

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, доцента Клеца Д.М.
на дисертаційну роботу *Бондаренка Анатолія Ігоровича*
«Наукове обґрунтування нових технічних рішень процесу гальмування колісних тракторів з безступінчастими гідрооб'ємно-механічними трансмісіями», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори

1. Актуальність обраної теми

Створення високопродуктивних та безпечних дорожніх транспортних засобів, зокрема колісних тракторів, є важливою науково-практичною проблемою. Завдання тракторобудування полягає не тільки в збільшенні чисельності складу, але і в значному підвищенні технічного рівня, якісних і експлуатаційних показників машин, а також у поліпшенні умов праці трактористів-машиністів.

Одним з найважливіших шляхів підвищення ефективності колісних тракторів є удосконалення існуючих трансмісійних систем, що забезпечують найбільш повне використання потужності двигуна та поліпшення керованості робочими органами. Створення перспективних трансмісій колісних тракторів вітчизняного та закордонного виробництва йде шляхом впровадження безступінчатих передач, а саме гідрооб'ємно-механічних трансмісій. Це пов'язано, насамперед, з можливістю забезпечення плавного регулювання передавального відношення від двигуна до ведучих коліс при достатньо малих, прийнятних для водія зусиллях на органах керування, а також із кращою тяговою динамікою самохідної машини у порівнянні зі ступінчастими механічними трансмісіями. Підвищення транспортних швидкостей колісних тракторів обумовлює необхідність збереження безпеки в режимі гальмування. Тому потребує дослідження питання вибору способів реалізації службового та екстреного гальмування, знаходження оптимальних законів зміни відносного параметра регулювання гідрооб'ємної передачі.

З урахуванням цього, підвищення технічного рівня, а також керованості та гальмівної ефективності колісних тракторів з гідрооб'ємно-механічними трансмісіями за рахунок наукового обґрунтування нових технічних рішень процесу гальмування на основі системного підходу до визначення основних закономірностей робочих процесів у безступінчастих трансмісіях, а також встановлення раціональних способів реалізації процесу гальмування та законів зміни параметрів регулювання гідрооб'ємної передачі, є актуальною науково-практичною проблемою.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт на замовлення Міністерства освіти і науки України:

– «Концептуальні основи підвищення тягово-енергетичних і техніко-економічних показників сільськогосподарських тракторів на основі просторово-топологічних уявлень» (ДР № 0110U001239);

- «Наукове обґрунтування конструкції трансмісії перспективного трактора з потужністю двигуна 250 кВт» (ДР № 0111U002264);
- «Створення наукових засад перспективних енерго- і ресурсозберігаючих конструкцій та технологічних процесів підйомно-транспортних систем та машинно тракторних агрегатів (ДР № 0112U000401);
- «Розробка методів підвищення енергоефективності і ресурсозбереження підйомно-транспортних споруд, машинно тракторних агрегатів та гібридних транспортних засобів» (ДР № 0113U000427), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Результати досліджень наведено у висновках до кожного розділу, а також у 10 загальних висновках дисертаційної роботи. Відносно обґрунтованості, достовірності та новизни висновків зроблено зауваження.

Перший висновок відображає результати огляду й аналізу наукових робіт щодо тенденцій розвитку гідрооб'ємно-механічних трансмісій колісних тракторів та визначає напрями подальшого їх удосконалення.

Другий висновок є достовірним, має теоретичну і практичну направленість і стосується розробки методології визначення раціональної структури та конструктивних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій для колісних тракторів. Використання розробленої автором методології дозволить підвищити технічний рівень трансмісій при модернізації існуючих та проектуванні нових колісних тракторів, а також підвищити їх керованість та гальмівну ефективність.

Третій висновок є достовірним, має теоретичну і практичну направленість, відображає встановлені особливості, що отримані за результатами комплексного аналізу гідрооб'ємно-механічних трансмісій різноманітного схемного виконання.

Зауваження: з висновку незрозумілі встановлені кількісні та якісні закономірності зміни кінематичних, силових та енергетичних параметрів трансмісій як для схем з диференціалом на вході так і для схем з диференціалом на виході. Жодного слова не сказано про гідрооб'ємно-механічні трансмісії зі змінною структурою.

Четвертий висновок інформує про розроблення узагальненої математичної моделі процесу гальмування, яка відрізняється від існуючих урахуванням способів реалізації службового та екстреного гальмування, умов експлуатації, законів натиснення на педаль гальма, законів зміни параметрів регулювання гідрооб'ємних передач.

Зауваження: з висновку незрозуміло, з яких блоків і груп рівнянь складається узагальнена математична модель процесу гальмування.

П'ятий висновок відображає результати перевірки адекватності опису робочих процесів у гідрооб'ємно-механічних трансмісіях при роботі в гальмівному режимі на прикладі схеми з диференціалом на вході, та схеми з диференціалом на виході.

Зауваження: цей висновок можна було об'єднати з шостим, тому що обидва присвячені перевірці адекватності розробленої узагальненої математичної моделі процесу гальмування колісного трактора з гідрооб'ємно-механічною трансмісією.

Шостий висновок відображає результати перевірки адекватності створеної узагальненої математичної моделі процесу гальмування в цілому.

Зауваження: з висновку незрозуміло, навіщо розглядався дослідний колісний трактор ХТЗ-21021 з ГОМТ-1С, оскільки за прототип при розробці узагальненої математичної моделі процесу гальмування обрано трактор Fendt 936 Vario.

Сьомий висновок є достовірним і має практичну спрямованість, відображає результати комплексного дослідження процесу гальмування колісних тракторів з гідрооб'ємно-механічними трансмісіями різних структур.

Восьмий висновок має теоретичну і практичну направленість, відображає способи підвищення працездатності гідрооб'ємно-механічної трансмісії в процесі гальмування.

Зауваження – результати не підтверджено чисельними даними.

Дев'ятий висновок є достовірним, має теоретичну і практичну направленість, відображає технічні рекомендації стосовно реалізації екстреного гальмування колісного трактора з гідрооб'ємно-механічною трансмісією.

Десятий висновок, щодо назв організацій, де впроваджено результати досліджень, має лише інформаційну спрямованість.

Загальна оцінка розділу “Висновки” – висновки достовірні, мають теоретичну і практичну направленість.

4. Наукова та практична цінність дисертаційної роботи

Дисертаційне дослідження є цінним для науки тому, що:

– вперше виявлено та систематизовано основні закономірності розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій різних структур, що надає можливість підвищити ефективність трансмісій за рахунок вибору їх раціональних структур ще на стадії проектування колісних тракторів;

– вперше виявлено взаємозв'язок між способами реалізації процесу гальмування, законами зміни параметрів регулювання гідромашин гідрооб'ємних передач з кінематичними, силовими та енергетичними параметрами гідрооб'ємно-механічних трансмісій різних структур, що надає можливість визначити раціональні способи реалізації службового та екстреного гальмування, а також підвищити працездатність гідрооб'ємно-механічних трансмісій, керованість та гальмівну ефективність колісних тракторів;

– вперше визначено та теоретично обґрунтовано, з точки зору динаміки процесу гальмування, оптимальні місця розташування зчеплення в гідрооб'ємно-механічних трансмісіях як з диференціалом на вході, так і з

диференціалом на виході, що надає можливість підвищити працездатність трансмісії при гальмуванні;

– вперше встановлено, що у разі екстреного гальмування трактора при кінематичному від'єднанні двигуна від ведучих коліс, зміна значень параметрів регулювання гідروоб'ємних передач, для підвищення рівня безпеки дорожнього руху, повинна відбуватися автоматично та відповідати зміні дійсної швидкості руху трактора;

– отримав подальший розвиток підхід до визначення раціональної структури та конструктивних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій для колісних тракторів, який відрізняється від існуючих орієнтуванням не тільки на кінематичні, силові та енергетичні параметри трансмісії при виконанні трактором технологічної операції «оранка», а й враховує особливості гальмування різноманітними способами та кількісні показники ергономічності трактора;

– отримала подальший розвиток математична модель процесу гальмування колісного трактора з гідрооб'ємно-механічною трансмісією, яка відрізняється від існуючих урахуванням способів реалізації службового та екстреного гальмування, умов експлуатації, законів натиснення на педаль гальма, законів зміни параметрів регулювання гідрооб'ємною передачею, що надає можливість достовірно визначити кінематичні, силові та енергетичні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій, а також керованість та гальмівну ефективність трактора.

Практичну цінність результатів дослідження складають розроблені нові технічні рішення процесу гальмування, що використовуються при модернізації існуючих та проектуванні нових колісних тракторів з безступінчастими гідрооб'ємно-механічними трансмісіями, а саме:

– при розробці нових гідрооб'ємно-механічних трансмісій для колісних тракторів практичну цінність мають розроблені автором рекомендації стосовно вибору їх раціональних схем, способу реалізації службового та екстреного гальмування, а також законів зміни відносного параметра регулювання гідрооб'ємної передачі;

– встановлені закономірності розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій можуть бути використані з метою підвищення працездатності, керованості та гальмівної ефективності колісних тракторів;

– в практиці проведення випробувальних робіт сільськогосподарської техніки практичну цінність представляє методика визначення впливу умов експлуатації, законів натиснення на педаль гальма та законів зміни параметрів регулювання гідрооб'ємних передач на кінематичні, силові та енергетичні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій різних структур, а також керованість та гальмівну ефективність трактора.

Практична цінність роботи підтверджена розробленими за участю здобувача новими способами реалізації службового та екстреного гальмування транспортного засобу з безступінчастими гідрооб'ємно-механічними

трансмiсiями, з яких 3 виконанi на рiвнi винаходiв (1 з них патент України на винахiд, 2 – патенти України на корисну модель).

5. Достовiрнiсть й обґрунтованiсть отриманих результатiв пiдтверджується коректним використанням методiв класичної механiки, порiвнянь i аналогiй, морфологiчного аналізу, Runge-Kutta, Hooke-Jeeves, методiв натурних випробувань та електричного вимiрювання неелектричних величин. Адекватнiсть розроблених моделей пiдтверджена iз застосуванням статистичного методу для визначення похибки при порiвняннi результатiв теоретичних та експериментальних дослiджень.

6. Оцiнка змiсту, завершеностi та оформлення дисертацiї

Дисертацiя є завершеною роботою i може бути захищена привселюдно. Змiст автореферату повнiстю вiдповiдає роздiлам дисертацiйної роботи. Дисертацiя мiстить вступ, сiм роздiлiв, висновки, список використаних джерел та п'ять додаткiв.

У вступi наведено загальну характеристику роботи; обґрунтовано актуальнiсть теми; сформульовано мету, задачi, об'єкт та предмет дослiдження; наведено застосованi методи дослiдження та зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатiв; надано iнформацiю про апробацiю та публiкацiю результатiв дисертацiйних дослiджень.

Перший роздiл присвячений аналізу наукових концепцiй i тенденцiй застосування гiдрооб'ємно-механiчних трансмiсiй в тракторобудуваннi. Список використаної в дисертацiйнiй роботi наукової лiтератури мiстить 302 найменування, що дозволяє провести ґрунтовну оцiнку стану попереднiх дослiджень в цьому напрямку.

Визначено, що незважаючи на достатню розповсюдженiсть гiдрооб'ємно-механiчних трансмiсiй, сучаснi конструкцiї тракторних трансмiсiй даного типу потребують подальшого удосконалення, зокрема: вiдмови вiд використання перемикачiв з пiддiапазона на пiддiапазон для унеможливлення виникнення ударних режимiв в гiдрооб'ємних передачах; запобiгання циркуляцiї потужностi у замкнутому контурi гiдрооб'ємно-механiчних трансмiсiй при виконаннi трактором основних технологiчних операцiй; пiдвищення коефiцiєнта корисної дiї трансмiсiї; зниження навантаження як на гiдравлiчну, так i елементи механiчної частини, що дозволить пiдвищити не тiльки технiчний рiвень тракторiв, а й рiвень безпеки дорожнього руху при гальмуваннi.

За результатами виконаного огляду i аналізу робiт за названою темою сформованi науковi проблеми, завдання дослiджень.

Зауваження до першого роздiлу:

– при оглядi праць, що присвяченi питанням розробки гiдрооб'ємно-механiчних трансмiсiй, автором наводиться у одному реченнi посилання вiдразу на 172 науковi роботи (стор. 15), у тому числi й на свої одноосiбнi публiкацiї, що винесено на захист у складi дисертацiї. Це ускладнює розумiння внеску конкретних науковцiв у вирiшення дослiджуваної проблеми;

– на рис. 1.2 – 1.3 наведені дані щодо типів трансмісій, що використовувалися у тракторній промисловості у 2004 та 2015 рр. з посиланням на роботи Ключникова А.В. та Щельцина Н.А. Але на стор. 26 – 27 до порівняльного аналізу залучаються дані за 2007 та 2010 рр. Незрозуміло, з якого джерела автор отримав останні дані – за допомогою інтерполяції, чи це його власні статистичні дані;

– на стор. 54 автор наводить максимальне уповільнення трактора Fendt 926 Varjo при гальмуванні – $4,3 \text{ м/с}^2$. Незрозуміло, яким чином та за яких умов отримана ця величина.

У другому розділі розроблена методологія визначення раціональної структури та конструктивних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій для колісних тракторів, яка базується на орієнтуванні не тільки на кінематичні, силові та енергетичні параметри трансмісії при виконанні трактором технологічної операції «оранка», а й враховує особливості гальмування різноманітними способами та кількісні показники ергономічності трактора. Використання даної методології створює можливість підвищити технічний рівень трансмісій при модернізації існуючих та проектуванні нових колісних тракторів, а також підвищити керованість та гальмівну ефективність.

Зауваження до другого розділу:

– на стор. 76 автор стверджує, що «...допускається збільшення гальмівного шляху, але не більше, ніж на 5%» без обґрунтування даної величини чи посилання на нормативний документ;

– автору слід було б указати, на які ДСТУ чи міжнародні стандарти він спирався при розробці методики експериментального дослідження роботи гідрооб'ємно-механічних трансмісій в гальмівному режимі та процесу гальмування колісних тракторів (п. 2.3);

– детальний опис процесу виникнення втоми організму людини з використанням медичинської термінології є зайвим для досліджуваної проблеми, його доцільно було б скоротити (стор. 89 – 105).

Третій розділ присвячено виявленню та систематизації основних закономірностей розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій для тракторів з потужністю двигуна 170 – 250 кВт.

Автором формалізовано розподіл кінематичних, силових та енергетичних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій різних структур, виявлено особливості та систематизовано основні закономірності робочих процесів, включаючи циркуляцію потужності, у такого типу безступінчастих трансмісій. Застосування встановлених особливостей та закономірностей надає можливість на стадії проектування колісних тракторів підвищити не тільки ефективність гідрооб'ємно-механічних трансмісій за рахунок вибору її раціональної структури, а й конкурентоспроможність, за рахунок спрощення конструкції трансмісії шляхом відмови від піддіапазонів та покриття всього технологічного швидкісного діапазону зміною лише відносного параметра регулювання гідрооб'ємної передачі.

Зауваження до третього розділу:

– відсутній числений аналіз гідрооб'ємно-механічних трансмісій з двома диференціалами: на вході та виході.

У четвертому розділі складено узагальнену математичну модель процесу гальмування, яка поєднує опис: характеристик двигуна внутрішнього згорання і рівняння руху колінчастого валу, робочих процесів у гідрооб'ємно-механічних трансмісіях, взаємодії коліс з опорною поверхнею, гальмівної системи (містить опис робочих процесів антиблокувальної системи, гальмівного механізму, гальмівного приводу), руху непідресорених і підресорених мас з урахуванням впливу підвіски і жорсткості шин.

Для складання просторової багатомасової нелінійної моделі за прототип обрано трактор останнього покоління з безступінчастою гідрооб'ємно-механічною трансмісією Fendt 936 Vario. Використання створеної моделі надає можливість достовірно визначити кінематичні, силові та енергетичні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій, а також керованість та гальмівну ефективність трактора.

Зауваження до четвертого розділу:

– відсутня повна математична модель процесу розгону колісного трактора з гідрооб'ємно-механічною трансмісією;

– у математичну модель гальмівного механізму входять коефіцієнти k_1 , k_2 та k_3 . Автор вказує, що вони визначаються за експериментальними даними, але роз'яснення щодо цього визначення відсутні;

– автор пропонує нехтувати силою опору повітря при розрахунках, «зважаючи на мале значення даної величин в гальмівному режимі» (стор. 179). Незрозуміло, яку похибку це дасть, враховуючи значну площу поперечної проекції трактора та початкову швидкість гальмування, яка може досягати 60 км/год та більше.

У п'ятому розділі шляхом порівняння теоретичних результатів з експериментальними, отриманими в лабораторних умовах, доведена адекватність опису робочих процесів у гідрооб'ємно-механічних трансмісіях при роботі в гальмівному режимі на прикладі схеми з диференціалом на вході, та схеми з диференціалом на виході.

Зауваження до п'ятого розділу:

– відсутні результати експериментальних досліджень при імітації руху трактора заднім ходом;

– незрозуміло, на основі яких міркувань автор обирає частоту (6 Гц) та порядок фільтра Баттерворта (15-й) при фільтрації вольтових сигналів, що відображають зміну тиску в нагнітаючій магістралі гідрооб'ємної передачі (стор. 204).

У шостому розділі проведена оцінка верифікація складеної узагальненої математичної моделі процесу гальмування трактора на прикладі дослідного колісного трактора ХТЗ-21021 з ГОМТ-1С (гідрооб'ємно-механічна трансмісія з диференціалом на виході) та трактора Fendt 936 Vario (гідрооб'ємно-механічна трансмісія з диференціалом на вході).

Адекватність створеної автором узагальненої математичної моделі процесу гальмування в цілому підтверджена експериментальними дослідженнями. Максимальна похибка при порівнянні теоретичних результатів з експериментальними не перевищує 9,9%, що дозволяє провести на базі

створеної узагальненої математичної моделі якісне комплексне теоретичне дослідження процесу гальмування колісних тракторів з гід्रोоб'ємно-механічними трансмісіями різноманітними способами.

Зауваження до шостого розділу:

– визначення у процесі експериментальних досліджень гальмівного шляху та максимального відхилення трактора від заданої траєкторії за допомогою подвійного інтегрування поздовжніх та бокових прискорень призводить до збільшення похибки отриманих даних, яка вказана автором (9,9 %).

У сьомому розділі виявлено вплив способів реалізації службового та екстреного гальмування, законів зміни параметрів регулювання гідромашин гідрооб'ємних передач на кінематичні, силові та енергетичні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій різних структур, а також запропоновані нові технічні рішення з підвищення працездатності безступінчастих трансмісій, керованості та гальмівної ефективності колісних тракторів в процесі екстреного гальмування при кінематичному від'єднанні двигуна від ведучих коліс.

Встановлено, що найбільш прийнятним службовим способом гальмування є гальмування за рахунок зміни відносного параметра регулювання гідрооб'ємної передачі при збереженні кінематичного зв'язку з двигуном. Використання закону зміни відносного параметра регулювання гідрооб'ємної передачі в процесі екстреного гальмування колісних тракторів з безступінчастими гідрооб'ємно-механічними трансмісіями при кінематичному від'єднанні двигуна від ведучих коліс, при якому значення параметрів регулювання гідрооб'ємної передачі відповідають зміні дійсної швидкості трактора, прийнятне для всіх варіантів схем гідрооб'ємно-механічних трансмісій.

Зауваження до сьомого розділу:

– відсутність графічних залежностей зміни силових, кінематичних, силових параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій в процесі гальмування для ілюстрації чіткішої переваги або недоліку кожного із розглянутих способів реалізації процесу гальмування.

Загальні зауваження по оформленню дисертації

Дисертацію оформлено згідно вимог Міністерства освіти і науки України. Слід відзначити чітко та послідовне викладення матеріалу, добру мову написання, знання предмету дослідження, володіння математичним апаратом та новітніми технологіями експериментальних досліджень.

Однак слід відмітити загальні зауваження до дисертаційної роботи:

– з тексту дисертаційної роботи незрозуміло, який внесок зроблено саме здобувачем у наукових роботах, що опубліковано у співавторстві. Ці відомості наведені лише у авторефераті дисертації;

– у тексті дисертації зустрічаються визначення на зразок «...гальмівний шлях... може лише трохи збільшитися...», «на слизькій і гладкій поверхні він навіть менший» (стор. 54), «...діаметр повороту при цьому трохи

збільшується» (стор. 55) та ін. Вказання конкретних значень покращило б сприйняття матеріалу;

– під одними й тими ж позначеннями у роботі іноді розуміються різні змінні, наприклад на стор. 137 f – площа прохідного перетину дроселя, а на стор. 73 та 250 f – коефіцієнти опору руху; на стор. 181 a, b – координати центру підресореної маси трактора (стор. 181), а на стор. 170 a, b складові коефіцієнта пробної дії і т.п.;

– деякі висновки за розділами мають декларативний характер – перший висновок за розділом 2 (стор. 106), другий висновок за розділом 4 (стор. 186). Автору слід біло б навести числові дані;

– у тексті дисертаційної роботи зустрічається матеріал, який фактично дублюється в іншому місті: перший абзац стор. 67 та останній абзац стор. 74; рис. 3.1 – 3.3 та рис. 2.1 – 2.3; вирази (3.1) – (3.5) та (2.1) – (2.5); табл. 3.1 та 2.1; рис. 5.2 – 5.3 та рис. 2.6 – 2.7.

Разом з тим, зауваження по роботі, що відзначені у відгуку, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення й основні результати досліджень.

7. Публікації

Основні результати дисертаційної роботи викладені у 53-х наукових роботах. Серед них: 1 монографія, 31 стаття у наукових фахових виданнях України (17 статей у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 5 публікацій у періодичних закордонних фахових виданнях, 3 патенти України, 2 публікації у періодичних виданнях України, 11 публікацій у матеріалах конференцій.

Публікації відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України, а їх кількість достатня для захисту докторської дисертації. Основні результати роботи в повній мірі відображено в публікаціях.

8. Апробація матеріалів дисертації

Результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на 22-х Міжнародних та Всеукраїнських науково-практичних та науково-технічних конференціях. Серед них: «European Science and Technology» (Німеччина, м. Мюнхен, 2014 р.); «Technique and Technology. Achievements, Projects, Hypotheses» (Польща, м. Краків, 2014 р.); «Science in the modern information society» (США, м. Норт-Чарлстон, 2015 р.), та ін.

9. Загальний висновок по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Бондаренка Анатолія Ігоровича є закінченою науково-дослідною роботою, у якій отримані нові обґрунтовані результати, що у своїй сукупності вирішують актуальну наукову проблему підвищення технічного рівня, а також керованості та гальмівної ефективності колісних тракторів із гідрооб'ємно-механічними трансмісіями за рахунок наукового обґрунтування нових технічних рішень процесу гальмування. Наукова новизна роботи, її зміст та висновки відповідають паспорту спеціальності 05.22.02 – автомобілі та трактори.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., які пред’являються до докторських дисертацій, а її автор Бондаренко Анатолій Ігорович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори.

Офіційний опонент:

професор кафедри автомобілів
та транспортної інфраструктури
Національного аерокосмічного
університету ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
докт. техн. наук, доцент

Д. М. Клец

Підпис професора Клеца Д.М. засвідчую
Учений секретар Національного аерокосмічного
університету ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
канд. екон. наук, доцент



Ю. А. Нужнова