

ВІДГУК

опонента на дисертацію **ВОЛІНОЇ Тетяни Миколаївни**
на тему: **«Геометро-кінематичні методи визначення параметрів руху
частинок по поверхнях під дією прикладених сил»**,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
з наукової спеціальності 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка»

Шляхом вивчення дисертації, реферату, опублікованих за темою дисертації праць здобувачки можна зробити наступні висновки щодо поданої до захисту кваліфікаційної праці на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Актуальність теми дослідження. Дослідження руху частинок по поверхнях під дією прикладених сил є актуальним напрямом через зростаючу потребу в інноваційних рішеннях для сільськогосподарської та інших галузей промисловості. Сучасні технології вимагають точного контролю та оптимізації руху частинок для забезпечення високої якості та ефективності виробничих процесів. Розроблення геометро-кінематичних методів визначення параметрів руху частинок дозволяє краще розуміти динаміку такого руху і знаходити траєкторії частинок, що є важливим для проектування та вдосконалення машин і механізмів. Крім того, отримані результати можуть бути застосовані в інших галузях, таких як хімічна та гірничодобувна промисловості, металургія, де також важливий контроль руху частинок. У зв'язку з цим, виникає необхідність розроблення нових підходів до розв'язання задач руху частинки по поверхнях із поєднанням методів класичної механіки і диференціальної геометрії поверхонь. Виходячи зі сказаного, дослідження, спрямовані на пошук знаходження аналітичних залежностей, які описують рух частинок оброблюваного матеріалу по рухомих та стаціонарних поверхнях, шляхом розроблення геометро-кінематичних методів їх визначення, з метою забезпечення найбільш ефективного виконання відповідного технологічного процесу, є актуальними.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та пропозицій. Достовірність отриманих авторкою результатів забезпечується коректними формулюваннями та розв'язками поставлених задач. Наведені в дисертації наукові положення, зроблені висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими належними математичними викладками, проведеними комп'ютерними експериментами, побудованими моделями, здійсненими впровадженнями у практику.

Зазначені результати спираються на загальноприйняті підходи сучасної науки. Дисертанткою у проведених дослідженнях успішно використано методи аналітичної, диференціальної, обчислювальної геометрії, комп'ютерної графіки, проєктування, виготовлення та експлуатації робочих органів машин і механізмів тощо.

Напрацьовані наукові положення і рекомендації достатньою мірою висвітлено у наукових виданнях та апробовано на науково-практичних конференціях. Загальні висновки дисертації є достовірними з наукової та практичної точок зору.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження. У роботі вперше:

- виведено узагальнені диференціальні рівняння ковзання частинки по гвинтовій поверхні під дією її власної ваги при заданій кривій осьового перерізу;

- описано рух частинки у гвинтовому конвеєрі зі шнеком, що обертається всередині нерухомого циліндричного кожуха при зміні кута нахилу осі конвеєра від горизонтального до вертикального положення;

- описано рух частинки у вертикальному циліндрі з жорстко закріпленим у ньому співвісним шнеком, які обертаються навколо спільної осі;

- складено диференціальні рівняння відносного і абсолютного руху частинки, яка ковзає по поверхні, що здійснює коловий коливальний поступальний рух;

- здійснено візуалізацію траєкторій ковзання частинки не у вигляді графіків, а з прив'язкою до аксонометричного зображення поверхні.

У роботі отримало подальший розвиток:

- застосування супровідного тригранника напрямної кривої в ролі рухомої системи координат і формул Френе при складному русі частинки;

- складання диференціальних рівнянь руху частинки як по нерухомих, так і по рухомих поверхнях із застосуванням внутрішніх криволінійних координат поверхні, що представляє собою узагальнений спосіб розв'язання подібних задач;

- застосування в ролі незалежної змінної довжини дуги траєкторії як у простому, так і складному русі.

Оцінка змісту роботи. *Вступ.* Обґрунтовано актуальність теми дослідження, викладено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, теоретичну базу для проведення дослідження, викладено застосовані методи, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про їхню апробацію, виконані впровадження, описано структуру та обсяг роботи.

У вступі визначено мету даного наукового дослідження, яка полягає в створенні методологічної основи визначення параметрів руху частинок по поверхнях під дією прикладених сил та її практичній реалізації. Для цього окреслено завдання: розробити узагальнений метод дослідження закономірностей руху частинок по стаціонарних гвинтових поверхнях за допомогою параметричних рівнянь у функції часу; запропонувати метод дослідження закономірностей руху частинок по поверхнях, що здійснюють коливальний рух; розробити метод дослідження закономірностей руху частинок по поверхнях обертання, які здійснюють обертальний рух навколо власної осі, за допомогою параметричних рівнянь у функції часу; за допомогою параметричних рівнянь у функції часу запропонувати метод дослідження закономірностей руху частинок, які одночасно контактують з двома поверхнями; розглянути застосування тригранника і формул Френе при русі

частинок по стаціонарних поверхнях; розглянути застосування тригранника і формул Френе для дослідження закономірностей складного руху частинок по рухомих поверхнях; впровадити результати виконаних досліджень у практику конструювання органів машин, робочі поверхні яких взаємодіють із частинками технологічного матеріалу, а також у навчальний процес.

Перший розділ. У розділі проведено огляд способів описання руху матеріальної точки (векторного, координатного та природнього), викладено загальні підходи до опису простого та складного руху частинки по поверхнях, проаналізовано наукові праці з опису руху частинок по нерухомих шорстких поверхнях, по рухомих шорстких поверхнях, при русі яких присутній поворот, та таких, що здійснюють поступальні коливання. Крім того, в розділі описано запропоновані підходи до розроблення методологічної основи визначення параметрів руху частинок по поверхнях.

З урахуванням проведеного аналізу праць стосовно руху частинки по поверхні обрано напрям дослідження з більш широким залученням геометричних методів, зокрема, диференціальної геометрії. Це викликано також тим, що серед науковців з прикладної геометрії цій темі було приділено мало уваги, а праці, які з'явилися останніми роками, потребують подальшого розвитку.

Другий розділ. Аналітичний опис руху частинок по стаціонарних поверхнях є важливим для розуміння багатьох фізичних явищ та є достатньо дослідженим. З практичної точки зору серед стаціонарних поверхонь на особливу увагу заслуговують гвинтові, оскільки вони широко поширені як універсальний робочий орган багатьох машин. Характер руху частинки по гвинтовій поверхні з вертикальним розташуванням осі залежить від форми цієї поверхні – кривої перерізу жолоба вертикальною площиною, яка проходить через вісь гвинтової поверхні. Виведені узагальнені аналітичні залежності закону руху дають можливість досліджувати вплив конструктивних параметрів жолоба на режими руху частинок по ньому. Це дозволило виявити нові закономірності руху частинок в теоретичному плані та дало змогу розв'язати широкий ряд прикладних задач – у практичному. Отримано часткові розв'язки

для косого закритого гелікоїда та поверхонь з жолобами у вигляді півкола та синусоїди. Встановлено особливості руху частинки в залежності від конструктивних параметрів жолоба і кута підйому нижньої гвинтової лінії. Отримано результат для жолоба, у якого кут підйому нижньої гвинтової лінії дорівнює кутові тертя.

Третій розділ. Показано, що параметричні рівняння у функції часу можуть застосовуватися для виявлення закономірностей відносного руху, тобто ковзання частинок по поверхнях, які, у свою чергу, здійснюють поступальний, обертальний або комбінований рухи.

Отримано закон руху частинки по циліндричній поверхні з горизонтальними прямолінійними твірними і поперечним перерізом у вигляді синусоїди, яка здійснює поступальні коливання таким чином, що всі її точки описують кола в горизонтальних площинах. Виведено систему диференціальних рівнянь руху частинки по горизонтальній площині, яка поєднує поступальний і обертальний рухи.

Отримано систему диференціальних рівнянь руху частинки по зовнішній поверхні циліндра, який здійснює колові поступальні коливання в горизонтальних площинах. Встановлено, що частинки з різним коефіцієнтом тертя рухаються по різних траєкторіях, причому відстань між ними збільшується по мірі ковзання по поверхні. Отриманий результат може бути використано для сепарації матеріалу за його фрикційними властивостями.

Знайдено аналітичні залежності руху частинки по внутрішній поверхні горизонтального і похилого циліндра при його обертанні навколо власної осі. Встановлено, що кінематичні характеристики руху частинки залежать від кута нахилу циліндра і кутової швидкості його обертання.

Знайдено аналітичні залежності руху частинки по внутрішній поверхні сферичного сегмента, який обертається навколо вертикальної осі. Знайдено закон руху частинки по поверхні обертання із заданим меридіаном зі змінним кутом його підйому, яка обертається навколо власної осі. Розглянуто приклад соковитискача відцентрового типу з меридіаном у формі параболи. З'ясовано, що реакція поверхні є максимальною перед «залипанням» частинок.

Встановлено, що незалежно від кутової швидкості обертання сита на висоті, яка відповідає куту підйому меридіану 80° , необхідно передбачити очисний пристрій або ж забезпечити висоту сита менше цього значення для недопущення його забивання. Запропонований алгоритм є універсальним: в ролі меридіана може бути прийнята інша крива.

Знайдено закон руху частинки по поверхні відцентрового апарата у вигляді сферичного сегмента з вертикально встановленими лопатками, що забезпечує початок польоту частинки в момент сходження з диска під заданим кутом до горизонтальної площини. Запропоновано три конструкції сферичного розсіювального апарата, на які отримано патенти України на корисну модель.

Сформульовано умови неможливості транспортування матеріалу вертикальним шнеком, обмеженим співвісним циліндром, які складають єдине ціле і які здійснюють обертальний рух.

Розроблено узагальнену систему диференціальних рівнянь транспортування частинки гвинтовим конвеєром. З'ясована принципова відмінність процесу транспортування частинки вертикальним, горизонтальним і похилим конвеєрами.

Четвертий розділ. Показано, що окрім параметричних рівнянь у функції часу для дослідження руху частинок по поверхнях, що є стаціонарними або виконують різного роду рухи, можуть бути застосовані параметричні рівняння у функції натурального параметру. Розділ присвячено стаціонарним поверхням.

Виведено формулу для знаходження співвідношень конструктивних параметрів поверхні, утвореної гвинтовим коноїдом зі співвісним циліндром, які забезпечують необхідну швидкість транспортування матеріалу, при заданих коефіцієнтах тертя.

Виведено залежність, за допомогою якої можна керувати формою криволінійної осі силосопроводу для транспортування подрібненої маси, яка забезпечує запобігання виникненню явища «залипання» матеріалу при зустрічі з поверхнею.

Досліджено рух матеріалу у вигляді суцільного середовища на прикладі гнучкої нестискуваної смуги прямокутного перерізу. Виведено формулу для знаходження зусилля, необхідного для штовхання смуги вгору по внутрішній поверхні горизонтального циліндра при вступі смуги на поверхню циліндра перпендикулярно до його твірних. Подібна ситуація може виникнути при роботі бульдозера, для якого зусилля штовхання відіграють сили підпору. Виявлено значний вплив коефіцієнта тертя на величину сили штовхання.

Встановлено, що опір переміщенню смуги по поверхні циліндра при її вступі на його поверхню під кутом до твірних циліндра спричиняють сили, однією із яких є сила тертя. Складовими сили тертя є відцентрова сила і сила, що деформує пружну смугу. Встановлено, що обидві ці сили залежать від нормальної кривини траєкторії руху смуги по поверхні. Показано, що при збільшенні швидкості руху смуги або збільшенні її пружності траєкторія руху смуги наближається до геодезичної лінії. У такому випадку сила опору залежить від сили на згинання смуги і відцентрової сили, до виразів яких входить нормальна кривина осі смуги.

П'ятий розділ. Параметричні рівняння у функції натурального параметру застосовано для дослідження руху частинок по поверхнях, що виконують різного роду рухи.

Отримано узагальнену математичну модель складного руху частинки по площині, переносне переміщення якої задане плоскою напрямною кривою сталої кривини. Отримана універсальна система диференціальних рівнянь дає змогу дослідити рух частинки при різних кутах нахилу площини. Встановлено мінімальне значення кута нахилу поверхні, величина якого залежить від коефіцієнта тертя та кутової швидкості її обертання, який забезпечує відсутність відриву частинки від поверхні. Виведено аналітичний опис складного руху частинки по площині, переносне переміщення якої задане плоскою напрямною кривою змінної кривини. Як приклад такої задачі розглянуто знаходження відносного руху вантажу в кузові автомобіля, що рухається по дорозі із криволінійною віссю змінної кривини. Виведено

формулу для визначення значення дугової координати, при якому починається відносний рух вантажу. Встановлено залежності траєкторії і швидкості ковзання вантажу від коефіцієнта тертя та швидкості руху автомобіля.

Встановлено умову можливості руху частинки по пристрою відцентрової дії, який складається зі зрізаного конуса з плоским дном і вертикально встановленими у радіальному напрямі лопатками. Виведено формулу для знаходження граничного значення кутової швидкості, при якій частинка ковзати не буде. Отримано графічні залежності для визначення величини швидкості частинки в момент її сходження з диска.

Знайдено вираз для визначення граничного між підйомом і спуском частинки значення кутової швидкості обертання вертикального шнека всередині співвісного циліндричного кожуха. Цей вираз повністю збігається з виразом, отриманим у третьому розділі за допомогою параметричних рівнянь у функції часу. Виведено формулу для визначення швидкості підйому частинки. Встановлено максимальне значення кута нахилу гвинтових ліній, при якому підйом частинки стає неможливим незалежно від кутової швидкості обертання шнека. З'ясовано, що найбільша швидкість підйому частинки досягається при куті підйому гвинтових ліній, рівному половині максимального значення. Встановлено, що по мірі зменшення коефіцієнта тертя по поверхні шнека швидкість підйому частинки зростає, а по мірі зменшення коефіцієнта тертя по поверхні кожуха, – навпаки, зменшується.

Загальні висновки повною мірою лаконічно висвітлюють отримані в дисертації результати, що підтверджують вагомий внесок здобувачки у розвиток прикладної геометрії та інженерної графіки.

Практичне значення роботи полягає у знаходженні аналітичного опису залежностей руху частинок по поверхнях, які були використані при проектуванні технічних поверхонь, які контактують із технологічним матеріалом, та знайшли своє застосування в інших технічних задачах.

Технічна новизна розробок захищена трьома патентами України на корисну модель. Отримані наукові та практичні результати впроваджено

у ТОВ «Авіс Зернотрейд» (с. Біловоди, Роменський район, Сумська область), ТОВ «Зернова Індустрія» (сmt Низи, Сумський район, Сумська область), ТОВ «НОТЕХС» (м. Суми), ФГ Шепіль Я. А. (с. Сула, Сумський район, Сумська область), ФГ Лисянський М. В. (с. Мартинці, Лебединський район, Сумська область), а також використано в навчальному процесі при викладанні дисципліни «Дороги внутрішньогосподарського призначення» в розділі «Проектування автомобільних доріг» підготовки фахівців освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», у дипломне проектування фахівців освітнього ступеня «Магістр» за ОНП «Будівництво та цивільна інженерія», у роботу наукових гуртків кафедри будівництва, а також при викладанні дисциплін «Нарисна геометрія та інженерна графіка», «Комп'ютери та комп'ютерні технології» підготовки фахівців освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у Національному університеті біоресурсів і природокористування України та при викладанні дисципліни «Інженерні мережі і конструкції в АПК» в розділі «Промислові будівлі в АПК» при підготовці фахівців за спеціальністю 208 «Агроінженерія» освітнього ступеня «Магістр» у Сумському національному аграрному університеті.

Акти про впровадження результатів дисертаційного дослідження наведено у додатках до роботи.

Повнота викладення основних наукових результатів в опублікованих працях. Основні положення та результати дисертаційних досліджень опубліковано в 71 науковій праці, з яких 24 статті у періодичних наукових виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України та/або в закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 16 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань, 3 патенти України на корисні моделі, 28 тез наукових доповідей. У наведених публікаціях повною мірою викладено основні наукові результати виконаного дисертаційного

дослідження, які пройшли необхідну апробацію на українських та міжнародних конференціях.

Відсутність порушення академічної доброчесності. Використані в дисертації ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела. Аналіз тексту дисертації дозволяє зробити висновок про відсутність порушень з боку авторки даного наукового дослідження академічної доброчесності, тобто дисертація не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень і є результатом самостійних досліджень авторки.

Дискусійні положення та зауваження щодо роботи. Визначаючи наукову цінність та практичне значення отриманих здобувачкою результатів, вважаю за доцільне акцентувати увагу на деяких дискусійних питаннях, висловити окремі зауваження та побажання:

1. У списку використаних джерел дисертанткою наведено більше 150 наукових праць іноземних вчених. Доцільно було б їх аналіз викласти в окремому підрозділі першого розділу.

2. При розгляді руху частинки як по рухомих, так і по нерухомих поверхнях не враховується опір повітря. А він може бути значним, особливо, якщо на поверхні є лопаті, які створюють повітряний потік.

3. У роботі наводиться приклад застосування рухомої системи координат при складному русі частинки академіком Заїкою Петром Митрофановичем. Його праці теж стосуються руху частинок по поверхнях, де він також використовує засоби диференціальної геометрії. Однак у списку літератури посилання на його праці відсутні.

4. У другому розділі розглянуто рух частинки по нерухомих гвинтових поверхнях із різними кривими їх перерізу площинами, що проходять через вісь поверхні. В принципі це однотипні задачі, які розв'язуються однаково. Заслуга авторки полягає в тому, що вона отримала узагальнені рівняння для розв'язування такого роду задач за заданим кроком і кривою осьового

перерізу поверхні. Ці дослідження є теоретичними і у роботі не наведено прикладу застосування такого руху для розв'язування практичних задач.

5. У реальних процесах взаємодії частинок матеріалу із робочими поверхнями має місце також взаємодія частинок між собою. Очевидно, що ігнорування цієї взаємодії приводить до неточних результатів, тобто, покладена в основу досліджень модель руху окремої частинки по поверхні може неадекватно відображати рух потоку цих частинок.

Однак, наведені вище зауваження ніяким чином не знижують загального високого рівня дисертації Воліної Тетяни Миколаївни.

Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона подана до захисту. Дисертація за своїм змістом відповідає паспорту наукової спеціальності 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка», за якою спеціалізований вчений раді Д 26.004.11 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України надано право проводити захист дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Оцінка оформлення дисертації. Мова та стиль написання дисертації вирізняються своєю науковою точністю, логічною структурованістю та високим рівнем аргументованості. Текст вирізняється чіткістю формулювань. Стиль написання відзначається послідовністю, стриманістю та відповідністю академічним стандартам. Крім того, використання термінологічної точності та належне обґрунтування ключових положень свідчать про високий рівень авторської компетентності.

Реферат повністю відображає основні положення, висновки та рекомендації дисертаційного дослідження, є ідентичним із результатами дисертації.

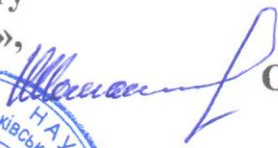
Загальний висновок. Виконаний аналіз дисертації, реферату та опублікованих праць дає можливість сформулювати загальний висновок про те, що дисертація Воліної Тетяни Миколаївни на тему: «Геометро-

кінематичні методи визначення параметрів руху частинок по поверхнях під дією прикладених сил» є завершеною науковою працею, що має наукову новизну, теоретичне та практичне значення, які в сукупності розв'язують актуальну науково-прикладну проблему.

За актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною, змістом та оформленням, дисертація відповідає вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року № 1197 та паспорту наукової спеціальності 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка», а її авторка Воліна Тетяна Миколаївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за науковою спеціальністю 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка».

Опонент:

**завідувачка кафедри геометричного
моделювання та комп'ютерної графіки
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, професор**

 **Ольга ШОМАН**

Підпис д. т. н., професора О. Шоман засвідчую:

Вчений секретар

Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

 **Максим МАЛЬКО**

