

*У спеціалізовану вчену раду  
Д 45.052.06  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського*

### **Відгук офіційного опонента**

на дисертаційну роботу **Явтушенка Олександра Вікторовича**

**“Розвиток теоретичних основ методів розрахунку  
і проектування систем кривошипних пресів”**,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.03.05 – процеси і машини обробки тиском

### **Оцінка структури, змісту і завершеності дисертації**

Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Вона викладена на 399 сторінках, з яких 294 сторінки основного тексту. Робота містить 94 рисунка і 5 таблиць, у тому числі 71 рисунок і 4 таблиці розміщені на 48 окремих сторінках. Список використаних джерел з 346 найменувань займає 37 сторінок, додатки – на 8 сторінках.

Загальна структура роботи і розбивка по розділах відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій, та не викликає заперечень. Подана робота виконана у Східноукраїнському національному університеті ім. Володимира Даля Міністерства освіти і науки України та є завершеною науковою працею.

### **Експертиза змісту розділів дисертації**

**У вступі** обґрунтована актуальність наукової проблеми, що розв'язується, наводиться загальна характеристика роботи, сформульовані мета роботи і задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими планами, темами. Надана характеристика наукової новизни і практичної цінності отриманих результатів, їх апробація та впровадження, відзначений особистий внесок здобувача.

**У першому розділі** проведений аналіз робіт вітчизняних та закордонних вчених, які присвячені питанням методів розрахунку окремих вузлів та систем кривошипних пресів. Проведений аналіз показує наявність значного потенціалу для подальшого вдосконалення методів розрахунку і проектування кривошипних пресів, які забезпечують підвищення їх технічного рівня й ефективності експлуатації. Сучасний рівень розвитку прикладної механіки дозволяє вирішувати низку нових наукових проблем, пов'язаних із більш детальним аналізом умов проектування і функціонування технічних систем.

Показано, що металомісткість і вартість преса, його технологічність значною мірою залежать від параметрів приводу. Параметри зубчастої передачі мають значний вплив на величину витрати енергії на включення фрикційної муфти, що не знаходить відображення у запропонованих методиках розрахунку. При розрахунку приводу преса практично не враховуються особливості функ-

ціонування клинопасових передач. Важливий вплив на динаміку приводу і продуктивність преса надає величина ковзання ременів. Не вирішеним питання розрахунку довговічності клинових ременів й аналіз методів її підвищення. Якість готових виробів значною мірою залежить від точності переміщення повзуна, зокрема від його положення в період робочого ходу, перекосів і горизонтальних зміщень. Методи розрахунку повзунів, у тому числі з додатковими направляючими розглянуті в роботах І.І. Гірша, О.Ф. Ністратова, В.І. Власова та інших учених. Приділяючи увагу питанням забезпечення міцності деталей повзуна, автори практично не торкаються питання забезпечення стійкого положення повзуна, раціонального конструювання повзуна і його елементів. Проектування спеціалізованих пресів вимагає використання спеціальних виконавчих механізмів, що забезпечують заданий закон переміщення повзуна. Проектування таких багатоланкових механізмів пов'язано зі складним завданням структурного та параметричного синтезу. Показано, що найбільш повним і достовірним методом синтезу є оптимізаційний параметричний синтез, пов'язаний з вирішенням задачі нелінійної багатопараметричної оптимізації за наявності декількох умов. Завершенням процесу розрахунку кривошипного преса є розробка систем автоматизованого розрахунку і проектування, які підвищення якості проектних рішень за рахунок глибини опрацювання та системному зв'язку проектних процедур для різних систем пресів.

Слід відзначити достатню проробку автором, як за глибиною так і за географією, вітчизняних і закордонних літературних джерел. Встановлено необхідність застосування нових методів розрахунку вузлів та систем кривошипних пресів. Зроблені висновки, в яких поставлені задачі дослідження.

**У другому розділі** наведено основні напрямки, методи та методики теоретичних і експериментальних досліджень систем кривошипних пресів. Теоретичні дослідження систем кривошипних пресів проведені на основі положень і методів теорії механізмів і машин, теоретичної механіки, динаміки машин, теорії передач із пружними зв'язками, теорії електроприводу. Для вирішення задач нелінійної умовної оптимізації використовувалися методи спряжених градієнтів і метод деформівного багатогранника.

Експериментальні дослідження для аналізу особливостей функціонування систем і перевірки адекватності математичних моделей виконано в лабораторних і виробничих умовах на кількох десятках листоштампувальних пресів, кривошипних гарячощтампувальних пресів (КГШП) і горизонтально-кувальних машин (ГКМ). Вимірювання і реєстрація параметрів проводилася за допомогою сучасних методів експериментальних досліджень та математичної обробки результатів. Дослідження силового режиму роботи повзунів виконано на фізичній моделі повзуна КГШП. Дослідження клинопасових передач виконано в лабораторних та виробничих умовах за допомогою спеціальних світлодіодних датчиків.

**У третьому розділі** на основі вирішення оптимізаційної задачі визначення встановлені раціональні значення передаточних відношень зубчастих передач кривошипних пресів. Враховуючи важливий вплив параметрів зубчастої

передачі на металомісткість, вартість, витрати на обслуговування і величину витрати енергії на включення муфти, умовою оптимальності прийняті критерії мінімуму загальної маси коліс і мінімуму роботи включення муфти при її розташуванні на швидкохідному валу. Для уніфікації обчислювальних процедур уточнена класифікація зубчастих механізмів і визначено аналітичні залежності для розрахунку крутильних моментів на всіх зубчастих колесах, інваріантні до структурних схем.

Визначення оптимального співвідношення передавальних відносин швидкохідного, проміжного і тихохідного ступенів при заданому загальному передавальному відношенні зубчастого привода забезпечено вирішенням задачі умовної багато параметричної оптимізації. Критеріями оптимальності визначені вирази, що становлять собою безрозмірні кількісні характеристики загальної маси зубчастих коліс і загальних витрат енергії на включення фрикційної муфти. Встановлено, що вибір оптимального варіанту передавальних відносин зубчастих передач забезпечує зниження їх металомісткості не менш ніж на 15 % і зниження витрати енергії на включення – не менш ніж на 12 % порівняно з традиційними методами проектування привода.

**В четвертому розділі** наведено результати дослідження клинопасових передач кривошипних пресів.

Клинопасові передачі, як передачі тертям, характеризуються наявністю ковзання ременів щодо шківів, що призводить до втрати швидкості і зміни динамічного режиму роботи привода. Якщо пружне і вдаване ковзання ременів визначаються за відомими залежностями з теорії пасових передач, то аналітичний розрахунок тангенціального ковзання для передач із закріпленими валами неможливий внаслідок непридатності рівності Понселе. На підставі гіпотези зміни потенційної енергії ременя при зміні переданого навантаження автором виконано рішення для аналітичного визначення величини тангенціального ковзання, що вперше дає можливість розрахунку ковзання передачі на протязі усього технологічного циклу. Експериментальне дослідження клинопасових передач декількох пресів підтверджують прийнятність прийнятих допущень. Установлено, що дійсна величина середнього ковзання пасової передачі становить 2...4 %, що значно перевищує значення, рекомендоване в технічній літературі при розрахунку привода кривошипних пресів (1 %). Встановлено, що при реальному значенні максимального ковзання ремінною передачею механічного преса може бути забезпечено зниження необхідного моменту інерції маховика більш ніж на 15...20 %, що, в свою чергу, дає можливість збільшити на 10...15 % коефіцієнт використання числа ходів. Автором приділено увагу питанням підвищення надійності і довговічності клинопасових передач. На основі положень теорії надійності розроблено метод розрахунку довговічності клинових ременів кривошипних пресів. Установлені теоретичні та експериментальні показники, що визначають довговічність одного ременя, характер і частоту відмов передачі. Залежно від умов відмов передачі визначені аналітичні залежності для розрахунку довговічності всієї передачі. Показано, що ефективним напрямом під-

вищення надійності клинопасових передач є використання навантаженого резервування, яке забезпечує збільшення ресурсу роботи передачі.

**У п'ятому розділі** виконано аналіз силового режиму навантаження повзунів і визначення умов їх стійкої рівноваги в період холостого і робочого ходу. Основну увагу приділено аналізу рівноваги повзуна в площині, перпендикулярній фронту преса.

Розроблені розрахункові математичні моделі для визначення реакцій в направляючих повзуна однокривошипних пресів, які враховують усі силові та конструктивні параметри кривошипно-повзунного механізму і особливості технологічного процесу. Для повзунів із додатковими направляючими наведені залежності для розрахунку максимального прогину хобота при реальному розподілі зазорів у напрямних і лінійному розподілі моменту інерції по довжині хобота, що ґрунтуються на розв'язанні рівняння зігнутої лінії. Приведена уточнена методика розрахунку діаграми позацентрового навантаження повзуна кривошипних пресів із додатковими напрямними при зміщенні технологічного зусилля в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Для перевірки передумов, прийнятих при розробці математичної моделі, виконано експериментальне дослідження силового режиму роботи повзуна. Дослідження проведено на експериментальній фізичній моделі повзуна КГШП шляхом вимірювання і реєстрації величини реакцій у контактних точках при різних значеннях зусилля, що діє на повзун, і величини його зміщення. Результати експериментальних досліджень підтверджують допустимість прийнятих припущень і гіпотез.

**У шостому розділі** приведені методи синтезу виконавчих механізмів кривошипних пресів. Залежно від вимог, що висувуються з боку технологічного процесу, всі механізми розділені на три групи.

Розроблена концепція структурного та параметричного синтезу багатоланкових виконавчих механізмів спеціалізованих пресів. Визначено основні критерії та умови параметричного синтезу, поставлена і вирішена задача багатопараметричної умовної оптимізації для визначення оптимального варіанта параметрів виконавчих механізмів спеціалізованих пресів, що забезпечують найкраще задоволення технологічних вимог. Розроблені математичні моделі та відповідне програмне забезпечення дають можливість щодо визначення оптимального варіанта параметрів механізму за розробленим критерієм оптимальності та повною мірою відповідають вимогам технологічного процесу. Параметричний синтез багатоланкових механізмів за наявності кількох обмежень проводиться методом умовної багатопараметричної нелінійної оптимізації. Головний результат оптимізації полягає в тому, що забезпечується можливість параметричного синтезу механізму при широкій варіації умов синтезу. При цьому задоволення головної умови синтезу – мінімізація величини відхилення повзуна на ділянці притиску – забезпечує зменшення граничного відхилення більш ніж у 10 разів.

**У сьомому розділі** надано опис розробленої системи автоматизованого розрахунку кривошипних гарячощтампвальних пресів.

Мета створення системи полягає в практичній реалізації у вигляді програмного продукту методу автоматизованого розрахунку кривошипних пресів на прикладі КГШП. Система побудована за модульним принципом із можливістю модифікації або включення нових проектних процедур. Після кожного розділу дисертаційної роботи наведені висновки.

**Загальні висновки** по роботі повно підбивають підсумок усієї роботи. У **додатках** наведено акти, що підтверджують використання результатів роботи у промисловості.

Таким чином, робота виконана на достатньому науковому рівні, основні положення дисертації не суперечать сучасним уявленням про ковальсько-штампувальне устаткування, теорію машин та механізмів і теорію обробки металів тиском. Наукові положення, висновки і рекомендації містять достатню наукову новизну і мають практичну значимість. Перспективність розвитку методів розрахунку та проектування систем кривошипних пресів не викликає сумнівів. *Вважаю, що матеріал, який наведений в дисертації, розташовано послідовно, він є логічно пов'язаним. Компонування тексту, рисунків і таблиць відповідає вимогам. В цілому структура роботи відповідає основним вимогам до докторських дисертацій.*

#### Актуальність теми дисертації

Кривошипні преси є основним технологічним устаткуванням, що застосовується для листового й об'ємного штампування, особливо при серійному і масовому характері виробництва. Значною мірою якість роботи устаткування визначає якість і ефективність здійснення технологічних процесів. Конструктивні особливості кривошипних пресів обумовлюють низку питань, невирішеність яких стримує створення більш потужного, надійного, безпечного і менш металомісткого обладнання.

Проблема проектування ковальсько-штампувального обладнання полягає в необхідності розвитку теоретичних основ їх розрахунку для підвищення технічного рівня, що полягає в зниженні металомісткості, збільшення енергетичних можливостей і більш якісного задоволення технологічних вимог. Для збільшення конкурентоспроможності вітчизняного ковальсько-штампувального обладнання необхідно підвищити його експлуатаційні характеристики (точність, довговічність, ефективність) при загальному зниженні витрат на розробку і виробництво. Підвищена металомісткість вітчизняного ковальсько-штампувального обладнання показує, що недостатньо визначені критерії надійної працездатності обладнання, що призводить до вибору заздалегідь завищених коефіцієнтів запасу як за масою, так і за енергетичними параметрами машин. Ковальсько-штампувальне обладнання (КШО) – преси, молоти, засоби автоматизації – мають складну багатокомпонентну структуру, що включає в себе об'єкти різної фізичної природи. Навіть у тому випадку, коли в основу машини покладений який-небудь один фізичний принцип, для адекватного моделювання роботи за цикл доводиться враховувати процеси і в інших фізичних систе-

мах. Виготовлення кожної ковальської машини вимагає значних фінансових витрат, що часто призводить до відмови від виготовлення дослідного зразка для його подальшого доведення й випробування. Для таких машин особливого значення набуває етап функціонального проектування, тобто оцінка працездатності машини на основі аналізу процесів її функціонування. Усе зазначене стимулює перехід до сучасних методів проектування, що ґрунтуються на математичному моделюванні фізичних процесів, які відбуваються протягом усього технологічного циклу. Причини недостатньої надійності кривошипних пресів також часто перебувають в недооцінці динамічних процесів, що відбуваються на різних етапах технологічного циклу. Як правило, кривошипні преси при робочому ході перетворюють накопичену за час ходу наближення і технологічної паузи енергію у технологічну роботу пластичного деформування поковок. При цьому сам процес технологічного навантаження відбувається, як правило, за короткий проміжок часу, що призводить до порушення в системі машини коливань і спотворення характеристик, які визначаються традиційними статичними методами.

Проектування сучасних високопродуктивних пресів для здійснення процесів глибокої витяжки, видавлювання, чистової вирубки вимагає застосування методів синтезу багатоланкових важільних виконавчих механізмів, що базуються на принципі оптимального вибору параметрів механізму за критеріями технічної оптимальності з урахуванням конструктивних і технологічних обмежень, а це можливо тільки при використанні методів оптимізаційного синтезу. Існує проблема оптимальної складності створюваної моделі об'єкта - складність математичної моделі повинна залежати як від етапу проектування, так і від поставлених цілей, пов'язаних із завданнями стадії проектування. Аналіз працездатності машини на основі математичного експерименту з її багатокомпонентною динамічною моделлю вимагає створення спеціалізованих методик і програмних засобів, орієнтованих на використання конструктором і проектувальником.

***Вважаю, що робота, спрямована на подальший розвиток теорії розрахунку та проектування кривошипних пресів із використанням математичних методів оптимізації для підвищення їх технічного рівня, є актуальною.***

### **Зв'язок з державними науковими програмами та темами**

Виконання дисертаційної роботи пов'язано з пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки, що визначено у Законі України №2623-III від 11.07.2001 р. Робота виконана згідно з тематичними планами наукових досліджень Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (СНУ) та Запорізького національного технічного університету (ЗНТУ). Дослідження виконані в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт (НДР) ЗНТУ, передбачених планами Міністерства освіти і науки України № ДР 0108U004419 «Удосконалення процесів і обладнання для обробки металів тиском» № ДР 0113U002419 «Удосконалення технології виробництва і обладнання для

виробів зниженої металомісткості в умовах машинобудівного і металургійного виробництва» і ВНУ БМ–7–05 «Розробка алгоритмів і методів розрахунку енергетики робочого ходу кривошипних гарячештампувальних пресів», в яких автор брав участь як керівник і виконавець.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій**

У представлений на розгляд дисертації проведено достатньо широкий аналіз літературних даних по сучасному стану методів розрахунку головних систем кривошипних пресів, що послужило обґрунтуванням для всіх поставлених задач досліджень.

**Достовірність і обґрунтованість** отриманих результатів базується на теоретичних положеннях розрахунків механічних систем технологічних машин, теорії механізмів та машин, теорії надійності, методів дослідження операцій. В роботі виконаний науково обґрунтований вибір методів теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретична база та використання цих методів для розв'язання завдань дисертаційних досліджень заперечень не викликає. Експериментальні дослідження виконані за допомогою обладнання та апаратури, що пройшли метрологічний контроль. Для аналізу та обробки експериментальних даних використані методи математичної статистики, теорії планування експерименту.

*Вищевикладене дає підставу стверджувати, що ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи відповідає науковим вимогам до кваліфікаційних робіт такого рівня.*

### **Новизна отриманих результатів**

Дисертаційна робота містить наукові положення, які характеризуються новизною.

**1. Отримала подальший розвиток теорія оптимального проектування зубчастого привода кривошипних пресів на базі інваріантних математичних моделей.** Розробка відрізняється тим, що оптимізація зубчастого привода здійснюється з умови мінімуму сумарної маси зубчастих коліс і величини роботи включення фрикційної муфти. Отримані результати дають можливість визначення раціонального співвідношення передавальних відносин багатоступінчастого привода, що забезпечує зменшення його сумарної маси, а також збільшення допустимої роботи пластичної деформації за рахунок зниження витрати енергії на включення фрикційної муфти.

**2. Вперше запропоновано метод аналітичного розрахунку величини ковзання клинопасової передачі кривошипного преса.** Раніше аналітичних методів розрахунку ковзання клинопасових передач кривошипних пресів не існувало. Метод розрахунку стосовного ковзання ременів ґрунтується на застосуванні уточненого рівняння Понселе для передач із закріпленими валами. Метод дозволяє визначити закономірності впливу ковзання передачі на динаміку і запас енергії привода, величину моменту інерції маховика, умови роботи двигу-

на, продуктивність преса, а також величину допустимої роботи пластичної деформації.

**3. Вперше на базі положень теорії надійності розроблено метод розрахунку довговічності клинопасової передачі кривошипного преса.** Метод відрізняється тим, що клинопасова передача розглянута як система, а її надійність визначається надійністю окремих складових елементів та умовами відмови. Це дає можливість визначати довговічність передачі залежно від довговічності окремих ременів, умов її відмови і функціонування та практичних параметрів функції надійності.

**4. Отримала подальший розвиток теорія розрахунку силового навантаження повзунів кривошипних пресів.** Відмінність розробки полягає в комплексному врахуванні геометричних параметрів виконавчого механізму, умов навантаження і деформації хобота. Отримані результати дозволяють визначити умови забезпечення стійкості повзуна в період робочого ходу, виконати розрахунок діаграми допустимих зусиль у фронтальній та профільній площині, а також визначити раціональне розташування робочого інструменту в штампах.

**5. Вперше сформульована концепція, поставлено та розв'язано задачу оптимізаційного параметричного синтезу багатоланкових виконавчих механізмів спеціалізованих пресів.** Метод параметричного синтезу відрізняється тим, що на основі положень теорії дослідження операцій і теорії синтезу важільних механізмів сукупність оптимальних параметрів механізмів визначається шляхом розв'язання задачі умовної багато параметричної однокритеріальної оптимізації. Це дає можливість визначити параметри механізмів, що відповідають вимогам технологічного процесу при одночасному задоволенні умов функціонування механізмів.

**6. Вперше розроблена система автоматизованого розрахунку кривошипних гарячештампувальних пресів при інваріантних вихідних даних.** Розрахунок параметрів систем преса здійснюється методом проектування «зверху–вниз» у системній єдності відповідно до їх функціонального призначення. Математичне, інформаційне та програмне забезпечення системи дає можливість у діалоговому режимі прогнозувати і здійснювати оцінку основних параметрів преса та його складових систем.

### **Значимість роботи для науки і практики**

Головне значення *наукових результатів*, отриманих здобувачем, полягає у формуванні системного комплексу знань з проектування кривошипних пресів на основі встановлених закономірних зв'язків витрат енергії на роботу кривошипного устаткування з характеристиками зубчастих передач, умовами функціонування клинопасових передач, особливостями навантаження повзунів при забезпеченні їх стійкості. Автору вдалося вирішити низку оптимізаційних задач на основі нових підходів зі структурного та параметричного синтезу багатоланкових механізмів. Нові наукові результати спрямовано на розвиток динамічних та математичних моделей роботи структурних елементів устаткування, визначення



критеріїв оптимальності конструктивних параметрів кривошипних пресів для заданого технологічного процесу і зменшення енергоматеріалоємності конструкції. Загальне наукове значення роботи відповідає тематиці з розвитку методів проектування кривошипних пресів.

*Практичну значимість* мають наступні результати дисертаційної роботи:

1. Методика розрахунку ковзання клинопасової передачі та його вплив на енергетичні показники приводу.

2. Метод розрахунку очікуваної довговічності клинових ременів і надійності всієї клинопасової передачі залежно від умов її відмови.

3. Метод розрахунку допустимих зусиль на повзун при ексцентричному додатку навантаження в двох взаємно перпендикулярних напрямках і практичні рекомендації з конструювання штампів і їх налагодження.

4. Алгоритми та аналітичні залежності для розрахунку кінематичних характеристик виконавчих багатоланкових важільних механізмів.

5. Метод структурного та оптимізаційного параметричного синтезу виконавчих механізмів спеціалізованих пресів, що забезпечує задоволення різних технологічних вимог і відповідне математичне та програмне забезпечення.

6. Алгоритм, інформаційне та програмне забезпечення системи автоматизованого проектування кривошипних гарячештампувальних пресів.

Теоретичні та експериментальні результати розробок були використані в умовах ТОВ «Виробничо-комерційна фірма «Імпекс», АТ «Мотор-Січ», ВАТ «Авто-Електромаш», ПАТ «Токмацький ковальсько-штампувальних завод», ТОВ «Чернігівський ковальський завод» та при викладанні спеціалізованих дисциплін у Запорізькому національному технічному університеті (м. Запоріжжя) та СХУ ім. В. Даля (м. Сєверодонецьк).

*Отже, робота має беззаперечну наукову та практичну цінність, й оцінка отриманих результатів здобувача щодо значущості його праці для науки і практики є підтвердженою, а тому об'єктивною.*

#### **Рекомендації щодо використання результатів дисертації**

Результати дисертаційної роботи можуть бути ефективно використані на підприємствах машинобудування, приладобудування, металургійних, суднобудівних заводах та інших підприємствах України й інших розвинутих держав, де головним технологічним обладнанням слугують кривошипні преси. Також результати рекомендується використовувати в науково-дослідних інститутах України, в яких проводяться розробки в області штампувального виробництва.

В вищих навчальних закладах України результати можуть бути використані при підготовці фахівців в області обробки матеріалів тиском.

Подальші дослідження в цьому напрямку необхідно проводити в напрямку розширення переліку задач проектування обладнання для штампувального виробництва, для яких важливо визначення оптимальних варіантів параметрів.

*Таким чином, докторська дисертація має виражене галузеве значення.*

**Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях.**

Основні результати дисертації опубліковані у 61 публікаціях, у тому числі: 3 монографії, 38 публікацій в спеціалізованих наукових виданнях та у збірниках наукових праць, з них 14 – без співавторів, 8 тез доповідей на міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях. Нові технічні рішення захищені 2 патентами України. Додатково матеріали дисертації опубліковані в 2 навчальних посібниках із грифом МОНУ та захищені 3 свідоцтвами про охорону авторських прав. У зарубіжних виданнях опубліковано 15 статей.

Зміст автореферату та основних положень роботи повністю ідентичні.

До результатів докторської дисертації не входять наукові положення та результати, які містяться у кандидатській дисертації автора.

**Апробація результатів дисертаційної роботи**

Результати дисертації доповідалися на майже 30 науково-технічних та науково-практичних конференціях та виставках, що мають міжнародне та галузеве значення. Ознайомлення наукових співробітників зі змістом дисертації та його обговорення здійснено на наукових семінарах кафедр, що займаються проблемами обробки металів тиском, провідних вищих навчальних закладів України (НМетАУ м. Дніпропетровськ; ЗНТУ м. Запоріжжя; СНУ ім. Володимира Даля, м. Северодонецьк).

*Отже, результати дисертаційної роботи вельми повно викладені у наукових виданнях, є оригінальними та пройшли достатню апробацію.*

**Зауваження за змістом роботи**

1. Ідея проектування КГШП під окремі операції або технології є справедливою лише для умов багатосерійного і масового виробництва, що не є характерним для сучасного стану багатьох галузей. Сучасний стан машинобудування потребує розвитку гнучких виробничих ліній, орієнтованих на дрібносерійне багатомономенклатурне виробництво із можливістю швидкого переналагоджування виробництва. Тому тут необхідно використання універсальних ковальсько-пресових машин, а не розрахованих на окрему операцію чи технологію.

2. Всі закордонні джерела, на які посиляється автор у роботі, відносяться до 60-80-х років минулого сторіччя. Не зрозуміло, чому автором не проаналізовані роботи сучасних закордонних вчених, які є у відкритому доступі.

3. Слід пояснити практичне значення кута врушіння  $\beta$  (рос. – «вдвигання») ременя. Крім того, автору слід було б надати рекомендації по його значенню.

4. У роботі не наведено відомостей про матеріал ременів (пасків), що використовують у клинопасових передачах КГШП. Саме матеріал ременя (паска) оказує суттєвий вплив на коефіцієнт тертя між ременем та шківом.

5. Для визначення сумарної маси приводу зубчастої передачі використовуються відомі формули (3.27) та (3.28). При цьому не вказано, які конкретні

результати оптимізації системи по масі, на скільки саме можливе зменшення матеріалоємності конструкцій щодо певних моделей пресів.

6. Не зрозуміло, що внесено автором нового у формули для визначення крутильних моментів (3.2) – (3.13).

7. Автором не враховане явище втоми зубів при оцінці їх міцності у зубчастих передачах (тихохідної і швидкохідної сходинки приводу).

8. При розробці розрахункової моделі повзуна автором без попереднього обґрунтування прийнято низку припущень, наприклад, що довжина площадки контакту повзуна та напрямних планок складає  $1/9$  довжини напрямних, що рівнодіючу тисків зміщено від кромки повзуна на  $1/27$  від довжини напрямних та ін.

9. Автором широко застосовані інженерні методи розрахунку (прогину хоботу, стійкості повзуна, допустимої сили для повзуна та ін.). Але сучасний стан розвитку науки потребує використання сучасних точних розрахункових методів на основі методу скінчених елементів, які у роботі застосування, на жаль, не знайшли.

10. Слід надати пояснення, в яких практичних випадках необхідно використовувати синтез кривошипно-повзунного механізму по коефіцієнту середньої швидкості.

11. При проведенні статистичного аналізу, наприклад, причин та строків виходу ременів з ладу, доцільно було б провести побудову гістограм частот, щільностей ймовірностей.

### **Зауваження з оформлення роботи**

1. В авторефераті та дисертації допущено багато скорочень без попереднього пояснення щодо назв підприємств та вишів (наприклад, НКМЗ, ДЗТГП, ТКШЗ, ЧКШЗ, ЦБКМ, ДГМА тощо).

2. Часто вживається застарілі помилкові поняття «зусилля» пресу, замість «сила» або «номінальна сила» пресу, «вага», замість «маса» та ін.

3. У роботі зустрічаються формули, в яких значення, що входять у них, попередньо або після формул не розшифровані (наприклад, ф. 1.4, 5.19, 5.21, формула після ф. 3.1 для визначення плеча крутильного моменту тощо).

*Зазначені зауваження не є принциповими, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи здобувача та їх слід розглядати, як побажання для подальшого наукового пошуку.*

### **Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам**

За сукупністю наведених матеріалів дисертація Явтушенка О.В. є завершеною науковою працею, що вирішує актуальну науково-прикладну проблему розвитку теоретичних основ розрахунку і системного проектування кривошипних пресів, їх вузлів і робочих органів за результатами комплексних теоретичних і експериментальних досліджень.

Дисертація містить наукову новизну, практичну цінність, нові висновки та рекомендації, а отримані в ній науково обґрунтовані розробки вносять пев-

ний вклад у розвиток теорії та методики проектування кривошипних машин, підвищення їх техніко-економічних показників, зниження енергоресурсів та матеріалів при конструюванні та виготовленні вузлів і елементів пресів.

За змістом, структурою, об'ємом та оформленням робота відповідає вимогам пп. 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (Постанова № 567 від 24 липня 2013 р.), що пред'являють до докторських дисертацій. Автореферат цілком узгоджується зі змістом й основними положеннями дисертації.

Робота відповідає паспорту спеціальності 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском (зокрема п.п. «Розроблення ковальсько-штампувального обладнання, зокрема машини та установок для обробки металів імпульсним тиском», «Методи розрахунку процесів обробки матеріалів тиском, оснащення та обладнання»), а її автор, **Явтушенко Олександр Вікторович**, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

### Офіційний опонент,

Завідувач кафедри обробки металів тиском  
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,  
доктор технічних наук, професор



В.В. Кухар