модель складеного маховика при сталому режимі роботи



Рисунок 13 – Аксонометрична проекція складеного маховика

## 5 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ НОВОГО ПРИВОДА ПРЕСА ІЗ СКЛАДЕНИМ МАХОВИКОМ

Спроекований за допомогою САПР новий привод кривошипного преса (рис. 14) складається з трифазного синхронного електричного двигуна 1 змінного струму, з'єднувальної муфти 2, складеного маховика 3, розміщеного між ведучою 4 та веденою 5 частинами приймального вала, розташованого у підшипникових вузлах 6, а також зубчастої передачі, що вміщує шестерню 7 й зубчасте колесо 8.

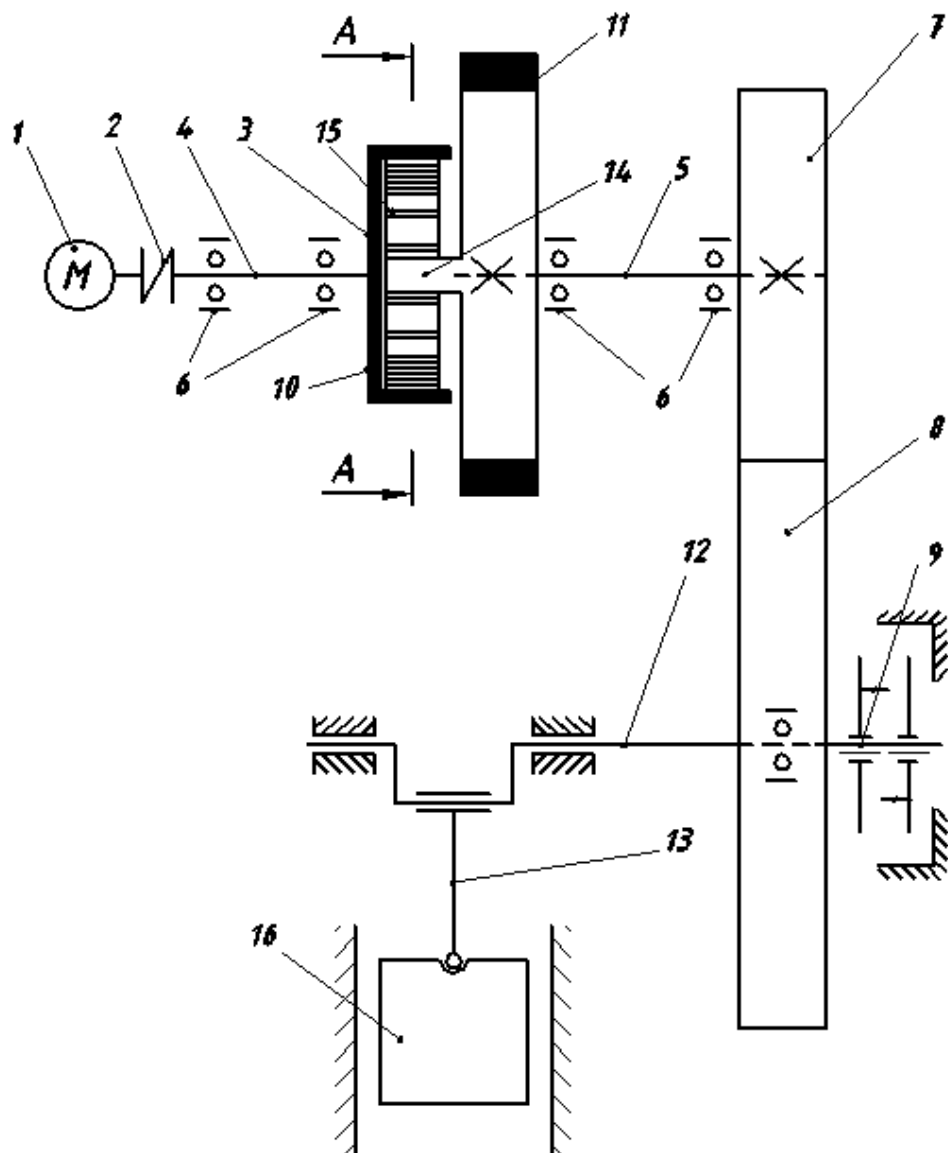


Рисунок 14 – Кінематична схема привода кривошипної машини зі складеним пружним маховиком



У зубчасте колесо вмонтовано систему 9 вмикання кривошипної машини, що звичайно складається з фрикційної муфти та гальма. Ведуча частина 4 приймального вала за допомогою з'єднувальної муфти 2 з'єднує встановлені співвісно вал електродвигуна 1 і ведучий стакан (обод) 10 складеного маховика 3, що компенсує їх взаємний перекіс, а також оберігає електричний двигун від надмірного крутного моменту. Ведена частина 5 приймального вала з'єднує дискову частину 11 складеного маховика 3 з шестернею 7. Зубчасте колесо 8 встановлено на кривошипному валу 12, який зв'язано шатуном 13 з повзуном 16.

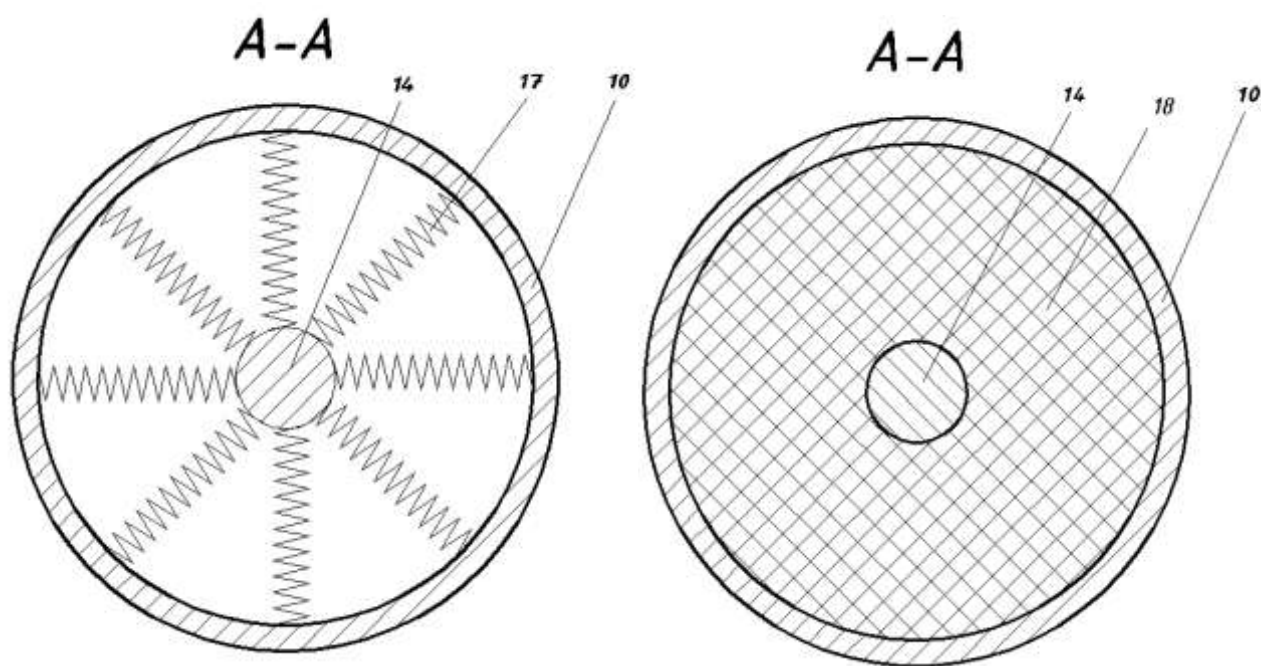


Рисунок 15 – Варіанти виконання складеного маховика з радіальними пружинами та пружним елементом

Ведучий стакан 10 закріплено на ведучій частині 4 приймального вала будь-яким відомим способом (за допомогою шпонки, шліців, запресування тощо). Внутрішня поверхня ведучого стакана (обод) 10 і зовнішня поверхня ступиці 14 складеного маховика 3 з'єднані між собою пружним елементом 15, в якості якого використовується гнучка стрічка 15, пружини 17 або суцільний диск 18 з пружного матеріалу (рис. 15). При першому варіанті виконання пружного елемента одні кінці вигнутих у спіраль відрізків гнучкої стрічки 15 закріплені на зовнішній поверхні ступиці 14 складеного маховика 3, а інші кінці – на

внутрішній поверхні ведучого стакану 10, причому товщина мотка стрічки менша за відстань від зовнішньої поверхні ступиці 14 до внутрішньої поверхні ведучого стакану 10 (рис. 13). Відрізки гнучкої стрічки закріплені на ступиці 14 та у стакані 10 симетрично на рівній відстані один від одного. При цьому моток складається з довільної кількості вигнутих відрізків гнучкої стрічки; їх кількість залежить від потрібного крутного моменту на валу та кутової швидкості обертання складеного маховика 3, який розміщено у захисному кожусі (на схемах умовно не зображений) та умов роботи кривошипного преса.

При виготовленні пружного елемента у вигляді пружин 17, радіально розміщених між внутрішньою поверхнею ведучого стакану 10 і зовнішньою поверхнею ступиці 14 складеного маховика 3 (див. рис. 15), пружини одним торцем кріпляться до поверхні ведучого стакану 10, а іншим – до поверхні ступиці 14 складеного маховика 3. Пружини достатньої жорсткості можуть бути як класу стискання, так і класу розтягання. Можливе використання також пластинчастих пружин згину, ресор, кільцевих та призматичних пружин.

Якщо пружний елемент виконано у вигляді суцільного диска 18 з отвором у центрі, то своєю центральною частиною він закріплений на зовнішній поверхні ступиці 14, а периферійною боковою поверхнею – на внутрішній поверхні ведучого стакану 10 складеного маховика 3. Диск може бути виготовлено з гуми, поліуретану чи іншого достатньо пружного матеріалу.

Кріплення пружного елемента до зовнішньої поверхні ступиці 14 чи внутрішньої поверхні ведучого стакану 10 виконується за допомогою клею, заклепок, гвинтів, зварювання в залежності від матеріалу пружного елемента.

Привод кривошипного преса працює наступним чином. Від синхронного електричного двигуна 1 через з'єднувальну муфту 2 обертання передається на стакан (обод) 10, розміщений на ведучій частині 4 приймального вала. Перед вмиканням електродвигуна привода уся гнучка стрічка 15 складеного маховика 3 є намотаною на внутрішній поверхні ведучого стакану 10, як у найбільш стійкому положенні (рис. 16). При обертанні останнього за рахунок натягання гілок стрічки 15 починає обертатися і розганятися ступиця 14 разом з дисковою



частиною 11 складеного маховика 3. При цьому стрічка змотується із внутрішньої поверхні ведучого стакану 10 і намотується на зовнішню поверхню ступиці 14. Після розгону дискова частина 11 маховика починає обертатися з такою самою швидкістю, що й ведучий стакан 10, при приблизно рівній кількості намотаних витків стрічки 15 на внутрішній поверхні ведучого стакану 10 і на зовнішній поверхні ступиці 14 (рис. 17).

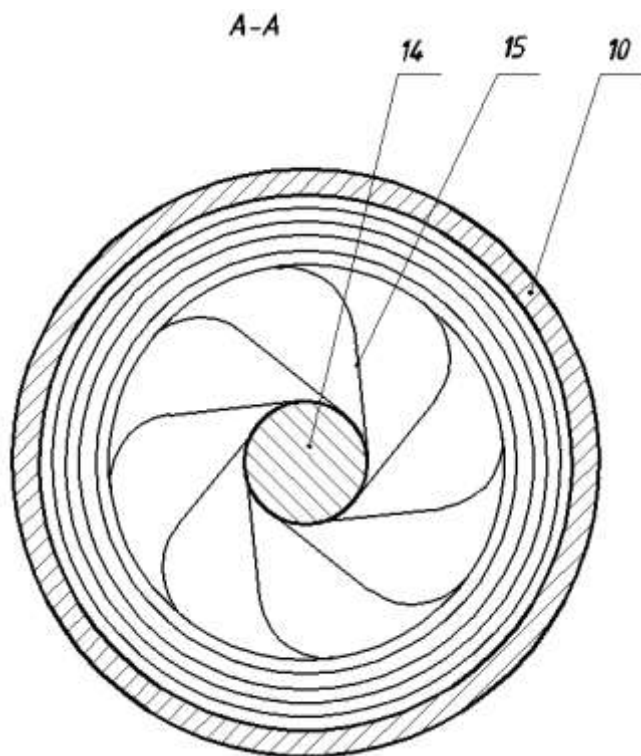


Рисунок 16 – Переріз по А –А складеного маховика при вмиканні кривошипного преса або після вимикання електродвигуна

Через ведену частину 5 приймального вала обертання дискової частини 11 маховика 3 передається шестерні 7, яка знаходиться у зачепленні із зубчастим колесом 8, вільно встановленим на головному валу 12. При вмиканні муфти відбувається з'єднання зубчастого колеса 8 з головним валом 12, останній починає обертатися і через шатун 13 приводить повзун 16 у зворотно-поступальний рух. При робочому ході, коли опір заготовки різко зростає, швидкість обертання головного вала починає зменшуватися, хоча швидкість обертання синхронного двигуна залишається незмінною. Інерція маховика 3

намагається підтримати швидкість обертання головного вала 12 постійною. При цьому дискова частина 11 маховика 3 пригальмовується, віддає частину своєї кінетичної енергії і допомагає двигуну 1 подолати збільшений опір переміщенню повзуна 16 униз.

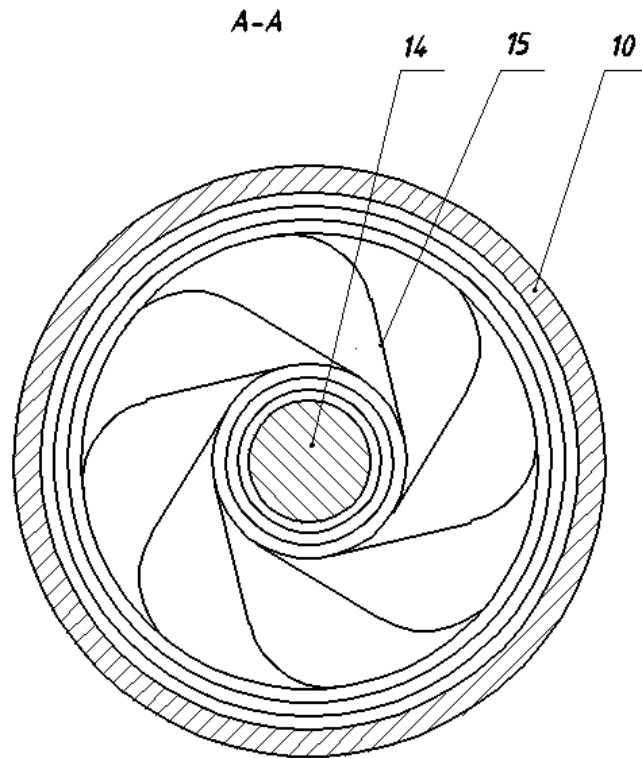


Рисунок 17 – Переріз по А –А складеного маховика після його розгону і при сталому режимі роботи приводу кривошипного преса

Таким чином, корисна робота деформації металу здійснюється пресом не тільки за рахунок роботи електричного двигуна у цей час, але також за рахунок частини кінетичної енергії, накопиченої маховиком у період холостого ходу і відданої при робочому ході повзуна преса. Маховик згладжує піки навантаження, які виникають під час штампування. При цьому ротор синхронного двигуна обертається з постійною синхронною швидкістю і не гальмується, так як дискова частина 11 складеного маховика 3 сполучена з електродвигуном 1 не жорстко, а через пружний елемент, виконаний у вигляді гнучких стрічок 15, пружин 17 або суцільного пружного диска 18. Під час виконання робочого ходу ведучий стакан 10 обертається з більшою швидкістю,

ніж ступиця 14, виконана разом з дисковою частиною 11 маховика 3, тому відрізки гнучкої стрічки навиваються на ступицю (рис 18).

При вимиканні муфти відбувається від'єднання зубчастого колеса 8 від головного вала 12 і одночасне гальмування гальмом обертання кривошипного вала та інших ведених деталей привода. У цей час стрічка 15, звільняючись від навантаження, розкручується і розганяє дискову частину 11 складеного маховика 3 до постійної швидкості ведучого стакана 10 (див. рис. 17). Цим відновлюється запас кінетичної енергії, відданої дисковою частиною маховика при робочому ході на виконання технологічної операції. Під час вистоювання повзуна у крайньому верхньому положенні і його холостого ходу вниз складений маховик 3 обертається з номінальною швидкістю вала синхронного електричного двигуна 1. Після вимикання двигуна 1 ступиця 14, виконана як одне ціле з дисковою частиною 11 складеного маховика 3, за рахунок великого моменту інерції та довшого обертання за інерцією штовхає гілки стрічки 15 і навиває їх на внутрішню поверхню стакана 10 (див. рис. 16).

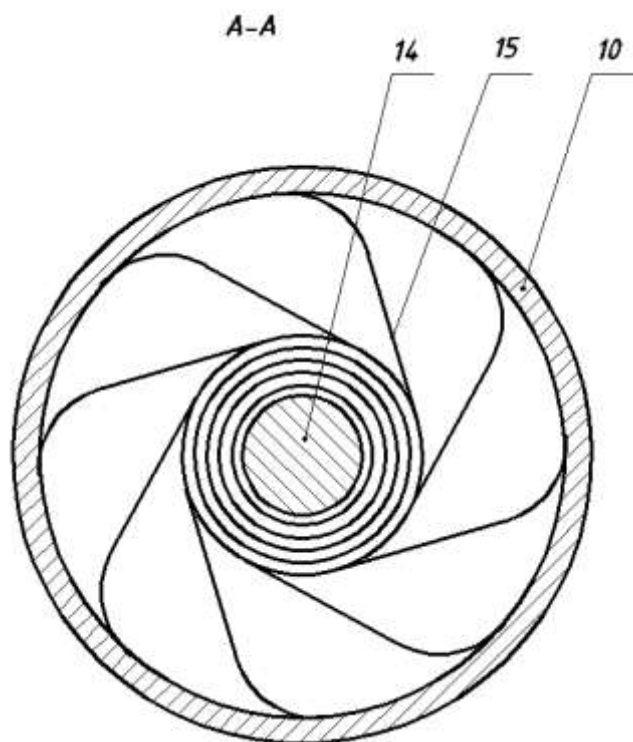


Рисунок 18 – Переріз по А –А складеного маховика під час робочого ходу повзуна кривошипного преса

## ВИСНОВОК

Використання запропонованого привода завдяки вдосконаленню конструкції маховика та зміні місця його розміщення у приводі забезпечує наступні переваги :

– підвищення енергоємності і більш значну віддачу кінетичної енергії маховиком  $\Delta W_{\text{кін}}$  при робочому ході повзуна кривошипного преса завдяки більшому перепаду кутової швидкості (рис. 19).

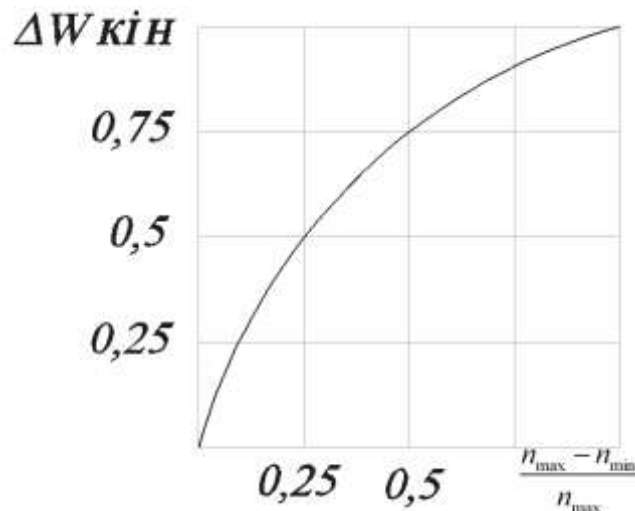


Рисунок 19 – Залежність величини кінетичної енергії, що віддає обертовий маховик, від перепаду частоти його обертання [5]

– зниження матеріалоемності витого маховика за рахунок зменшення його радіальних розмірів. Наприклад, при встановленні такого маховика на валу електродвигуна і збільшенні за рахунок цього кутової швидкості  $\omega_{\text{н}}$  у 2 рази його маса  $M_{\text{н}}$  зменшується у 4 рази у порівнянні з масою  $M_{\text{с}}$  старого (відомого) маховика:

- безпечність при розриванні витого маховика, який гальмується, завдяки тертю зруйнованого зовнішнього витка гнучкого елемента по захисному кожуху;
- зниження витрат на ремонт витого маховика у випадку розриву зовнішнього витка, який достатньо приклеїти або приварити до обода;
- зменшення габаритних розмірів привода внаслідок відсутності клинопасової передачі. Це також підвищує ККД привода, виключає електризацію пасів та їх заміну після зношення.

Крім того, при встановленні розробленого складеного пружного маховика разом з енергетично більш досконалим трифазним синхронним електричним двигуном змінного струму має місце :

- покращення енергетичних показників привода, підвищення його ККД та коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$ ;
- зниження матеріалоемності маховика за рахунок складеної його конструкції, куди входять відносно легкі гнучкі та пружні елементи.

Описаний привод може знайти широке використання у ковальсько-штампувальному обладнанні для приведення в рух кривошипних пресів, механічних ножиць, горизонтально-кувальних та горизонтально-згинальних машин і ковальсько-штампувальних автоматів з маховичним приводом, коли штампувальна галузь промисловості України відродиться і почне працювати на повну потужність. Така науково-пошукова робота проводиться у рамках дослідницької діяльності гуртка винахідників Сумського державного університету при активній участі в ній кращих студентів, друкується у збірнику наукових праць вищого навчального закладу [11,12] і широко використовується у навчальному процесі при викладанні дисципліни «Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Глушаков С.В., Меньшиков В.В., Сурядный А.С. Программирование в среде Windows: учебный курс. – Харьков: Издательство АСТ, 2001.– 478 с.
- 2 Лукинских С.В. Проектирование изделий в SolidWorks: учебное пособие для студентов. – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2006. – 360 с.
- 3 Канту М. Delphi7: Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2005. – 780 с.
- 4 Иванов И.И., Соколов А.Л., Соколов В.С. Основы теории обработки металлов давлением: учеб. для вузов. – М.: Инфра-М Форум, 2007.– 144 с.
- 5 Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2008. – 480 с.
- 6 Патент України № 30037, МПК В30В 15/00. Привод кривошипного преса / В.С.Запорожченко.– Надрук. 15.11.2000, Бюл. № 6-II.
- 7 Запорожченко В.С. Модернізація привода кривошипного штампувального обладнання // Вісник СумДУ: Серія технічних наук, 2008, №1.– С. 67 – 88.
- 8 А.с. 1824796 СССР, МКИ В30В 15/00. Привод кривошипного преса / В.С. Запорожченко, А.Н. Загородний (СССР). – Заявка № 4936215/27; заявлено 14.05.91; зарегистр. 12.10.92.
- 9 Церна И.А., Пасхалов А.С., Гунин А.В. Электрооборудование машин кузнечно-прессового производства: учебное пособие. – М.: Мини-Тайп, 2008. – 128 с.
- 10 Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник для вузов. – М: Академия ИЦ, 2008. – 288 с.
- 11 Запорожченко В.С., Запорожченко А.В. Удосконалення маховичного привода штампувального кривошипного устаткування // Вісник СумДУ: Серія технічних наук, 2010, № 2.– С. 80 – 87.
- 12 Запорожченко В.С., Запорожченко А.В. Перспективна конструкція маховичного привода штампувального кривошипного устаткування зі складеним пружним маховиком // Вісник СумДУ: Серія технічних наук, 2011, № 1.– С. 116 – 123.