

УДК 797.178:796.015 (045)

DOI <https://doi.org/10.24195/olympicus/2025-3.25>**Тельянов Антон Олександрович**

аспірант кафедри водних видів спорту

Науково-навчальний інститут «Придніпровська державна академія

фізичної культури і спорту»

Український державний університет науки і технологій

ORCID ID: 0009-0006-4347-0637

Микитчик Ольга Сергіївна

кандидат наук з фізичного виховання і спорту, професор,

професор кафедри водних видів спорту

Науково-навчальний інститут «Придніпровська державна академія

фізичної культури і спорту»

Український державний університет науки і технологій

ORCID ID: 0000-0002-8656-0943

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ У ВЕЛОСИПЕДНОМУ СПОРТІ

Актуальність проблеми. На думку науковців, вимірювання потужності під час їзди на велосипеді є одним із найбільш сучасних і ефективних методів оцінки фізичних навантажень та одним із показників витривалості. У статті розглядаються перспективи застосування в Україні сучасних інноваційних технологій підготовки велосипедистів за допомогою вимірювачів потужності. Проведено аналіз сучасного стану технологій, доступність та вживаність різних типів вимірювачів потужності. **Мета дослідження** – оцінити ефективність упровадження технологій контролю потужності у підготовці велосипедистів та зробити загальний огляд нагального технічного стану та доступності даної технології в Україні. **Методи дослідження:** аналіз та узагальнення наукової, науково-методичної та технічної літератури.

Результати дослідження. З'ясовано, що нині основна увага науковців приділена аналізу засобів та методів вимірювання потужності, опису технологій та оцінці валідності вимірювання з використанням різних технологічних рішень та конструкцій. Це є актуальним через наявність та доступність великої кількості різних технологічних рішень. Такі рішення можуть використовуватися одночасно різними спортсменами однієї групи, що ускладнює аналіз тренувального процесу та його результатів. У статті розглянуто найбільш значущі чинники, що впливають на валідність результатів. Установлено, що сьогодні жодне з досліджень не забезпечує комплексного огляду умов для перевірки валідності вимірювачів потужності, включаючи аналіз метрологічних характеристик, реалізацію протоколів тестування та реакцію систем на зміну фізичних параметрів, і не розглядає питань сумісного тренувального процесу спортсменів із різними датчиками вимірювання потужності або коли частина спортсменів тренується без них узагалі. Зроблено висновки та надано рекомендації щодо впровадження технології вимірювання потужності у тренувальний процес вітчизняних велосипедистів. Зазначено чинники, що стримують або ускладнюють розвиток, а також шляхи їх подолання. Отримані результати підтверджують доцільність використання інноваційних технологій вимірювання потужності у підготовці велосипедистів як ефективного засобу підвищення їхньої змагальної готовності.

Упровадження сучасних технологій у велоспорті України дасть змогу спортсменам покращити свої показники та досягти значно вищого рівня підготовленості. Це сприятиме розвитку як професійного, так і аматорського велоспорту, а також зробить його доступнішим для широкої аудиторії.

Ключові слова: валідність, результат, тренування, статистичні методи, швидкість, спортсмен, велосипед.

Вступ. Вимірювання потужності [1] під час їзди на велосипеді є одним із найбільш сучасних і ефективних методів оцінки фізичних навантажень та одним із показників витривалості. Вимірювання потужності широко використовується професійними командами, спортсменами різних вікових категорій, аматорами та навіть людьми, які проходять реабілітацію після травм або захворювань. Як зазначають науковці [3], останніми роками цей вид контролю набув популярності завдяки появі доступних пристроїв, які дають змогу проводити моніторинг тренувального процесу та змагань, оцінюючи продуктивність і фізичні можливості велосипедистів.

Як зазначають Р. Гладиш і Б. Виноградський [2], в Україні велоспорт поступово виходить на новий рівень розвитку. Так, вимірювання потужності стає актуальною технологією поточного та етапного контролю для підвищення якості тренувального і змагального результату. Водночас слід зазначити, що нині це ще достатньо інтегровано в систему підготовки спортсменів та аматорів. Її застосування вже дає певні результати [2; 11]. Наявність відносно недорогих систем, таких як ергометри, домашні тренажери та мобільні вимірювачі потужності, встановлені на велосипедах, розширює можливості тренувань та аналізу результатів для велосипедистів різних рівнів підготовки. Серед популярних брендів, представлених на ринку, – Shimano, SRM, Power2max, Stages, Rotor та ін. Ці системи активно використовуються топовими велосипедними командами світу [12]. Їх популярність стимулює виробників до вдосконалення технологій, що робить такі пристрої більш доступними для аматорів і спортсменів нижчого рівня. Водночас зростання кількості систем і моделей призводить до проблем зі стандартизацією та забезпеченням сумісності та валідації показників різних систем із пристроями «золотого стандарту».

Україна має значний потенціал для впровадження цих технологій у велоспорт, але існують певні виклики, пов'язані з їх інтеграцією. Науковці [13] зазначають, що передусім важливо забезпечити науково-практичні дослідження для оцінки сумісності та валідності різних пристроїв. Це дасть змогу українським спортсменам використовувати найефективніші інструменти для тренувань і змагань. Окрім того, необхідно розвивати інфраструктуру, включаючи велодоріжки, тренувальні бази та центри для аналізу фізичних показників, а також підтримувати, розробляти та оновлювати освітні програми для популяризації велоспорту серед населення.

Таким чином, упровадження сучасних вимірювачів потужності в систему підготовки українських спортсменів може стати важливим кроком у підвищенні їхньої конкурентоспроможності на міжнародній арені. Зусилля у цьому напрямі дадуть змогу створити підґрунтя для подальшого розвитку велоспорту як на аматорському, так і на професійному рівні.

Мета та завдання – на підставі аналізу науково-методичної літератури проаналізувати перспективи інтеграції технологій вимірювання потужності у тренувальному процесі українських велосипедистів.

Методи дослідження: аналіз та узагальнення наукової, науково-методичної та технічної літератури.

Результати дослідження. Достовірність систем вимірювання потужності є важливим видом поточного та етапного контролю у випадках, коли доводиться працювати з декількома різними системами одночасно. Водночас точність, чутливість, повторюваність і відтворюваність потребують дослідження, валідації та порівняння. З'ясовано, що за кордоном наявні наукові дослідження, які торкаються валідації та стандартизації систем вимірювання потужності. Але більшість цих робіт зосереджується на дослідженні одного, у кращому разі двох параметрів. Це пов'язано з тим, що не завжди просто встановити зв'язок між статистичними даними і метрологічними властивостями систем.

Деякі складнощі виникають через недоліки в описі технологій або неправильні протоколи під час тестування. Наприклад, системи SRM часто використовують як «золотий стандарт» для оцінки інших мобільних пристроїв або тренажерів. Проте зміна температури, вібрації та інших умов може впливати на результати навіть цих систем вимірювання, що вимагає чіткого калібрування та дотримання рекомендацій виробника.

Для порівняння систем вимірювання потужності та їх упровадження в тренувальний процес дуже важливо застосовувати коректні статистичні методи збору й аналізу інформації. Дані методи безпосередньо впливають на висновки щодо достовірності пристроїв. В Україні це ускладнено низьким рівнем розповсюдження подібних пристроїв та відсутністю їх централізованої закупівлі та впровадження. Це призводить до необхідності працювати «з тим, що є», та в кращому разі узгоджувати дані дуже різних пристроїв, а в гіршому – екстраполювати дані одних спортсменів, що мають подібні датчики, на результати інших, які не мають доступу до цієї технології.

Водночас більшість закордонних досліджень пропонує умови для перевірки валідності вимірювачів потужності, включаючи аналіз метрологічних характеристик, реалізацію протоколів тестування та реакцію систем на зміну фізичних параметрів: частота педалювання, крутний момент, температура або вібрації. Однак зараз жодне з досліджень не забезпечує комплексного огляду цих аспектів та не розглядає питань сумісного тренувального процесу спортсменів із різними датчиками вимірювання потужності або коли частина спортсменів тренується без них узагалі.

Науковці [4] зазначають, що під час проведення досліджень за допомогою вимірювачів потужності природно виникає питання щодо достовірності отриманих показників, тобто як точно пристрої вимірюють те, для чого вони призначені. У контексті велоспорту це визначається через аналіз характеристик, таких як точність, чутливість, повторюваність, відтворюваність і надійність.

Точність указує на здатність вимірювача відображати реальні значення, наближені до істинних, що можна оцінити, порівнюючи результати цього пристрою з показниками «золотого стандарту». Очікувані значення вимірювання потужності можуть змінюватися залежно від розташування вимірювача на велосипеді [10]. Наприклад, найвищі значення потужності зазвичай отримуються з педалей, а найнижчі – із задньої втулки через механічні втрати в системі передачі велосипеда.

Чутливість визначається як найменша зміна, яку може зафіксувати вимірювач потужності. Вона також стосується здатності пристрою виявляти малі, але важливі зміни у продуктивності, які можуть впливати на спортивні результати. Параметри чутливості можна поліпшити завдяки збільшенню кількості датчиків та їх розташування або підвищенню частоти дискретизації. Водночас низька частота педалювання або її варіації у межах одного оберту можуть впливати на точність вимірювання.

Повторюваність описує відхилення у повторних вимірюваннях, виконаних одним і тим самим пристроєм у схожих умовах. Тобто експеримент має виконуватися у незмінних умовах, за однакових параметрів обладнання, місця проведення та часу.

Відтворюваність характеризує зміни у результатах вимірювань у різних умовах, наприклад за зміни місця, температури, вологості, сили вітру або інших параметрів, до яких можна віднести навіть особистість людини, що виконує вимірювання (лаборанта).

Надійність – це здатність вимірювачів потужності забезпечувати стабільні результати незалежно від впливу малих змін експериментальних умов. Це важливо для тривалого використання пристрою, наприклад протягом спортивного сезону, та гарантує його функціональність.

Мобільні вимірювачі потужності використовують різні технологічні компоненти для визначення потужності, і ці рішення мають ключове значення для забезпечення валідності вимірювання у різних умовах. Більшість систем на ринку застосовує тензодатчики або датчики резонансних струн. Для вимірювання кутової швидкості виробники здебільшого використовують магнітні датчики, які рахують кількість проходів перед магнітом. Залежно від конструкції систем кількість магнітів може бути різною, що впливає на частоту дискретизації за один оберт. Деякі пристрої також використовують акселерометри для вимірювання кутової швидкості.

Тензодатчики конвертують мікродеформації у зміни електричного опору. Ці датчики кріпляться на механічну частину, де прикладається сила. Зазвичай їх установлюють парами, перпендикулярно одне одному, для вимірювання деформацій за двома осями. Кількість

тензодатчиків залежить від конструкції механічних частин і необхідної точності (наприклад, пристрої «золотого стандарту» SRM використовує від 4 до 20 тензодатчиків залежно від моделі). Електричний сигнал від датчиків обробляється з урахуванням механічних характеристик пристрою. Для точності вимірювань також можуть ураховуватися температурні параметри конструкції. Незалежно від типу обладнання обов'язковою є регулярна калібровка для корекції деформацій, що виникають через механічний знос. Конструкція механічних частин, кількість тензодатчиків та якість обробки даних суттєво впливають на точність вимірювання крутного моменту. Як альтернатива у деяких вимірювачах потужності (наприклад Garmin) застосовуються датчики резонансних струн для вимірювання сили на педалі. Ця технологія враховує вібрації, але залежить від температури й обробки сигналу.

Для визначення кутової швидкості більшість систем вимірює час, необхідний для одного оберту або його частини, залежно від кількості магнітів. Чим більше магнітів, тим вища частота дискретизації, однак це може бути обмежувальним фактором за низької швидкості. Деякі виробники використовують магніти з декількома полюсами (наприклад, PowerTap P1) для точнішого вимірювання положення датчиків та аналізу моделі педалювання. Кутову швидкість також можна визначити за допомогою акселерометрів, які вимірюють швидкість у кожній точці оберту, але, незважаючи на переваги цієї технології, її використання є менш поширеним через складність обробки даних. Окрім того, за умов високої частоти педалювання або вібрацій система з акселерометром може генерувати помилкові дані.

Одночасне вимірювання потужності з використанням «золотого стандарту» є найкращим методом для оцінки точності вимірювачів. Метод Альтмана – Бланда [5] дає змогу визначати рівень точності між двома системами, хоча синхронізація даних залишається складним завданням. Для підвищення точності необхідно усувати часовий зсув між сигналами. Синхронізація впливає на середні значення потужності, адже короткі періоди усереднення можуть спричинити значні розбіжності. Періоди усереднення, що є довшими за 30 с, забезпечують менший рівень відхилення, що сприяє покращенню точності. Для високої інтенсивності оптимальною тривалістю усереднення вважають 5 с. Для забезпечення точного аналізу високі значення вимірювання потужності потребують високої частоти дискретизації (приблизно 4 Гц) [6]. Стандартизація періодів усереднення є ключовим підходом для порівняння вимірювачів потужності, зменшення статистичних помилок та забезпечення достовірності даних у дослідженнях.

Для оцінки валідності вимірювачів потужності використовують різні статистичні методи. Наприклад, парний тест порівнює середні значення між системами або тестовими сеансами, але його обмежує випадкова варіація. Метод Альтмана – Бланда аналізує різницю між двома методами, визначаючи межі згоди для практичного застосування.

Коефіцієнт кореляції часто використовується для оцінки точності, але не враховує систематичне зміщення. Регресійний аналіз допомагає оцінити узгодженість між методами, хоча його результати можуть вводити в оману. Коефіцієнт варіації визначає повторюваність, особливо в тестах із високим рівнем потужності, та показує точність у межах 2–3% для популярних вимірювачів, таких як PowerTap та Stages. Коефіцієнт внутрішньої кореляції оцінює повторюваність і враховує різnorodність вибірки. Водночас слід урахувати, що висока кореляція може призводити до помилок у вимірюваннях.

Розмір ефекту використовується для порівняння середніх значень та оцінки розбіжностей у дослідженнях.

Проте науковці [7] дотримуються думки, що поєднання різних методів забезпечує комплексну оцінку точності та надійності систем вимірювання потужності.

Технологічні особливості вимірювачів потужності, місце встановлення і компоненти як самого велосипеда, так і безпосередньо вимірювача можуть впливати на вимірювання потужності, змінюючи показники залежно від діапазону, частоти педалювання (каденса), швидкості, крутного моменту, температури, вібрації чи інших зовнішніх чинників. Окремо слід зазначити, що випробування у польових, а не лабораторних, умовах більш складні, а інтерпретація та валідація їхніх результатів набагато складніша, хоча саме такі випробування необхідні для оцінки

в реальних умовах. Проте останнім часом із появою «розумних» систем стало можливим моделювання гонок (градієнтів, віражів, вібрацій та навіть впливу погодних чинників) у лабораторних умовах. Моделювання може враховувати багато факторів, але їх занадто велика кількість може, навпаки, зашкодити точності вимірювань через те, що вплив деяких другорядних чинників буде перебільшений. Наприклад, вібрація, безперечно, впливає на точність вимірювачів потужності: так, системи Stages, Garmin Vector та Favero Duo показують зниження точності за сильних вібрацій через використання акселерометрів, а SRM і PowerTap виявляються менш чутливими до вібрацій і рекомендовані для використання в умовах із високою макротекстурою поверхні [10].

Відносно впливу температури слід зауважити, що тензодатчики є чутливими до температурних змін і можуть спричиняти систематичні помилки у вимірюваннях потужності [8]. Зміни температури впливають на точність вимірювачів (SRM, PowerTap і Garmin Vector), особливо в умовах високих температур, тому рекомендують виконувати нульове зміщення після прогрівання системи для адаптації компонентів до робочої температури. Проте це не завжди є можливим.

Стосовно показника, що впливає на точність вимірювання, – положення спортсмена на велосипеді (сидячи або стоячи) доцільно вказати, що у цьому аспекті слід враховувати конструктивні особливості вимірювачів. Так, пристрої SRM і PowerTap дають позитивне відхилення у межах 2%; Stages – негативне в межах 4%; Garmin Vector узагалі не показують змін між положеннями [9].

Крутний момент також впливає на точність вимірювання потужності. Різні протоколи тестування, такі як зміна передач, нахилів і швидкості, допомагають оцінювати діапазони крутного моменту. Так, лише системи SRM і PowerTap перевіряють вплив зміни моменту для точності вимірювань. Інші це не враховують.

Науково доведено, що вимірювання потужності не меншою мірою, ніж від кутового моменту, залежить від каденса. Каденс може варіюватися в дуже широкому діапазоні – від 15 до 120 обертів за хвилину. Це суттєво впливає на точність вимірювання для різних систем через різні засоби та методи вимірювання. Так, акселерометри менш точні на низьких та дуже високих швидкостях.

Також важливим чинником, що ускладнює валідацію, є зв'язок між каденсом та крутним моментом. Це пов'язано з тим, що для однієї і тієї ж вихідної потужності збільшення каденса зменшує крутний момент, і навпаки.

Також вважаємо за доцільне зауважити, що деякі пристрої більш підходять для спринтерських дисциплін, оскільки під час спринтерських тестів вимірювач має бути дуже реактивним, щоб виконувати точні вимірювання до 2000 Вт у елітних спортсменів на треку. Інші – для темпових навантажень із більш довгими інтервалами та меншим рівнем навантаження і миттєвої потужності. Спринтерські тести можна розглядати як цілком окреме завдання, яке є більш складним через необхідність більшої реактивності та дискретизації пристроїв, і не всі пристрої готові видавати валідні результати за великої вихідної потужності на маленькому інтервалі. Тому дуже важливо проводити порівняння під час спринтів із пристроями «золотого стандарту» з найкращими можливостями по частоті дискретизації. Оцінка спринту – це особлива оцінка, коли технічні вимоги до обладнання повинні бути адекватними для цієї мети. Якщо система націлена на виконання вимірювань на високому рівні ВП (більше 600 Вт) або під час вибухових вправ, рекомендується оцінити систему в цих ситуаціях.

Таким чином, світовий досвід показує, що для отримання максимально валідних даних необхідно враховувати метрологічні параметри: точність, чутливість, повторюваність, відтворюваність та надійність пристрою. Окрім того, слід брати до уваги вплив зовнішніх умов, таких як температура, вібрації, індивідуальні технічні особливості спортсменів та рівень їхньої фізичної підготовки. Якщо певні аспекти або параметри залишаються неперевіреними або є такими, що неможливо виміряти чи порівняти з використанням наявного обладнання, то їх слід чітко зазначати, розуміти наслідки та обмежити їх використання на практиці.

Український велоспорт сьогодні знаходиться у складному стані, але, незважаючи на це, використання вимірювачів потужності стає усе більш поширеним серед спортсменів. У зв'язку із цим на підставі отриманих результатів проведеного дослідження нами зроблено спробу окреслити певні виклики, які ускладнюють широке впровадження вимірювачів потужності, та навести шляхи вирішення цих проблем, наприклад:

- брак наукових досліджень (в Україні недостатня кількість наукових робіт, які оцінюють ефективність вимірювачів потужності в місцевих умовах). Рішення – проведення локальних досліджень із метою адаптувати методи тестування до потреб українських велосипедистів;
- доступність та фінансування (попри зростання популярності велоспорту багато спортсменів, особливо аматори, не мають фінансової можливості використовувати сучасні вимірювачі потужності). Рішення – державні та приватні програми підтримки можуть покращити доступність таких технологій;
- інфраструктура для тренувань (в Україні велоспорт ще не має розвиненої інфраструктури, яка б сприяла масовому впровадженню технологій вимірювання потужності; бракує спеціалізованих треків, зон для тестування та лабораторій для аналізу результатів спортсменів). Рішення – поліпшення стану інфраструктури для велотренувань.

Висновки. Установлено, що аналіз даних про вихідну потужність велосипедистів у тренувальному та змагальному процесах є важливим видом поточного та етапного контролю. Водночас це складне завдання, вирішення якого залежить від багатьох чинників, зокрема наявного обладнання, вибраних методів тестування, статистичних аналізів та підходів до обробки даних. Відсутність єдиного стандарту створює труднощі в порівнянні різних пристроїв та даних, що були отримані за їх допомогою. А це, своєю чергою, може впливати на точність отриманих результатів та результативність поточного та етапного контролю.

Із метою сприяння розвитку велоспорту та ефективному використанню вимірювачів потужності необхідно:

1. вивчати передовий закордонний досвід (адже за кордоном уже розроблено досить дієві програми та методики);
2. упровадити стандартизовані протоколи тестування (українські дослідження повинні відповідати міжнародним стандартам, що дасть змогу проводити порівняння із системами «золотого стандарту»);
3. забезпечити проведення польових випробувань (дослідження слід адаптувати до реальних умов з урахуванням закордонного досвіду);
4. створити репрезентативну вибірку (репрезентативний вибір учасників тестувань (початківці, аматори, професіонали) дасть змогу отримати більш точні й універсальні результати);
5. розвивати освітні та тренувальні програми (популяризувати використання вимірювачів потужності серед спортсменів, пояснюючи їхні переваги для тренувального та змагального процесів).

Таким чином, упровадження сучасних технологій у велоспорті України дасть змогу спортсменам поліпшити свої показники та вийти на значно вищий рівень. Це сприятиме розвитку як професійного, так і аматорського велоспорту, а також зробить його доступнішим для широкої аудиторії.

Література:

1. Гладиш Р., Виноградський Б. Динаміка потужності педалювання велосипедистів у командній гонці переслідування на 4 кілометри у чоловіків. *Physical Culture and Sport: Scientific Perspective*. 2024. № 2. С. 74–79. <https://doi.org/10.31891/pcs.2024.2.11>.
2. Коновал Ю.М., Бобровник В.І. Інтеграція інноваційних технологій у тренування велосипедистів: вплив на результативність та стратегію розвитку. *Академічні візії*. 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11103669>.
3. Сподинський О.В. Розрахунок комплексних показників надійності автоматизованої системи моніторингу обладнання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. № 2. С. 119–123.

4. Altman D.G., Bland J.M. Measurement in medicine: The analysis of method comparison studies. *The Statistician*. 1983. Vol. 32. P. 307–317.
5. Bouillod A., Pinot J., Soto-Romero G., Grappe F. Validity, sensitivity and reproducibility of Stages and Garmin Vector power meters when compared with SRM device. *Proceedings of the International Conference on Biomechanics in Sports*. Poitiers, France. 29 June – 3 July 2015.
6. Bourdon C., McKay C.D., Emery C.A., Meeuwisse W.H., Palacios-Derflingher L., Schneider K.J. From data to action: a scoping review of wearable technologies and biomechanical assessments informing injury prevention strategies in sport. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2023. Vol. 15. Article 169. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00783-4>.
7. Guignard B., Ayad O., Baillet H., Mell F., Simbana Escobar D., Boulanger J., Seifert L. Validity, reliability and accuracy of inertial measurement units (IMUs) to measure angles: Application in swimming. *Sports Biomechanics*. 2021. P. 1–33.
8. Knudson D.V. Correcting the use of the term «power» in the strength and conditioning literature. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009. Vol. 23. P. 1902–1908.
9. Leo P., Spragg J., Mujika I. Power Profiling in Professional Road Cycling – the past, the present and the future. *Journal of Science and Cycling*. 2021. Vol. 10. № 1. P. 1–3. <https://doi.org/10.28985/1221.jsc.01>.
10. Maier T., Schmid L., Müller B., Steiner T., Wehrin J. Accuracy of cycling power meters against a mathematical model of treadmill cycling. *International Journal of Sports Medicine*. 2017. Vol. 38. № 8. P. 631–636. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102945>.
11. Passfield L., Hopker J. G., Jobson S., Friel D., Zabala M. Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling. *Journal of Sports Sciences*. 2017. Vol. 35. P. 1426–1434.
12. Pinot J., Grappe F. The record power profile to assess performance in elite cyclists. *International Journal of Sports Medicine*. 2011. Vol. 32. P. 839–844.
13. Shute R., Zak R., Slivka D. Validity and reproducibility of commercial cycling power meters in hot and cold environmental temperatures. *Journal of Science and Cycling*. 2019. Vol. 8. № 1. P. 32–39. <https://doi.org/10.28985/jsc.v8i1.504>.

References:

1. Gladish, R., & Vynohradskyy, B. (2024). Dynamika potuzhnosti pedal'uvannya velosypedystiv u komandniy hontsi peresliduvannya na 4 kilometry u cholovikiv [Dynamics of pedaling power in men's 4-kilometer team pursuit race]. *Physical Culture and Sport: Scientific Perspective*, (2), 74–79. <https://doi.org/10.31891/pcs.2024.2.11> [in Ukrainian].
2. Konoval, Yu.M., & Bobrovnyk, V.I. (2024). Inhtegratsiya innovatsiynykh tekhnolohiy u trenuvannya velosypedystiv: vplyv na rezul'tatyvnist' ta stratehiyu rozvytku [Integration of innovative technologies into cyclist training: Effects on performance and development strategy]. *Akademichni viziï*, (31). <https://doi.org/10.5281/zenodo.11103669> [in Ukrainian].
3. Spodynskyi, O.V. (2024). Rozrakhunok kompleksnykh pokaznykiv nadiynosti avtomatyzovanoyi systemy monitorynhu obladnannya [Calculation of complex reliability indicators for automated monitoring systems]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya*, (2), 119–123. [in Ukrainian].
4. Altman, D.G., & Bland, J.M. (1983). Measurement in medicine: The analysis of method comparison studies. *The Statistician*, 32, 307–317. [in English]
5. Bouillod, A., Pinot, J., Soto-Romero, G., & Grappe, F. (2015). Validity, sensitivity and reproducibility of Stages and Garmin Vector power meters when compared with SRM device. In *Proceedings of the International Conference on Biomechanics in Sports*, Poitiers, France, 29 June – 3 July. [in English].
6. Bourdon, C., McKay, C.D., Emery, C.A., Meeuwisse, W.H., Palacios-Derflingher, L., & Schneider, K.J. (2023). From data to action: A scoping review of wearable technologies and biomechanical assessments informing injury prevention strategies in sport. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 15, Article 169. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00783-4> [in English].
7. Guignard, B., Ayad, O., Baillet, H., Mell, F., Simbana Escobar, D., Boulanger, J., & Seifert, L. (2021). Validity, reliability and accuracy of inertial measurement units (IMUs) to measure angles: Application in swimming. *Sports Biomechanics*, 1–33. [in English].

8. Knudson, D.V. (2009). Correcting the use of the term «power» in the strength and conditioning literature. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23, 1902–1908. [in English].
9. Leo, P., Spragg, J., & Mujika, I. (2021). Power profiling in professional road cycling – The past, the present and the future. *Journal of Science and Cycling*, 10(1), 1–3. <https://doi.org/10.28985/1221.jsc.01> [in English].
10. Maier, T., Schmid, L., Müller, B., Steiner, T., & Wehrlin, J. (2017). Accuracy of cycling power meters against a mathematical model of treadmill cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 38(8), 631–636. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102945> [in English].
11. Passfield, L., Hopker, J.G., Jobson, S., Friel, D., & Zabala, M. (2017). Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling. *Journal of Sports Sciences*, 35, 1426–1434. [in English].
12. Pinot, J., & Grappe, F. (2011). The record power profile to assess performance in elite cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 839–844. [in English].
13. Shute, R., Zak, R., & Slivka, D. (2019). Validity and reproducibility of commercial cycling power meters in hot and cold environmental temperatures. *Journal of Science and Cycling*, 8(1), 32–39. <https://doi.org/10.28985/jsc.v8i1.504> [in English].

Telyanov Anton, Mykytchyk Olha

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF POWER MEASUREMENT TECHNOLOGIES IN CYCLING SPORT IN UKRAINE

Relevance of the Problem. According to experts, measuring power during cycling is one of the most modern and effective ways to assess physical workload and endurance. This article explores the potential for implementing innovative training technologies in Ukraine using cycling power meters. It includes an overview of current technologies, their availability, and usage in practice. **Purpose of the Study.** To evaluate the effectiveness of integrating power measurement technologies into the training process of cyclists and to assess the technical readiness and accessibility of these tools within Ukraine. **Research Methods.** Analysis and synthesis of scientific, methodological, and technical literature.

Results. The findings show that current research mostly focuses on power measurement tools and techniques, their technological design, and the validity of data gathered through various devices. This is especially relevant given the wide range of available technologies, which are often used simultaneously by athletes within the same training group – making performance analysis more complex. The article identifies key factors affecting measurement validity. Notably, existing studies lack a comprehensive framework for validating power meters, including proper metrological assessment, testing protocols, and sensitivity to changes in physical parameters. Moreover, they rarely address training scenarios involving athletes with different types of sensors or no sensors at all. The authors present conclusions and practical recommendations on how to implement power measurement technologies into the training of Ukrainian cyclists. They also highlight obstacles that hinder progress and suggest ways to overcome them. The results confirm that such technologies can significantly enhance the competitive readiness of athletes.

The adoption of modern technologies in Ukrainian cycling has the potential to improve athlete performance and raise overall levels of training. This would contribute to the development of both professional and recreational cycling and make the sport more accessible to a wider audience.

Key words: validity, outcome, training, statistical methods, speed, athlete, bicycle.

Дата надходження статті: 22.07.2025

Дата прийняття статті: 03.09.2025

Опубліковано: 23.10.2025