

УДК 681.2:669

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-8>

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗВАЖУВАННЯ СИРОВИНИ В УМОВАХ КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХУ

Ливада Вадим Валентинович,

студент

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

ORCID ID: 0009-0003-9044-4798

Койфман Олексій Олександрович,

кандидат технічних наук, доцент,

завідувач кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

ORCID ID: 0000-0003-2075-7417

Scopus ID: 55808117000

Мірошниченко Вікторія Ігорівна,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-5956-7867

Scopus ID: 57205494697

Скорик Ігор Вікторович,

студент

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

Ваги та процес зважування людство використовує вже багато століть поспіль. За цей час винайдено та вдосконалено десятки видів ваг – від звичайних із чашами до сучасних електронних, які мають у своїй основі новітні види датчиків та використовують штучний інтелект. Значне пришвидшення еволюції зумовлено розвитком технологій на хвилі Індустрії 4.0. Є декілька напрямів удосконалення технології зважування, як-от підвищення точності, зниження часу процесу, мінімізація впливу людини на результат. Також не менш важливе завдання – вибір обладнання, яке відповідає стандартам підприємства, має високу ремонтпридатність та шляхи вдосконалення, без проблем інтегрується в системи ERP та MES. Зараз дуже поширені системи зважування в русі (WIM), які відповідають більшості вимог. Але на точність їх роботи впливають такі фактори: різні типи вагонів (пусті та завантажені) у складі потягу, швидкість руху та технічний стан вагонів. Тому найкращим вибором є комбіновані ваги, які можуть зважувати в динамічному та статичному режимі. Доповненням до них є система розпізнавання номерів вагонів за допомогою камер та нейронних мереж, а також системи на основі RFID-технології. Ця стаття ілюструє процес пошуку та розробки найкращого рішення для модернізації наявної застарілої системи зважування на залізничних вагах на основі аналізу наявних систем, урахування досвід їх використання та варіантів, які пропонують різні виробники вагового обладнання.

Ключові слова: динамічне зважування, статичне зважування, номер вагона, тензодатчик, платформа, ERP, MES.

Lyvada Vadym, Koyfman Olexsiy, Miroshnichenko Viktoriia, Skoryk Ihor. Modernization of the raw material weighing system in converter shop

Humanity has been using scales and the weighing process for many centuries. During this time, dozens of types of scales have been invented and improved, from conventional scales with bowls to modern electronic scales based on the latest types of sensors and using artificial intelligence. The significant acceleration of evolution is due to the development of technologies in the wake of Industry 4.0. There are several areas of improvement in weighing technology, such as increasing accuracy, reducing process time, and minimizing human influence on the result. Equally important is the choice of equipment that meets the company's standards, has high maintainability and ways to improve, and can be easily integrated into ERP and MES systems. Weighing-in-motion (WIM) systems are now very common and meet most of the requirements. However, their accuracy is affected by factors such as the different types of cars (empty and loaded) in the train, the speed of the train, and the technical condition

of these cars. Therefore, the best choice is a combined scale that can weigh in dynamic and static mode. These scales are complemented by a system for recognizing wagon numbers using cameras and neural networks, as well as systems based on RFID technology. This article is an illustration of the process of finding and developing the best solution for modernizing the existing outdated weighing system at railway scales based on the analysis of existing systems, taking into account the experience of their use and the options offered by various manufacturers of weighing equipment.

Key words: *dynamic weighing, static weighing, wagon number, strain gauge, platform, ERP, MES.*

Вступ. Ваги та зважування є невід’ємною частиною майже кожного технологічного процесу на підприємствах різних сфер діяльності – від торгівлі та харчової промисловості до видобування природних копалин та металургії. На металургійному підприємстві зважування відіграє велику роль у підготовці до виробництва, під час процесів виплавки чавуну та сталі, під час прокату заготовок та відвантаження готової продукції заказнику. Точність зважування, безперервність процесу та надійність системи зважування впливають на якість продукції, кількість браку, простой обладнання та транспортних засобів, як автомобільних, так і залізничних. Цех метрології та ваговимірювання обслуговує і ремонтує всі наявні на підприємстві ваги – від лабораторних до настільних до кранових і залізничних.

Нині на підприємстві на стадії підготовки до виробництва сталі експлуатують автомобільні ваги та двоє вагонних. Вагонні важільно-тензометричні ваги, які мають багато проблем та недоліків, експлуатують понад 35 років попри 15-річний максимальний термін. Елементи важільної системи вагонних ваг (призми, подушки) зношені, металоконструкції вантажних платформ мають екстремальне корозійне зношування. Зважування відбувається повізково в ручному режимі. Похибка зважування ваг може сягати ± 400 кг (за допустимої межі зважування для ваг ± 150 кг). За місяць на вагах зважується декілька тисячі вагонів, дві

третини з яких становить тарування вагонів, які можуть бути завантажені вапном, шламом, доломітом, шлаком, коксовою дрібницею тощо, дороговартісною сировиною або продукцією. За такої інтенсивності зважування відбувається зниження похибки до ± 200 кг, наприклад, на 400 вагонах при вартості сировини 10 тис. грн за тону різниця становитиме 800 тис. грн на місяць, тобто 9,6 млн за рік.

Вагова електроніка морально й фізично застаріла та знята з виробництва. Програмне забезпечення (далі – ПЗ) не відповідає політикам інформаційної безпеки, операційна система та конфігурація робочої станції не дають змоги вводити ваги в домен підприємства.

Для визначення ваги сировини в електро-
нній частині системи зважування сигнал з тен-
зодатчика, встановленого на виході механічної
зважувальної системи, подається на блок пере-
творювача Ф4233/2, а результат зважування
контролюється на пульті управління Ф4233/1
(рис. 1).

Після зважування вагона (двох візків) дані через проміжну плату синхронізації передаються на комп'ютер з операційною системою Windows XP та програмою зважування, яка розроблена в середовищі DOS. Введені вручну вагарем значення ваги вагонів та їх номери відображаються в програмі та можуть бути збережені на жорсткий диск, дискету або їх можна роздрукувати на принтері у формі відвісної.



Рис. 1. Вагове обладнання Ф4233

Через те що дані зважування необхідно передавати в ERP-систему, вагар додатково на іншому комп'ютері вручну вводять результати зважування, номери вагонів, рід вантажу, цех відправника та отримувача й час зважування.

На підприємстві є більш сучасні системи зважування на вагонних вагах: на основі вагового контролера visiCON – 245 та 445 (рис. 2, а), системи на ваговому контролері RiceLake 920i (рис. 2, б), найсучасніша система фірми Koda в складі блоку обробки сигналів та ваговий контролер DD1010 (рис. 2, в).

Хоч усі ці системи більш сучасні порівняно із системою на основі Ф (рис. 1), але мають теж багато мінусів. Контролер visiCON має дуже обмежений перелік налаштувань роботи та калібрувань. Контролер RiceLake має модульну конструкцію, більше можливостей у налаштуваннях роботи, калібрувань, передаванні даних, але в нього специфічне ПЗ. Найновіша система фірми Koda, розроблена як комплексне рішення для вагонних ваг з трьома платформами, хоч і має ПЗ з урахуванням сучасних вимог щодо сумісності з новими версіями Windows, але не має опції для передавання даних в ERP-систему напряду й періодично має проблеми в роботі. Також з'ясувалися деякі конструктивні недоліки при експлуатації.

Фірми, які займаються продажем та встановленням залізничних ваг, представляють покупцеві готові рішення, засновані на своїх вагових контролерах та ПЗ. Внесення будь-яких змін у конструкцію ваг, особливо в електронну частину чи ПЗ, майже неможливе, займає дуже багато часу та матеріальних ресурсів або така можливість взагалі відсутня. Усі розглянуті варіанти на ринку становлять собою платформні ваги з різною кількістю платформ від однієї до чотирьох. Різниця полягає лише в деяких відмінностях установлення платформ та використаних матеріалів, виду фундаменту або його відсутності. Електронна частина реалізована або зв'язкою АЦП плюс ваговий контролер, або ваговим контролером, який має власний АЦП.

Однією з негативних сторін ваг цього типу є те, що в разі несправності вагового контролера або АЦП замінити його можливо лише таким саме елементом. Хоча фірми надають гарантію та гарантійне обслуговування на ваги, це не гарантує підтримки продукту після закінчення його виробництва. Деякі виробники використовують, крім своїх контролерів, специфічні тензометричні датчики, які неможливо замінити іншими без втручання в конструкцію вузлів установлення у платформі.

Мета статті – вивчити поточний стан механізмів та автоматики на об'єкті, розглянути конфігурацію та роботу інших наявних ваг на підприємстві, здійснити огляд сучасних рішень, розробити алгоритм дій, спрямованих на заміну наявної системи зважування, на такий, що б задовольняв нагальні вимоги для залізничних ваг та слугував основою для подальшої роботи й удосконалення.

Матеріали та методики дослідження. Здійснено аналіз продукції, яку виготовляють та поставляють фірми з Америки, Англії та Європейського Союзу.

В асортименті продукції німецької фірми Hastema [1] є системи зважування залізничних вагонів на основі так званої датчик-рейки в сукупності із системою датчиків та камер (рис. 3). Перевагою такої системи зважування є відсутність потреби в будівництві фундаментів або котлованів для ваг, а також платформ та додаткових металоконструкцій.

Розпізнання вагонів відбувається за допомогою камер або RFID-міток (рис. 3). Швидкість зважування вагонів – до 30 км/год. Але максимальне навантаження на вісь – 30 тонн, що недостатньо для деяких видів вагонів.

Англійська фірма Weighwell [2] має систему зважування, для встановлення якої не потрібні окремі платформи та фундаменти, тензометричні датчики вбудовуються в наявний залізничний путь (рис. 4).

У деяких ситуаціях це дуже значна перевага, оскільки для встановлення системи не треба



Рис. 2. Вагові контролери: а – visiCON-445, б – RiceLake 920i, в – DD1010



а



б



в

Рис. 3. Система зважування залізничних вагонів фірми Hastema:
а – датчик-рейка, б – датчик та камера, в – камера розпізнання



а



б

Рис. 4. Система зважування фірми Weighwell: а – установлення тензодатчика, б – колісна пара на тензодатчику

проводити будівельні чи складні монтажні роботи, але така система не буде стабільно працювати в нашому випадку – зношеність колій, колісних пар та їх фізичні дефекти.

Американська фірма RiceLake [3] надає величезний вибір найрізноманітнішого вагового та супутнього обладнання – від лабораторних ваг до конвеєрних, автомобільних та залізничних. Залізничні ваги представлені системою з датчиком у рейці (рис. 5) та своїм ваговим контролером. Попри великий вибір засобів та послуг, які надає виробник, тільки п'ята їх частина доступна в Україні, зокрема, залізничні ваги не доступні.

Як і попередня система «датчик-рейка» (рис. 5) має приблизно ж такі переваги у вигляді відносно легкого монтажу без додаткового будівництва, високу швидкість при зважуванні

та мінуси, як-от обмеження на максимальне навантаження та навантаження на одну вісь. Стандартне програмне забезпечення для вагового контролера коштує як сам контролер, а зміни в конфігурації системи значно збільшують її вартість.

Система зважування [4; 5] пройшла перевірку працездатності на «Дніпровському вагонному заводі» та у взаємодії з компанією «Ваговимірювальні системи». Вона становить собою одноплатформну систему для зважування та розпізнання вагонів у русі. Система використовує алгоритм апроксимації сигналів тензодатчиків при проїзді автозчеплень для різних комбінацій візків та візків вагонів окремо з використанням функції Гевісайда, для цього проведено навчання згорткової нейронної мережі, тест якої показав високий рівень відсотка



а



б

Рис. 5. Система зважування фірми RiceLake: а – датчик-рейка; б – платформні ваги

розпізнавання тестових об'єктів, навіть під час імітування некоректно налаштованої вагової платформи. Для ідентифікації типу вагона за отриманими характеристиками використано нейронну мережу.

У розглянутих працях [4; 5] виконано доволі складну роботу задля поліпшення точності зважування вагонів у русі, незважаючи на перешкоди в сигналах від тензодатчиків та проблеми з платформою і майже стовідсоткове розпізнання типу вагона. Це є суттєвою перевагою порівняно з більшістю систем на стандартних вагових контролерах, але потребує навчання під конкретні типи вагонів, які використовують на підприємстві.

У роботі [6] розроблено модель імітації проїзду вагонів різного типу в динаміці з можливістю обрання послідовності вагонів у потягу, швидкості проїзду, моделювання різної завантаженості вагонів, імітації «шумів» від датчиків. Використовується як імітація реального об'єкта дослідження.

Роботу [7] присвячено розробленню системи зважування в русі на основі мікропроцесора ATMEGA8535. Вона може бути використана для заміни застарілих систем зважування, але також потребує внесення багатьох вхідних даних для коректної роботи.

Стаття [8] описує розробку системи розпізнання потягів за допомогою RFID-технологій. Інформація з міток зчитується та передається на головний вузол для обробки. Завдяки такій системі оператор станції завжди розуміє, де розташовані всі потяги. Ця технологія може бути застосована для розпізнання вагонів, але не для всіх видів – ківші чавуновоза та шлаковоза мають велику температуру.

У [9] авторами розроблено систему дуже точного зважування вагонів у русі за допомогою датчиків у рейці. Для збільшення точності застосовують досить велику кількість датчиків (6 пар) та декілька алгоритмів обробки даних. Ця система розрахована більше на вивчення впливу різних видів вагонів та складів, різної швидкості руху потягів на рейці, а не на саму операцію зважування.

Проаналізувавши поточний стан обладнання у ваговому господарстві на виробництві сталі та конкретно з вагонними важільно-тензометричними вагами та оглянувши джерела із цієї тематики, можна зробити такі висновки:

1. Ваги технічно та морально застарілі й не відповідають вимогам.
2. Наявні більш сучасні системи зважування на підприємстві не відповідають повною мірою всім необхідним параметрам.

3. Представлені вітчизняні вагові системи мають багато обмежень та складну або неможливу модернізацію.

4. Іноземні вагові системи більш сучасні, але мають такі проблеми, як велика вартість та проблеми з логістикою.

Для визначення напрямку й обсягів модернізації використовували такі методи: метод фокальних об'єктів, список питань А. Осборна та список питань Т. Ейлоарта [10]. Також проаналізовано роботу й досвід експлуатації наявних залізничних ваг, виявлено їх слабкі місця як у механічній та електронній частинах, так і в програмному забезпеченні. Ураховано перепони та проблеми, з якими стикаються вагари під час роботи з наявним обладнанням. Головними проблемами залишаються застарілість обладнання, повна або часткова несумісність програмного забезпечення, яке використовують на вагах з новою операційною системою, а також політики безпеки підприємства. Вагарям доводиться вводити вручну майже всю інформацію стосовно вагона при зважуванні, у деяких випадках на іншому комп'ютері, що призводить до помилок в електронних документах та їх паперових копіях.

Результати. У проєкті модернізації системи зважування розглядають вагоні ваги для статичного та динамічного зважування, які мають три незалежні платформи із чотирма тензодатчиками на платформу замість однієї платформи з одним тензодатчиком на зараз. Система (рис. 6) побудована на основі контролера Siemens S7 – 1500 [11], має панель HMI та PLC установлену системою SCADA та можливістю передавання даних зважування в ERP-систему. Функціонал зважування повинен відображати загальну вагу вагона по візках, сторонах та значення зсувів ваги по площині вагона; автоматичну систему розпізнання номера та типу вагона на основі машинного зору та/або безпровідних міток, резервний канал передавання даних в основну базу, аварійне живлення контролера; автоматичне формування документів і форм (рис. 7), їх збереження у локальній та загальній базі даних. Додаткові функції: автоматичне вмикання основного світла відповідно до освітленості та додаткового при зважуванні вагона, контроль рівня води в котловані, додаткова світова індикація при проведенні робіт з перевірки або обслуговування ваг.

Додатково для зручності обслуговування використовують окремі мнемосхеми SCADA-системи, де відображають властивості всіх установлених тензодатчиків, як-от вхідний та вихідний опір, напруга живлення та вихідне

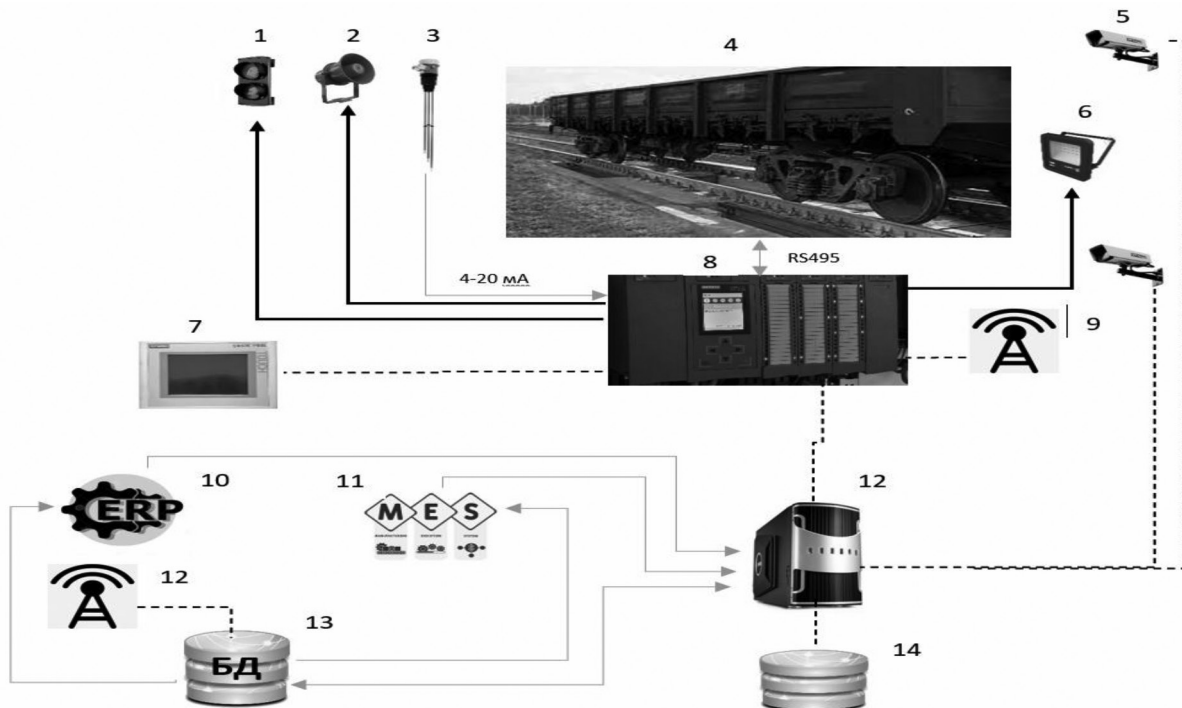


Рис. 6. Приклад модернізованої системи зважування: 1 – світова сигналізація, 2 – звукова сигналізація, 3 – датчик рівня, 4 – платформи ваг з встановленими тензодатчиками, 5 – камера, 6 – додаткове освітлення, 7 – панель оператора, 8 – контролер, 9,12 – резервний радіо зв'язок, 10 – ERP-система підприємства, 11 – MES-система підприємства, 12 – комп'ютер оператора, 13 – глобальна база даних, 14 – локальна база даних;
 ———— – дискретний сигнал, - - - - - ProfiNET, – оптичний кабель

значення напруги. Це все відображається окремо по каналах та платформах. Вікно калібрування повинно бути максимально зручним та зрозумілим. У результаті такої модернізації системи зважування буде отримано ваги зі зменшеним значенням похибки в чотири рази – до ± 100 кг, які будуть використовувати як комерційні (зважування вхідних та вихідних вагонів), зменшення часу зважування вдвічі, що веде

до зменшення машиногодін тепловозів. Зниження похибки відбудеться завдяки заміні старої механіко-електронної системи на повністю нову електронно-цифрову.

Автоматичне розпізнання номерів вагонів унеможливить похибки в документах, як результат – відсутність штрафів та проблем з відправниками та одержувачами вантажів. Резервний канал передавання даних і резервне живлення

Ваги № 13		
№ зважування	Вагяр/змін	Дата/час зважування
0026	Вагяр А.А. / 4	01.01.24 / 10:10
Цех відправник	Цех одержувач	Наявність документів
Аглофабрика	Доменний	Так
Рід вантажу	Вага брутто	№ документа
Відсів коксу	93,65 т	2011
Номер вагону	Вага нетто	Вага тара
52159	73,41 т	20,24 т

Рис. 7. Приклад форми для зважування

надає можливість працювати в аварійних ситуаціях, економити час та витрату пального на перенаправлення склад на інші ваги. Використання допоміжної світової індикації сприятиме безпеці при виконанні ремонтних або періодичних робіт на вагах.

Висновки. Після аналізу поточного стану й роботи об'єкта (залізничні ваги) та подібних на підприємстві, огляду наукових робіт, статей, продукції на ринку зважування вагонів проведено роботу з пошуку найліпшої моделі модернізації системи зважування. У процесі проєктування

вирішено всі нагальні проблеми в механічній та електронній частині об'єкта, зроблено процес зважування вже на іншому, більш технологічному та розвиненому рівні за допомогою новітніх технологій, зменшено до мінімуму вплив людського фактору на процес зважування та формування документів. Зменшення похибки при зважуванні надасть значний економічний ефект. У результаті здійсненої роботи отримано проєкт кардинально іншої системи зважування, який задовольняє всі вимоги та має запас для розширення функціоналу й подальшого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Hastema : вебсайт. URL: <https://www.hastema.com> (дата звернення: 27.10.2024).
2. Weighwell : вебсайт. URL: <https://www.weighwell.com> (дата звернення: 27.10.2024).
3. RiceLake : вебсайт. URL: <https://www.ricelake.com> (дата звернення: 27.10.2024).
4. Колисниченко І. Ю. Дослідження динамічних сигналів одно платформних залізничних ваг. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2022. № 68. С. 174–183. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/68.174>
5. Колисниченко І. Ю., Ткачов В. В. Ідентифікація об'єктів на основі даних тензометричних систем з використання методів машинного навчання. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2023. № 72. С. 161–171. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.161>
6. Волков О. Є., Бубликов А. В. Створення моделі імітації процесу зважування залізничного вагону в динаміці. *Тиждень студентської науки – 2023* : матеріали 78-ї студентської науково-технічної конференції (Дніпро, 24–28 квітня 2023 року). Дніпро, 2023. С. 407. URL: <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/163727>
7. Азаров О. Д., Богомолів С. В., Васильковський М. В. Мікропроцесорна система зважування рухомих вантажів. *Матеріали ІІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ* (Вінниця, 20–22 березня 2024 р.). Вінниця, 2024. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/42001/20102.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
8. Development of a Novel Railway Positioning System Using RFID Technology / O. Olaby et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 6. P. 2401. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22062401>
9. Development and Validation of a Weigh-in-Motion Methodology for Railway Tracks / B. Pintão et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 5. P. 1976. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22051976>
10. Кухар В., Кас'яненко С., Бурко В. (2023). Удосконалення засобів індивідуального захисту від падіння з висоти методами фокальних об'єктів та контрольних запитань. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, (47), 249–258. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300066>
11. Siemens : вебсайт. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk.html> (дата звернення: 27.10.2024).

REFERENCES:

1. Hastema : website. Retrieved from: <https://www.hastema.com> (date of access: 27.10.2024).
2. Weighwell : website. Retrieved from: <https://www.weighwell.com> (date of access: 27.10.2024).
3. RiceLake : website. Retrieved from: <https://www.ricelake.com> (date of access: 27.10.2024).
4. Kolysnychenko, I. Yu. (2022). Doslidzhennia dynamichnykh syhnaliv odno platformnykh zaliznychnykh vah [Research of dynamic signals of single-platform railway scales]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no. 68, 174–183. doi: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/68.174>
5. Kolysnychenko, I. Yu., & Tkachov, V. V. (2023). Identyfikatsiia ob'ektiv na osnovi danykh tenzometrychnykh system z vykorystannia metodiv mashynnoho navchannia [Identification of objects based on the data of strain gauge systems using machine learning methods]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, № 72, 161–171. doi: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.161>
6. Volkov, O. Ye., & Bublikov, A. V. (2023). Stvorennia modeli imitatsii protsesu zvazhuvannia zaliznychnoho vahonu v dynamitsi [Creation of a model for simulating the process of weighing a railway car in dynamics]. *Tyzhden studentskoi nauky – 2023* : materialy 78-oi studentskoi naukovu-tekhnichnoi konferentsii (Dnipro,

April 24–28, 2023). Dnipro : NTU “DP”. (in Ukrainian). Retrieved from: <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/163727>

7. Azarov, O.D., Bohomolov, S.V., Vasylovskyi, M. V. (2024). Mikroprotsesorna systema zvazhuvannia rukhomykh vantazhiv. [Microprocessor system for weighing moving loads]. Materialy LIII naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU (Vinnytsia, March 20-22, 2024). Vinnytsia : VNTU. (in Ukrainian). Retrieved from: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/42001>

8. Olaby, O., Hamadache, M., Soper, D., Winship, P., & Dixon, R. (2022). Development of a Novel Railway Positioning System Using RFID Technology. *Sensors*, 22(6), 2401. doi: <https://doi.org/10.3390/s22062401>

9. Pintão, B., Mosleh, A., Vale, C., Montenegro, P., & Costa, P. (2022). Development and Validation of a Weigh-in-Motion Methodology for Railway Tracks. *Sensors*, 22(5), 1976. doi: <https://doi.org/10.3390/s22051976>

10. Kukhar, V., Kasianenko, S., & Burko, V. (2023). Improvement of individual protection equipment against falls from a height using the methods of focal objects and control questions. *Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical Sciences*, (47), 249–258. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300066>

11. Siemens: website. Retrieved from: <https://www.siemens.com/ua/uk.html> (date of access: 27.10.2024).