



## KAPITEL 6 / CHAPTER 6<sup>6</sup> BODY WEIGHT AND MASS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ELECTRIC TRAIN TRACTION

DOI: 10.30890/2709-2313.2024-31-00-021

### Вступ

Наукова дисципліна «Теорія електричного транспорту» (ТЕТ) є фундаментом розвитку залізничного транспорту та інших видів транспорту, як то трамвай, тролейбус, метрополітен. Теоретичною основою цієї дисципліни є розділ «Тягові розрахунки». У ньому розглянуто методи розрахунку руху транспортних засобів (ТЗ) по території складного профілю та плану і одержання кривих швидкості руху уздовж маршруту. Результати розрахунку служать основою розробки нових ТЗ, прогнозування роботи ТЗ на різних маршрутах, визначення витрат енергоресурсів, розробки графіків руху, проектування ремонтних робіт, технічного обслуговування та ін.

ТЕТ як прикладна наукова дисципліна зародилась понад 100 років. Основа її заложенні в кінця XIX століття з появою перших трамваїв [1]. Практично вона сформулювались 30-х роках минулого століття, при електрифікації залізних доріг і в майже в такому ж стані знаходяться до теперішнього часу. Після введення міжнародної системи одиниць СІ у ній був виконаний частковий перехід від системи одиниць МКГСС до СІ і залишено визначення ваги, як добутку маси на прискорення земного тяжіння. За цей час видано і перевидано велику кількість підручників та монографій, наукових статей, службової документації. Відповідно до них для галузі залізничного та електричного транспорту здійснюється підготовка спеціалістів різного рівня: від технічних працівників до вчених вищої кваліфікації.

З ходом часу у ТЕТ намітилось серйозне відставання від інших наукових дисциплін таких як класична механіки, теорія електроприводу, електродинаміка [1 - 7]. В теорії та практиці експлуатації електротранспорту основне рівняння руху, рекомендується приводити до «питомих», по відношенні до «ваги»

---

<sup>6</sup>Authors: Soroka Kostiantyn



одиниць. Рівняння містить некоректні спрощення. Під час викладання цієї дисципліни доводиться повертатись і оперувати застарілими, давно відкинутими визначенням та положеннями механіки, що методологічно недоцільне. Використання науково необґрунтованого визначення ваги впливає на точність розрахунків.

Сучасний розвиток транспорту характеризується збільшення швидкостей руху, появою і широким впровадженням транспортних засобів, які працюють на нових фізичних принципах. Це потребує підвищення наукового рівня викладання, використання сучасних методів класичної механіки, електродинаміки, теорії електроприводу, інформатики на інших наукових дисциплін і використання комп'ютерних технологій.

У напрямку підвищення теоретичного рівня ТЕТ автором у 2023 р. видана монографія «Тягові розрахунки на основі процесів перетворення енергії» [8], де приведено сучасні методи розрахунків на основі класичної механіки із використанням узагальнених координат та узагальнених сил, на основі енергетичного підходу та використання рівнянь Лагранжа II роду. В монографії відкинуте застаріле визначення ваги, як еквівалента маси, некоректне приведення основного рівняння руху до «питомих» одиниць та метод побудова рівняння руху шляхом розбиття шляху на розрахункові ділянки. В зв'язку з обставинами в Україні, монографія видана досить малим тиражом і мало відома науковцям та спеціалістам електротранспорту.

Спеціалісти електротранспорту, та інших технічних спеціальностей, не сприймають приведені у монографії представлення сили ваги, як єдиної сили взаємодії ТЗ із опорою та залізничною колією, і надають переваги представленню ваги, як міри кількості речовини, чи у вигляді окремо діючих сил тяжіння та відцентрової. Це є одним з моментів, що гальмує подальший розвиток ТЕТ на сучасній науковій основі, та зумовлює повернення до застарілих, відкинутих уявлень механіки.

З метою підтримки сучасної наукової точки зору автора звернувся моделей штучного інтелекту (ШІ). Проте, замість очікуваного підтвердження зіткнувся з



проблемами ШІ, а саме: упередженістю навчальних даних у масштабі розгляду загальної проблеми, та не здатності розглянутих моделей ШІ до узагальнення, при переході від одного завдання до іншого [9].

Основною метою статті є обговорення зі спеціалістами запропонованих методів тягових розрахунків, усунення помилок, які виникають під час розрахунків у навчальному процесі та практиці експлуатації ТЗ. Науково необґрунтоване представлення сили ваги спонукало необхідність широкого обговорення цього питання, оскільки масштабована обробка даних ШІ, здатність аналізувати гігабайти інформації та помилки, які він допускає при обговоренні поняття «вага», є найбільш яскравим проявом ситуації у суспільній свідомості.

### Приклад спілкування зі штучним інтелектом. Рівень моделі

#### ChatGPT 4o.

Спілкування зі штучним інтелектом (ШІ) моделлю ChatGPT-3.5. відбувались з початку року по поводу конструкцій, та профілю залізничних колій. Спілкування проходило з певним успіхом, поки не виникло питання сили ваги. Тут взаємне розуміння було втрачено і спілкування перерване. Приблизно через 5 місяців при звертанні до ШІ отримав обнадійливу відповідь від моделі ChatGPT 4o.

Далі приведено скорочений запис одного із успішних спілкувань.

**You.** Оскільки штучний інтелект заявляє, що він самостійно генерує визначення, а не бере їх із відомих джерел то давайте уточним на цій основі визначення ваги.

**ChatGPT.** *Вага* – це фізична величина, що характеризує взаємодію тіла з гравітаційним полем. Вона вимірюється як сила, з якою тіло притягується до Землі або іншого небесного тіла. Вага залежить від маси тіла та прискорення вільного падіння на поверхні планети, де це тіло знаходиться. Формально вагу можна виразити через закон всесвітнього тяжіння:  $Вага = m \cdot g$  де  $m$  маса тіла, а  $g$  – прискорення вільного падіння (приблизно  $9.8 \text{ м/с}^2$  на поверхні Землі). Основні аспекти визначення ваги: *Маса*: Кількість матерії в тілі. Це властивість, яка не змінюється від місця розташування. *Гравітаційне прискорення*: Сила



тяжіння, що залежить від місця розташування тіла (планети або іншого космічного об'єкта). Таким чином, вага є змінною величиною, оскільки вона залежить від місця розташування в гравітаційному полі.

**You.** Це не так, подивимось що буде далі. Поки що прийняти таке визначення не можна, тому що тут вага ототожнена з поняттям сили земного тяжіння, з гравітацією, а її слід розглядати як взаємодію двох фізичних тіл, одне з яких називають опорою.

**ChatGPT.** Добре, врахуємо це уточнення. Переглянемо визначення ваги з урахуванням взаємодії фізичних тіл, зокрема, тіла і опори. Вага — це сила, з якою тіло діє на опору або підвіс через взаємодію з гравітаційним полем. Вона визначається як гравітаційна сила, що діє на тіло, і є реакцією опори або підвісу на цю силу. Основні аспекти: Маса : Кількість матерії в тілі, що не залежить від місця розташування Гравітаційне прискорення, яке діє на тіло через гравітаційне поле (наприклад, Землі). Опора або підвіс Фізичне тіло або структура, що протидіє гравітаційному прискоренню, підтримуючи інше тіло. Формально вага тіла може бути виражена формулою:  $W = mg$

**You:** тут два зауваження: перше не обов'язково вагу як взаємодію розглядати у гравітаційному полі, є ще ряд причин згідно яких взаємодія не зводиться виключно до гравітації, однією з них є дія сил інерції.

**ChatGPT.** Добре, врахуємо ці зауваження і розглянемо вагу, як загальну взаємодію між тілом і опорою, яка не обов'язково зводиться до гравітаційної взаємодії. **Вага** — це сила, з якою тіло діє на опору або підвіс через взаємодію з зовнішніми силами. Ця взаємодія може включати, але не обмежується гравітаційними силами, і також враховує інерційні сили у випадку неінерційних систем відліку.

*Основні аспекти:* Маса: Кількість матерії в тілі, що не залежить від місця розташування. Зовнішні сили: Сили, що діють на тіло, включаючи гравітаційні сили, сили інерції та інші можливі взаємодії. Опора або підвіс: Фізичне тіло або структура, що протидіє зовнішнім силам, підтримуючи інше тіло. Формально вага тіла може бути виражена через суму зовнішніх сил, які діють на тіло і



викликають взаємодію з опорою:

$$Вага = m \cdot (g + a), \quad (1)$$

де  $m$  – маса тіла,  $g$  – прискорення земного тяжіння,  $a$  – прискорення інерційних сил.

Приклади взаємодії: .... *Висновок:* Таке визначення ваги охоплює більш широкий спектр взаємодій, враховуючи не тільки гравітаційні, але і інерційні сили, і підкреслює роль опори або підвісу в цій взаємодії.

**You:** Це крок вперед, тільки для чіткості слід прискорення врахувати як векторну величину.

**ChatGPT** Згоден, уточнимо визначення, враховуючи прискорення як векторну величину для більшої точності. Вага тіла може бути виражена як сума зовнішніх векторних сил, що діють на тіло:

$$\vec{W} = m \cdot (\vec{g} + \vec{a}), \quad (2)$$

де:  $\vec{W}$  - вага тіла.

Пояснення та приклади взаємодії. Пропуск

**You:** Добре! цьому визначенню відповідає відомий факт що вага на різних широтах направлена під кутом до центру мас земної кулі з відхиленням у бік екватора

**ChatGPT** Так, ваше зауваження вірне. Розглянемо, як це працює на прикладі Землі. На  $45^\circ$  широти вага тіла буде дещо меншою і направлена під кутом до центру Землі, зміщуючись до екватора. Це відхилення є наслідком відцентрового .... *Відмінність у вазі на різних широтах: Екватор: . Полюси: і т. д. пояснення ...*

**You:** Згода! Як направлена вага мотоцикліста відносно центру земної кулі при русі по коловій орбіті на плоскій поверхні?

**ChatGPT** При русі мотоцикліста по коловій орбіті на плоскій поверхні, вага мотоцикліста буде складатися з гравітаційної сили, що діє вертикально вниз, і відцентрової сили, що діє горизонтально назовні від центру колової орбіти. *Основні сили, що діють на мотоцикліста:* 1. **Гравітаційна сила ( $F^g$ ):** Направлена вертикально вниз до центру Землі. 2. **Відцентрова сила ( $F^c$ ):**



Виникає через рух по колу і направлена горизонтально назовні від центру колової траєкторії. Результируюча вага ( $\vec{W}$ ) мотоцикліста буде векторною сумою гравітаційної сили ( $\vec{F}_g$ ) і відцентрової сили ( $\vec{F}_c$ ).

$$\vec{W} = \vec{F}_g + \vec{F}_c. \quad (3)$$

Тоді тангенс кута нахилу можна знайти як відношення відцентрової сили до гравітаційної сили:

$$\tan(\theta) = \frac{F_c}{F_g} = m \cdot \frac{v^2}{m \cdot r \cdot g} = \frac{v^2}{r \cdot g} \quad (4)$$

де:  $\theta$  — кут нахилу результируючої сили до вертикалі,  $F_g = m \cdot g$  — величина гравітаційної сили,  $F_c = m \cdot v^2 / r$  — величина відцентрової сили, де  $v$  — швидкість мотоцикліста,  $r$  — радіус кола. Звідси:

$$\theta = \arctan(r \cdot g / v^2) \quad (5)$$

Результируюча вага мотоцикліста, ... пояснення ...

**You:** Згода! Як направлена сила ваги (мається на увазі відносно центру земної кулі), якщо рух здійснюється по треку з постійним нахилом до центру.

**ChatGPT.** Якщо мотоцикліст рухається по треку з постійним нахилом до центру кола, то результируюча сила, що діє на мотоцикліста, буде відрізнятися від випадку з горизонтальним рухом. У цьому випадку необхідно враховувати нахил поверхні треку. Основні сили, що діють на мотоцикліста: Гравітаційна сила ( $\vec{F}_g$ ): Направлена вертикально вниз до центру Землі. Відцентрова сила ( $\vec{F}_c$ ): Виникає через рух по колу і направлена горизонтально назовні від центру колової траєкторії. Нормальна сила ( $\vec{N}$ ): Сила реакції опори, перпендикулярна до поверхні треку. Враховуючи, що нормальна сила повинна компенсувати компоненти гравітаційної та відцентрової сил перпендикулярно до поверхні треку, можемо записати рівняння для нормальної сили..... Розрахунки, які тут не приведені ....

**You:** Що таке у вас нормальна сила? Яку силу ще потрібно додати щоб визначити вагу? На плоскій поверхні вагу задає тільки дві сили, гравітаційна та відцентрова. Вага це результат їх дії. В попередньому випадку ви нормальної сили не враховали то навіщо вона тут?



**ChatGPT** Зрозуміло, вибачте за плутанину. .... Розрахунки ..... *Висновок:* Результируюча вага мотоцикліста на нахиленому треку буде направлена під кутом  $\alpha$  до вертикалі, який залежить від швидкості мотоцикліста  $v$ , радіуса кола  $r$ , гравітаційного прискорення  $g$  та кута нахилу треку  $\theta$ . Таким чином, при нахилі поверхні результируюча сила буде змінюватися, враховуючи як гравітаційні, так і відцентрові компоненти, з врахуванням нахилу поверхні.

**You:** Коли розглядали рух на плоскій поверхні достатньо було формули  $W = \vec{F}_g + \vec{F}_c$  чому тут її не достатньо?

**GPT.** Ви досягнули обмеження моделі GPT-4o. Для надання нових відповідей використовуватиметься модель GPT-3.5, доки ваше обмеження не буде скинуто після 10:44.

Це один із найбільш вдалих прикладів спілкування із моделлю GPT-4o. В інших випадках у відповідях було повторне звертання до твердження, що сила ваги направлена до центру Землі, що діє інша сила, а саме нормальна сила  $N$  відцентрова сила і подібні розрахунки.

### **Продовження спілкування зі штучним інтелектом, рівень GPT-3.5**

**You:** Якщо GPT-4o не здатен постійно дотримуватись прийнятої точки зору, то надії на модель 3.5 немає, адже від неї я отримував відповіді що, у верхній точці фігури «мертва петля» сила ваги льотчика відносно крісла спрямована вертикально вниз до центру Землі.

**ChatGPT.** Розумію вашу занепокоєність. Якщо виникла плутанина або невідповідність у відповідях, я завжди готовий допомогти зрозуміти або уточнити інформацію. Що саме ви хочете розібрати чи уточнити в контексті сил ваги і їх напрямку у верхній точці фігури?

**You:** Я хочу щоб ШІ будь якого рівня прийняв, чи обґрунтовано заперечив, таке визначення ваги: "Вага — це сила, з якою тіло діє на опору чи підвіс. Вимірюється вага, як будь-яка інша сила, в Ньютонах. Та послідовно дотримувався цього визначення в подальших відповідях. Джерело - Онлайн школа Skysmart: <https://skysmart.ru/articles/physics/ves-tela>" [10]

**ChatGPT.** Розумію вашу проблему і прагнення до послідовності та





логічності у відповідях ШІ. Однак, як штучний інтелект на основі моделі GPT-3.5, я не можу перевірити або підтвердити визначення з конкретного джерела, такого як Skysmart. Проте, я можу запропонувати класичне фізичне визначення ваги і пояснити його.

*Класичне фізичне визначення ваги:* Вага тіла – є силою, з якою тіло діє на опір чи підвіс і вона виникає внаслідок гравітаційного притягання Землі до тіла. Основні аспекти визначення ваги такі: 1. Сила тяжіння: Вага тіла. Зумовлена силами тяжіння, які діють на нього через притягання Землі. 2. Напрямок: Сила ваги завжди спрямована вертикально вниз відносно поверхні Землі. Це обумовлено напрямком сили тяжіння. 3. Величина: Вага вимірюється як сила і виражається в одиницях сили, зазвичай в Ньютонах (Н).

*Обґрунтування:* – Вага виникає як реакція тіла на дію гравітаційного поля Землі. Чим більше маса тіла, тим сильніше його вага. – Сила ваги може змінюватися залежно від висоти над рівнем моря і широти, але це змінює лише величину сили, а не її фізичну природу чи напрямок. – У контексті фізики, вага є фундаментальною величиною, що характеризує взаємодію тіла з гравітаційним полем.

**You.** Отже, якщо ШІ дотримується визначення ваги як сили, з якою тіло діє на опору чи підвіс, і міряти її в Ньютонах, то він має врахувати цей фізичний аспект при наданні відповідей на запитання. Ваше "обґрунтування" не відповідає цьому визначенню ваги, воно не є обґрунтованим. Такий рівень спілкування є безперспективним.

**ChatGPT.** Виправляюсь. Дозвольте обґрунтувати визначення ваги відповідно до фізичних принципів. *Визначення ваги:* Вага тіла визначається як сила, з якою тіло діє на опору чи підвіс, і вона виникає внаслідок гравітаційного притягання до Землі.

*Основні аспекти:* 1. Гравітаційне притягання: Кожне тіло з масою взаємодіє з Землею через силу тяжіння. Ця сила пропорційна масі тіла і залежить від прискорення вільного падіння на поверхні Землі ( $g$ ). 2. Напрямок сили: Сила ваги завжди направлена вертикально вниз відносно поверхні Землі.





*Вимірювання:* Вага вимірюється в Ньютонах (Н) і є фізичною величиною, яка показує силу, якою тіло тисне або тягне на опір чи підвіс.

*Обґрунтування:* Фізичний зв'язок: Вага тісно пов'язана з масою тіла і силою тяжіння. Вона визначається як маса, помножена на прискорення вільного падіння. Фізичний сенс: Вага є результатом взаємодії тіла з гравітаційним полем Землі. Чим більше маса тіла, тим сильніше його вага. Незалежність від місцевості: Незважаючи на широту або висоту над рівнем моря, сила ваги залишається направлена вертикально вниз відносно поверхні Землі. Таким чином, визначення ваги як сили, з якою тіло діє на опору чи підвіс, є фізично обґрунтованим і відповідає класичним фізичним принципам. Я сподіваюся, що це пояснення відповідає вашим очікуванням і уточнює сутність визначення ваги.

**You:** А що у невагомості два тіла не можуть взаємодіяти? Чи не існує інших сил які можуть впливати на вагу? Ваш погляд відкинули давно, коли вводили систему СІ замість МКГСС.

**ChatGPT.** В невагомості два тіла можуть взаємодіяти через інші види сил, які не пов'язані з вагою у звичайному розумінні. Ось деякі важливі аспекти, які слід врахувати: 1. *Інерціальні сили:...*; 2. *Електромагнітні сили:...*; 3. *Гравітаційні сили:...*

*Висновок:* Хоча вага може бути зміряна в різних системах одиниць, її фізична сутність як сили, з якою тіло діє на опору чи підвіс, залишається однаковою. У невагомості тіла можуть взаємодіяти через інші сили, що не пов'язані безпосередньо з вагою, такі як інерційні чи електромагнітні сили. Таке розуміння дозволяє коректне інтерпретування фізичні взаємодії в різних умовах, включаючи і невагомість.

**You:** Висновок вірний, якщо ви говорите про загальне визначення і не притягуєте сюди силу тяжіння, та ще й вказуєте, що ваша "вага" направлена обов'язково до центру Землі

**ChatGPT.** Розумію вашу точку зору. Отже, для коректності і чіткості повторюю висновок щодо визначення ваги, враховуючи фізичні принципи:

*Визначення ваги:* Вага тіла - це сила, з якою тіло діє на опір або підвіс, і



вона виникає внаслідок гравітаційного притягання.

*Основні аспекти:* 1. Гравітаційне притягання: ....2. *Напрямок сили:* 3. *Вимірювання:* *Висновок:* Вага тіла є результатом взаємодії з гравітаційним полем Землі і визначається як сила, з якою тіло діє на опір або підвіс. Це визначення є загальним і не обмежується лише Землею; в інших контекстах, де гравітаційне поле може бути іншим, вага визначається відповідним чином.

**You:** Це – повернення до початку розмови див. на ст. 10.

**ChatGPT.** На жаль, я не можу переглядати зовнішні ресурси, такі як вказаний вами джерело з онлайн школи Skysmart..... Все з початку повторяється. ... \

**You:** У таких випадках GPT-4о просто заявляє, що час спілкування з ним обмежений і відключається. ChatGPT – 3 5 намагається продовжити спілкування. Ставлю відмітку про невірну відповідь та закінчую спілкування.

### **Визначення та представлення ваги, як сили взаємодії двох матеріальних тіл, одне з яких вважається опорою**

Вага — це сила, з якою тіло діє на опору або підвіс. Вимірюється вага, як і будь-яка інша сила, у Ньютонах [10].

Відповідно запитань, які обговорювали зі ШІ будемо схему розподілу сил рис.1. та визначення напрямку сили ваги.

Відповідно рис. 1, а) мотоцикліст знаходиться під дією сили гравітації,  $F_g$  – направленої вертикально вниз, та інерційної відцентрової сили  $F_c$  – направленої від центру кола. Обидві ці сили прикладені до полотна дороги і утворюють вагу  $W$ , величина якої обраховується згідно формули (2), а кут нахилу  $\theta$  згідно формули (5) повно відповідно до висновку ШІ. Реакцією опори на дію ваги мотоцикліста є сила  $N$ , направлена протилежно силі ваги і рівна їй за величиною. Рис. 1, б) де вагою  $W$  вважається сила тяжіння, як стверджує і багато разів повторює ChatGPT – 3.5 не відповідає фізичному явищу взаємодії тіла та опори. Цей рисунок невірний і використовувати його не потрібно. У ряді випадків ChatGPT – 3.5 визначає відцентрову силу  $F_c$  як особливий випадок сили ваги, присвоюючи сумі цих сил окрему назву «уявна вага», тощо. У ряді відповідає

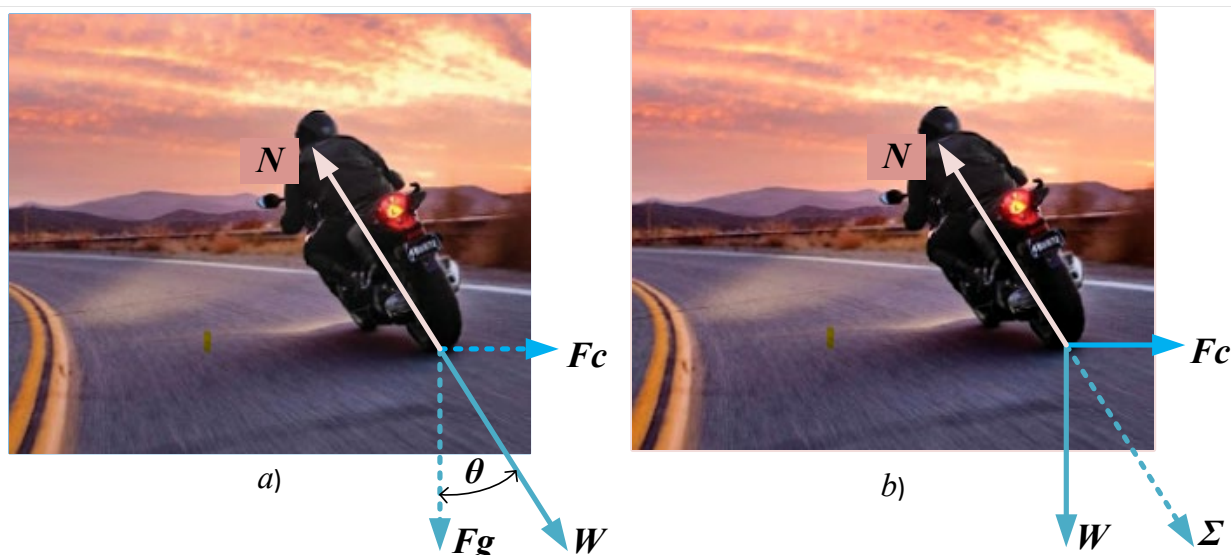


Рисунок 1 – Розподіл сил, який відповідає прийнятому визначенню ваги

*a)* – вірне представлення сили ваги, *b)* – невірне;  $W$  – сила ваги,  $Fg$  – сила земного тяжіння (гравітаційна),  $Fc$  – відцентрова (інерційна) сила  $N$  – реакція опори  $\Sigma$  – сума гравітаційної та відцентрової сил,  $\theta$  – кут нахилу ваги до вертикалі (центру Землі)

випадків і ChatGPT – 4o розглядав вагу як окрему дію цих двох сил. Вага не є силою земного тяжіння і її не слід розглядати як сумою двох незалежних сил. Саме вага – є одна сила взаємодії опори і тіла, яку, залежно від конкретного завдання, можна розкласти на складові, що відповідають конкретним вимогам.

На рис. 2, *b)* представлено розподіл сил у випадку руху ТЗ по цьому ж колу, але трек має нахил до центру (підвищення зовнішнього краю треку). Якщо центр кола лишається у тій же точці, то величина відцентрової і сили та сили тяжіння не змінюються. Сила ваги направлена під тим же кутом нахилу  $\theta$ . Тобто, ніякої нормальної сили для визначення кута нахилу, яку постійно намагався врахувати ChatGPT – 4o, не потрібно. На рис. 2, *a)* та 2.*b)* додатково показано розподіл сили реакції опори відповідно площини треку. Нормальна  $N_n$ , складова ваги направлена перпендикулярно, а тангенціальна  $N_t$  вздовж площини треку. Нормальна складова притискає мотоцикл до поверхні треку, а тангенціальна намагається верхній шар поверхні треку до обочини. Реакція треку заставляє мотоцикл рухатися по колу.

Переходячи до розгляду руху швидкісних поїздів по залізничній колії сили діючі на дугах колії представлені наступним чином [8] див. рис. 3.

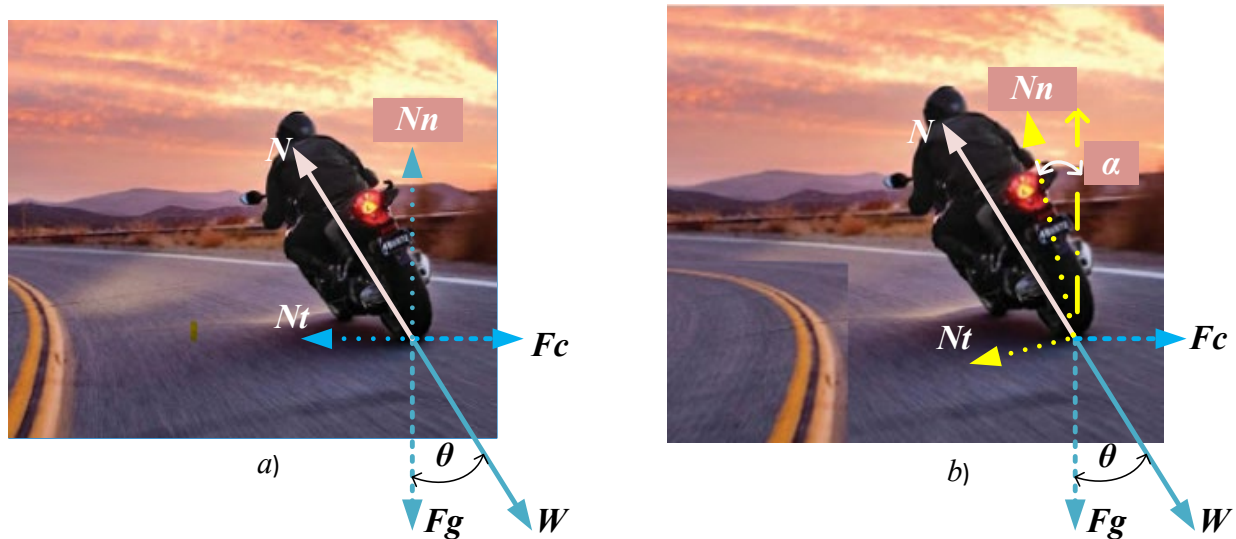


Рисунок 2 – Розподіл сил реакції опори, який відповідає нахилу треку

*a)* – горизонтальна поверхня треку, *b)* – нахил поверхні треку до центра дуги;  $\theta$  – кут нахилу ваги до вертикалі,  $\alpha$  – кут нахилу треку,  $N$  – реакція опори,  $Nn$  – нормальна до поверхні треку складова сили реакції опори  $Nt$  – тангенціальна складова сили реакції опори.

Конструкція залізничних колій передбачає компенсацію відцентрового прискорення на кривих ділянках шляху. Ця компенсація здійснюється шляхом підняття (перевищення рівня) зовнішньої відносно повороту рейки. Для залізниць із базою 1 520 мм це перевищення не може перевищувати  $h \leq 140$  мм. [11-12]. На рис. 3 йому відповідає поперечний нахил полотна залізничної колії на кут  $\alpha$ . Оскільки швидкості поїздів зростають, то таке перевищення зовнішньої рейки  $h$  (див. рис. 3) не завжди забезпечує повну компенсацію відцентрового прискорення. Виникає ситуація коли кут нахилу ваги залізничного вагону  $\theta$  від вертикалі більший від кута нахилу самого вагону (залізничної колії)  $\alpha$ ,  $\theta > \alpha$ . Різниця кутів нахилу ваги при заданій швидкості руху та залізничної колії може служити мірою некомпенсованого відцентрового прискорення (див. рис. 3).

У разі наявності некомпенсованого відцентрового прискорення відбувається зміщення жорсткої колісної осі вагонів у сторону зовнішньої, відносно повороту, рейки. Завдяки конічній формі поверхні коліс в результаті зміщення дещо збільшується кут нахилу вагону на величину  $\Delta\alpha$ , що приводить до певного кута зменшення некомпенсованого відцентрового прискорення  $\beta - \Delta\alpha$

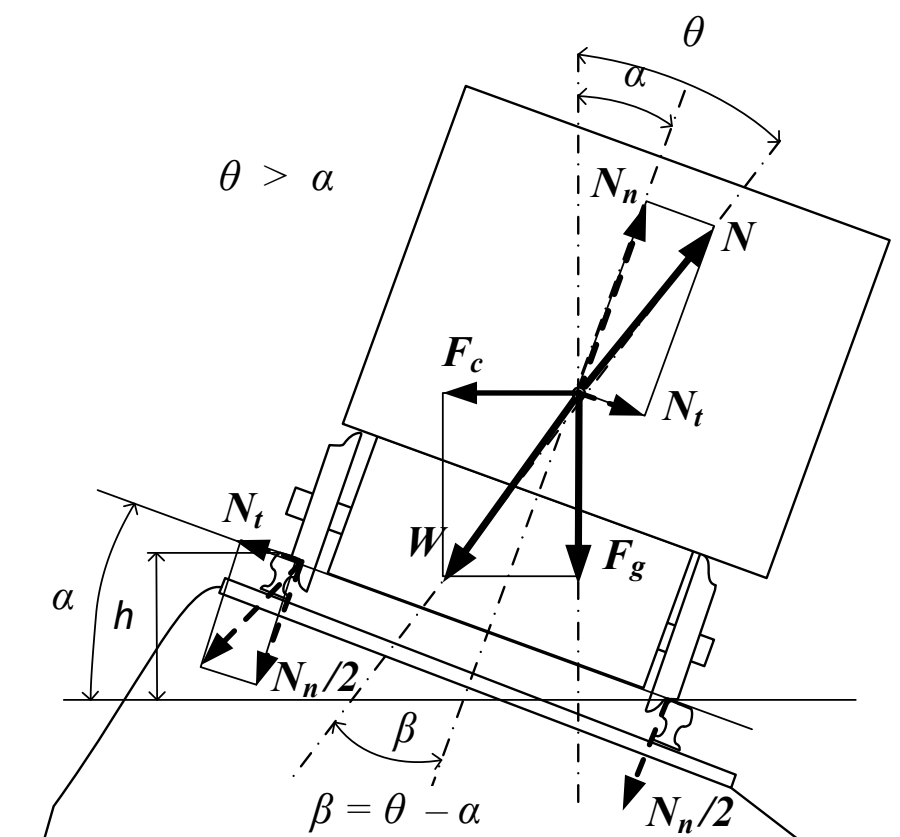


Рисунок 3 – Розподіл сили ваги на кривій неповною компенсація відцентрового прискорення

$$\beta = \theta - \alpha. \quad (6)$$

Проте це зміщення обмежене допусками ширини колії та ширини коліс і у більшості випадків реборда колеса впирається в бокову поверхню рейки. Відбувається перерозподіл сил діючих на обидві рейки колії. Нормальна, відносно площини колії, складова ваги  $N_n$  розподіляється рівномірно між двома рейками. На кожну рейку діє сила перпендикулярно площині колії і рівна за величиною  $N_n/2$ . Тангенціальна відносно полотна залізничної колії складова ваги  $N_t$  повністю припадає на зовнішню рейку і намагається змістити її у бік протилежний повороту (див. рис. 3). Вона ж приводить до часткової появи тертя ковзання замість тертя кочення.

Дія складових сили ваги на поворотах приводить до зміни величини сили тертя і впливає на режим руху ТЗ. Сили тертя пропорційні силі тиску на опору, тобто нормальній складовій  $N_n$  ваги ТЗ. Це перше, що потрібно враховувати під час тягових розрахунків, особливо для швидкісних поїздів. По друге - щоб вірно



розрахувати силу тертя потрібно враховувати і величину некомпенсованого прискорення, та часткову появу тертя ковзання колеса по рейці, яка визначається величиною тангенціальної складової ваги  $N_t$ . Врахування таких деталей дії сили ваги і вплив її на характер руху ускладнює тягові розрахунки.

Використовуючи шлях, як узагальнену координату в рівняннях Лагранжа, приймають, що діючі в'язі є голономні, тобто геометричними і не залежать від швидкості руху. Тут, як видно з приведеного, потрібно враховувати залежність діючих сил опору від швидкості.

Матеріалу цієї статті це ще раз підтверджує як уважно слід враховувати сили ваги, не допускати спотворень та їх невірному визначення. В цитованих джерелах з теорії електричної тяги вага вважається постійною величиною, яка не залежить ні від швидкості руху ТЗ, ні від профілю і плану шляху. Сила тертя, як сили опору руху ТЗ, приймається пропорційною масі ТЗ і тільки при русі по дугі частково враховується її зміна. Наприклад у джерелах [1 – 7], коефіцієнт тертя поїзда на залізничній колії визначається емпіричною формулою в яку входить радіус кривизни дуги шляху.

## Висновки

1. Вага – це сила з якою тіло тисне на опору або на підвіс.
2. Пояснення. Вага – це сила, яка виникає у місті контакту двох тіл, одне з яких вважається опорою. Вагу можуть спричиняти сили будь-якої природи, що притискають одне тіло до іншого. Це сили гравітації, інерційні електромагнітні сили, сили іншого походження, наприклад сила Коріоліса. Попри ряд чинників, які утворюють вагу, вага – це сила єдина взаємодії, яка діє між тілом та опорою. З боку опори у відповідь на вагу виникає сила реакції. Сила реакції прикладена до матеріального тіла. За величиною вона дорівнює вазі, а її напрямок протилежний напрямку вектора ваги.
3. Невірне визначення ваги пов'язано з ототожненням ваги із силою гравітаційного тяжіння є масовим явищем, яке притаманне побутовій практиці, та досить широко використовується в технічній літературі та інженерній





практиці. Це застаріле використання ваги, як міри кількості речовини. У минулому, під час використання технічної системи одиниць, у ряду країн за основу, наприклад системи одиниць МКГСС, було прийнято скалярне значення ваги тіла, як сили земного тяжіння у стані спокою. Після введення міжнародної системи одиниць СІ, основною одиницею кількості речовини прийнято масу тіла. Розділено два поняття: сили земного тяжіння, викликаного гравітацією і сили ваги – взаємодії тіла та опори.

4. У цій роботі моделі штучного інтелекту використано як критерій визначення ваги. Штучний інтелект узагальнює масові явища, переглядає великі масиви даних, терабайти інформації, обробляє їх і робить висновки. Спілкування зі штучним інтелектом на рівнях моделей ChatGPT–3.5 та ChatGPT–4o показало, що єдиної точки зору на визначення поняття ваги не існує. Модель ChatGPT–3.5 дотримується найбільш масової точки зору, а саме – ваги це сила викликана гравітацією. Модель ChatGPT–4o з певними упередженнями приймає точку зору, що вага це сила тиску на опору, проте здатності послідовно дотримуватись такого визначення не проявила.

5. У дисципліні «Теорія електричної тяги», а інших прикладних технічних дисциплінах відомі навчальні посібники, технічна документація, практика обслуговування ТЗ використовують невірне визначення ваги і ототожнюють вагу із силою земного тяжіння. Така ситуація призводить до проблем викладання дисципліни та підготовки спеціалістів, а також до помилкових розрахунків.

6. В заключній частині статті приведено фрагмент із монографії автора і розглянуто способи подачі ваги ТЗ під час виконання тягових розрахунків, а також викладання дисципліни «Теорія електричної тяги». Показано що питання визначення ваги є не тільки питанням термінології, але питанням точності виконання тягових розрахунків, особливо швидкісних ТЗ.

7. Ця стаття пропонується як проблемна і автор звертається до спеціалістів з проханням викласти свою точку зору та запропонувати методи впровадження вірного використання поняття вага в навчальному процесі та інженерній практиці.