

УДК 62-192(075.8)

DOI: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0306>**Іван Назаренко,**

доктор технічних наук,
професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1888-3687>
E-mail: nazarenko.ii@knuba.edu.ua

Віктор Нечипорук,

аспірант
Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8091-2420>
e-mail: nechiporuk.vg@knuba.edu.ua

Вадим Ткачук,

аспірант
Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8091-6042>
e-mail: tkachuk.v@knuba.edu.ua

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДОРОЖНЬОЇ ТЕХНІКИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

Анотація. В роботі здійснена оцінка впливу експлуатаційних показників дорожньої техніки на ефективність їх використання. Прийнято, що до основних експлуатаційних параметрів дорожньої техніки для здійснення аналізу технічного стану і ступеня використання машин відносяться продуктивність, індекс ефективності, час на виконання технологічного процесу та втрати.

Вплив продуктивності на стратегію експлуатації машин, як одного із основних параметрів процесу улаштування дорожнього полотна розглянуто за умови, що дорожні машини мають не тільки різну продуктивність, а й різний темп її зміни в процесі експлуатації. Здійснений аналіз приведених залежностей та наведених умов зміни продуктивності засвідчив, вплив збільшення і зменшення темпу зниження продуктивності на оптимальний термін служби техніки. Ці результати підтверджують виключно важливе значення заходів, спрямованих на підтримку високої продуктивності машин у процесі їх експлуатації. Проаналізовані складові часу роботи машини. Виявлено, що корисний або ефективний робочий час це розрахункова величина, яка є необхідним часом даного обсягу продукції при еталонній продуктивності, тобто без втрат продуктивності і якості. Здійснено аналіз методів моніторингу технічного стану і ступеня використання дорожньої техніки при будівництві доріг.

Ключові слова: експлуатаційні показники, оцінка, дорожня техніка, моніторинг, продуктивність, час використання, термін служби.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ROAD EQUIPMENT PERFORMANCE ON THE EFFICIENCY OF ITS USE

Abstract. The paper assesses the impact of road machinery performance on the efficiency of its use. It is accepted that the main operational parameters of road equipment for analyzing the technical condition and degree of use of machines include productivity, efficiency index, time for the technological process and losses. The influence of productivity on the strategy of machine operation, as one of the main parameters of the roadway arrangement process, is considered provided that road machines have not only

different productivity, but also different rates of its change during operation. The analysis of the given dependencies and the given conditions for changing productivity has shown the impact of increasing and decreasing the rate of productivity decline on the optimal service life of the equipment. These results confirm the extremely important importance of measures aimed at maintaining high machine performance during their operation. The components of machine operating time are analyzed. It was found that the useful or effective working time is an estimated value that is the required time for a given volume of production at reference performance, that is, without loss of productivity and quality. The methods of monitoring the technical condition and the degree of use of road equipment in road construction are analyzed.

Keywords: performance indicators, evaluation, road equipment, monitoring, productivity, time of use, service life

1. Вступ. В дорожньому будівництві використовують номенклатуру самохідних механізмів, автотранспортних засобів та пристроїв, що поділяються на кілька груп та розраховані на виконання конкретних видів робіт. Умовно можна виділити такі основні види дорожньо-будівельної техніки: механізми для підготовчих операцій (корчування пнів та видалення валунів, різання кущів, розпушування ґрунту та ін.); землерийні агрегати, серед яких бульдозери, автогрейдери, екскаватори та скрепери; механічні засоби для укладання (обслуговування) твердого дорожнього покриття; техніка для виготовлення та перевезення бетонних сумішей (автобетонозмішувачі, автоцементовози, бетононасоси); сортувально-дробильні машини, пристосовані до дроблення первинних та сортування подрібнених гірських порід з метою одержання промислового гравію та щебню. Сюди ж відноситься техніка для проведення паливних та кар'єрних робіт, а також автокрани та самоскиди великої вантажопідйомності. Важливою задачею ефективного використання такої дорожньої техніки є забезпечення заданих технологією продуктивності та якісного виконання відповідного процесу. Виконання цих вимог залежить від стану збірних одиниць, деталей та машини в цілому. Отже, головна задача стану дорожньої техніки є надійність за умови безвідмовної роботи в межах будівельного майданчика із високою ефективністю і виконанням необхідної продуктивності. Оскільки машини є різні за призначенням та складністю конструкції, вихід із ладу тої чи іншої деталі чи збірної одиниці є різним варіантом, як передчасним так і прогнозуємим. За таких умов виникає задача в необхідності швидкої заміни зношеного елемента машини, яка має бути в комплекті так званих запасних частин і їх встановлення потребує певного часу, в більшості випадків передбачуваного. Тому оцінка впливу експлуатаційних показників дорожньої техніки на ефективність їх використання є задачею актуальною, що і є предметом даного дослідження.

2. Оцінка та аналіз існуючих досліджень. В роботах [1,2] досліджено основні стани надійності технічної системи та її елементів на прикладі вібраційних майданчиків для ущільнення бетонних сумішей. В роботі [3] наведено основні поняття, визначення й терміни надійності сільськогосподарської техніки, її інженерно-фізичні основи та математичні методи визначення показників надійності. Особливу увагу приділено випробуванню сільськогосподарської техніки на надійність, методом прогнозування та забезпечення і підвищення надійності машин. В посібнику [4] приведені методи та приклади розрахунку показників експлуатаційної надійності машин за статистичними даними. В підручнику [5] наведено визначення й терміни надійності техніки різного призначення та методи визначення показників надійності. Тобто, забезпечення робочого стану дорожньої техніки потребує застосування

системного підходу щодо оцінки впливу експлуатаційних показників на ефективність її використання.

3. Мета та задачі дослідження. Мета дослідження полягає в оцінці впливу експлуатаційних показників дорожньої техніки на ефективність їх використання. Для досягнення мети вирішуються наступні задачі:

- визначення експлуатаційних параметрів для здійснення аналізу технічного стану і ступеня використання машин; оцінка методів моніторингу технічного стану і ступеня використання машин.

4. Викладення основного матеріалу.

4.1. Визначення експлуатаційних параметрів для здійснення аналізу технічного стану і ступеня використання машин.

До основних експлуатаційних параметрів дорожньої техніки для здійснення аналізу технічного стану і ступеня використання машин відносяться показники, які певним чином характеризуються взаємовпливом між собою (рис.1)

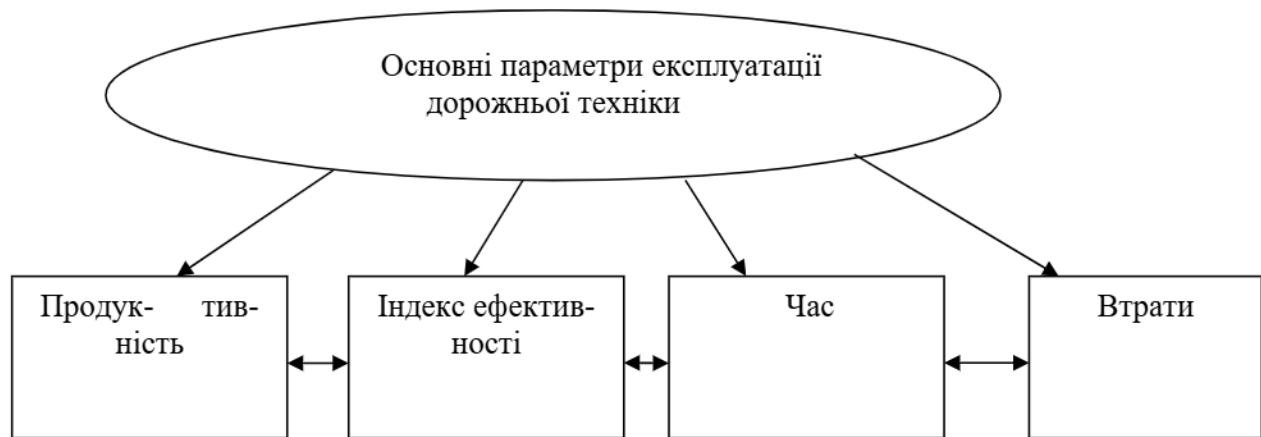


Рис.1. Основні параметри експлуатації дорожньої техніки.

Fig. 1. Main parameters of road equipment operation

Розглянемо вплив продуктивності на стратегію експлуатації машин, як одного із основних параметрів процесу улаштування дорожнього полотна.

Будемо виходити із умови, що дорожні машини можуть мати не тільки різну продуктивність, а й різний темп її зміни в процесі експлуатації.

На рис.2,а представлений випадок, коли машини мають різну продуктивність ($\Pi_{01}, \Pi_{02}, \dots, \Pi_{0n}$), але темп зміни продуктивності ($\frac{d\Pi}{dt}$) в процесі експлуатації у розглянутих машин однаковий, а на рис.2,б - аналогічний випадок, але темп зміни продуктивності у різних машин різний.

При цьому (рис.2,б) розглянуто випадок, коли темп зниження продуктивності у машини з більшою початковою продуктивністю менше, тобто:

$$\frac{d\Pi_{01}}{dt} < \frac{d\Pi_{02}}{dt} < \dots < \frac{d\Pi_{0n}}{dt}. \quad (1)$$

Але можлива й інша ситуація, при якій:

$$\frac{d\Pi_{01}}{dt} > \frac{d\Pi_{02}}{dt} > \dots > \frac{d\Pi_{0n}}{dt} \quad (2)$$

Аналіз залежностей (1) та (2) здійснений за наведених умов зміни продуктивності (рис.3) засвідчив, що зі збільшенням темпу зниження продуктивності оптимальний термін

служби зменшується (рис. 3., лінія 3). І навпаки, із зменшенням темпу зниження продуктивності оптимальний термін збільшується (рис. 3, лінія 2). Ці результати підтверджують виключно важливе значення заходів, спрямованих на підтримку високої продуктивності машин у процесі їх експлуатації. Серед таких заходів особливу роль грають заходи з підтримання машин у справному технічному стані та забезпечення їх високої експлуатаційної надійності.

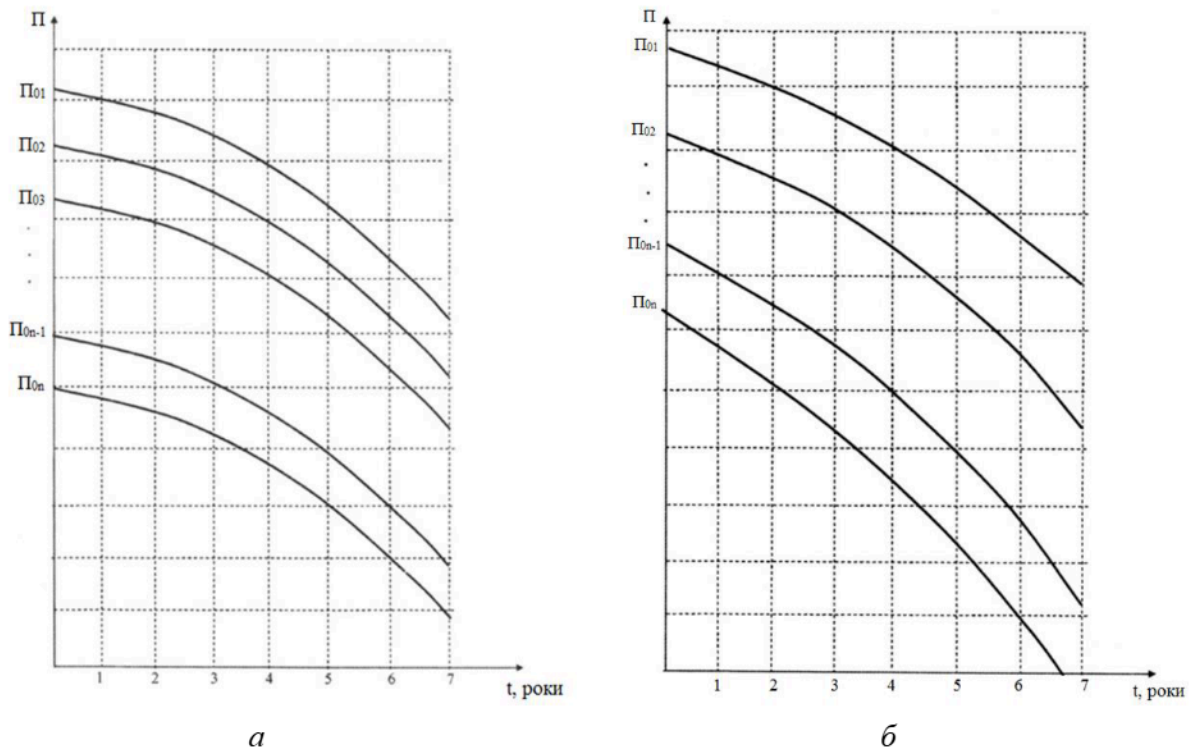


Рис. 2 Залежність зміни продуктивності машини в процесі її експлуатації на протязі тривалого періоду : а – різні значення продуктивності за умов однакового зниження темпу старіння машин; б – різні значення продуктивності за умов різного зниження темпу старіння машини

Fig. 2 Dependence of changes in machine productivity during its operation over a long period: a – different productivity values under conditions of the same decrease in the rate of machine aging; b – different productivity values under conditions of different decrease in the rate of machine aging

На продуктивність дорожньої машини суттєвий вплив має час її роботи (рис.4.) Корисний або ефективний робочий час $T_{p,ч}$ є теоретичним часом, який є необхідним даного обсягу продукції при еталонній продуктивності, тобто без втрат продуктивності і якості. Звичайно це розрахункова величина, яка визначається по відомих еталонних значеннях продуктивності машини або часу робочого циклу. Слід зазначити, що між тимчасовими характеристиками (див. рис.4) можливі обмежені взаємозв'язки. Наприклад, простої в запланованому технічному обслуговуванні є доцільними й створюють передумови для оптимальної роботи машини на тривалу перспективу.

4.2.Оцінка методів моніторингу технічного стану і ступеня використання машин. Моніторинг технічного стану і ступеня використання машин є важливою складовою загального ефективного використання дорожньої техніки при будівництві доріг. Моніторингом займаються ряд зарубіжних фірм. Так, телепатичну систему, яка дистанційно стежить за станом техніки запропонувала фірма «Volvo ACTIVE CARE» [6]. В систему входить не

тільки моніторинг стану машин, а і формування щотижневих звітів, що дає можливість зменшити тривалість простоїв. Віддалений аналіз дає масу переваг, серед яких виявлення проблем до того, як вони призведуть до виходу із ладу обладнання, завчасний облік всіх можливих відмов при плануванні техобслуговування. Компанія «Volvo Construction Equipment» [7] запропонувала систему автоматизації управління роботою екскаваторів, що забезпечує продуктивність, ефективність і безпеку при виконанні операцій з розробки ґрунту. Так, через додаток Dig Assist на дисплеї Volvo Co-Pilot оператор може вибрати такі інструменти як 2D, In-Field Design і 3D. Інструмент 2D призначений для вирівнювання поверхні та створення ухилів. Параметр In-Field Design за допомогою GNSS і RTK технологій дозволяє операторам за лічені хвилини перетворити креслення на папері на цифрову модель. Параметр 3D рекомендується для складних і великих інфраструктурних проєктів. Система нівелювання 3D-МС від Topcon і система автоматизованого управління Earthworks від Trimble для Dig Assist забезпечують можливість завантажувати та виводити об'ємні проєкти на екран Volvo Co-Pilot [8].

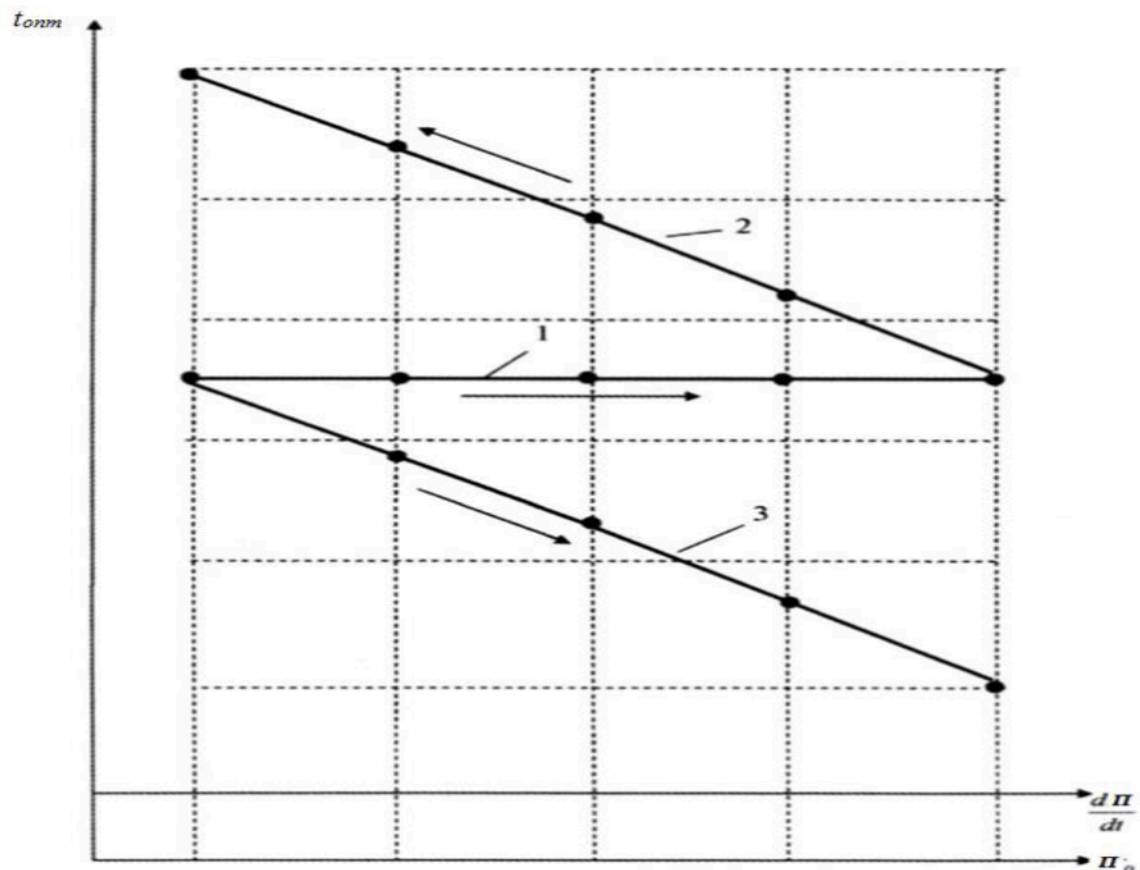


Рис. 3. Залежність зміни оптимального терміну служби машин від величини продуктивності та темпу її зміни в процесі експлуатації:

Fig. 3. Dependence of the change in the optimal service life of machines on the value of productivity and the rate of its change during operation:

$$1 - t_{omn} = f(\Pi_t) \text{ при } \frac{d\Pi}{dt} = \text{const} = A; \quad 2 - t_{omn} = f\left(\frac{d\Pi}{dt}\right) \text{ при } \frac{d\Pi}{dt} < A;$$

$$3 - t_{omn} = f\left(\frac{d\Pi}{dt}\right) \text{ при } \frac{d\Pi}{dt} > A;$$

Національне агентство автомобільних магістралей Великобританії «National Highways», запропонувало свою стратегію «Цифрові дороги» (Digital Roads) [9]. У представленій стратегії одним з основних елементів бачення перспектив розвитку дорожньої мережі було створення цифрових двійників доріг. Цифрові копії доріг допоможуть у прогнозуванні зміни стану доріг, що вимагає раннього втручання, що дозволить продовжити термін служби доріг і забезпечити безперебійний рух.

Серед показників дорожньої техніки можна виділити ряд витрат, які знижують ефективність використання: втрати якості та продуктивності, втрати через простой з технічних та зовнішніх причин. Така ситуація може привести до втрати продуктивності, тобто якщо протягом деякого періоду безперервної роботи будівельної машини вихід продукції буде менше проектного. Також якщо машина робить паузи в роботі або зупиняється на короткий час, наприклад на 10 хв, то це теж можна вважати втратою продуктивності роботи, а не простоем.

У більшості випадків ці втрати пов'язані з нераціональними параметрами, неузгодженістю продуктивності основного і допоміжного обладнання, не синхронністю робочих процесів і т.п. Наприклад, протягом цього часу автобетонозмішувачі знаходяться в працездатному стані і фактично використовуються за призначенням, але еталонна їх продуктивність не досягається, так як вони простоюють в черзі для вивантаження суміші для укладання дороги. Інша ситуація наприклад, із екскаватором-зниження потужності двигуна і проблем з гідросистемою екскаватор працює із збільшеною на 10% тривалістю робочого циклу. Тобто екскаватор працездатний і фактично експлуатується, проте еталонна його продуктивність не досягається.

Наведені приклади свідчать про те, що є втрати в період часу, коли машини використовуються за призначенням. Ці незначні зупинки і вимушені холості ходи відбуваються не з причин логістики експлуатації машини. Маленькі зупинки (наприклад, для очищення робочих органів, незначних регулювань і т.п.) зазвичай коротше, ніж 5-10 хв, і викликані не технічними відмовами машини, які, як правило, вимагають залучення персоналу обслуговування і ремонту. Оператор машини може легко усунути виниклі проблеми. Однак часті такі паузи в роботі і зупинки можуть значно зменшити ефективність використання машини, так як в цьому випадку машина працює нестійко, знижується рівномірність, регулярність і швидкість виконання будівельних процесів. Одним із наслідків згаданих причин виходу із ладу є: втрати від простою, якщо ж машини не використовуються протягом досить тривалого часу, наприклад більш ніж 10-20 хв, то можна говорити про втрати від простою машин. Якої величини має бути цей поріг часу (у нашому прикладі середнє - 15 хв), вирішується безпосередньо працівниками організації, яка використовує при оцінці ефективності використання машини.

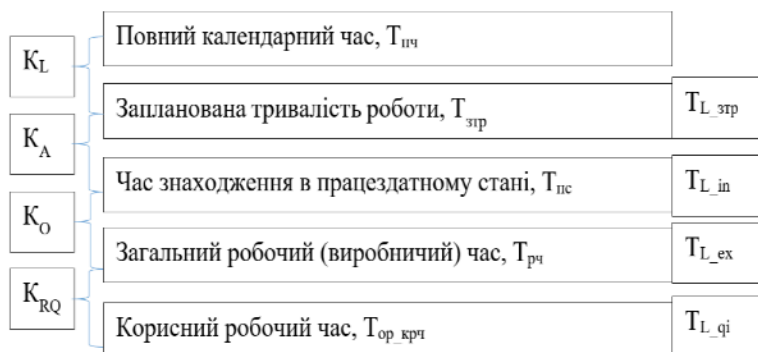


Рис.4. Складові часу роботи машини.
Fig. 4. Components of machine operating time.

Такі тривалі зупинки в роботі машини можуть відбуватися з технічних причин, наприклад, через її відмову або виконання запланованого обслуговування і т.п. Використання даних для оцінки ефективності експлуатації машини, як правило, використовуються системи безперервного вимірювання і запису фізичних параметрів. В роботі розроблена система моніторингу експлуатації машини на основі збору інформації за спеціальною програмою.

5. Обговорення результатів дослідження. Використання формул (1) та (2), дали можливість оцінити продуктивність та її зміну в процесі експлуатації машини. Вплив продуктивності на стратегію експлуатації машин, як одного із основних параметрів процесу улаштування дорожнього полотна розглянуто за умови, що дорожні машини мають не тільки різну продуктивність, а й різний темп її зміни в процесі експлуатації. Здійснений за наведених умов зміни продуктивності (рис.3) засвідчив, що зі збільшенням темпу зниження продуктивності оптимальний термін служби зменшується (рис. 3., лінія 3). І навпаки, із зменшенням темпу зниження продуктивності оптимальний термін збільшується (рис. 3, лінія 2). Ці результати підтверджують виключно важливе значення заходів, спрямованих на підтримку високої продуктивності машин у процесі їх експлуатації і є новими. Маленькі зупинки (наприклад, для очищення робочих органів, незначних регулювань і т.п.) зазвичай коротше, ніж 5-10 хв, і викликані не технічними відмовами машини, які, як правило, вимагають залучення персоналу обслуговування і ремонту. Визначено, що оператор машини може легко усунути виниклі проблеми. Однак часті такі паузи в роботі і зупинки можуть значно зменшити ефективність використання машини, так як в цьому випадку машина працює нестійко, знижується рівномірність, регулярність і швидкість виконання будівельних процесів. Одним із наслідків згаданих причин виходу із ладу є: втрати від простою, якщо ж машини не використовуються протягом досить тривалого часу, наприклад більш ніж 10-20 хв, то можна говорити про втрати від простою машин. Якої величини має бути цей поріг часу (у нашому прикладі середнє - 15 хв), вирішується безпосередньо працівниками організації, яка використовує при оцінці ефективності використання машини. Такі тривалі зупинки в роботі машини можуть відбуватися з технічних причин, наприклад, через її відмову або виконання запланованого обслуговування і т.п. Використання даних для оцінки ефективності експлуатації машини, як правило, використовуються системи безперервного вимірювання і запису фізичних параметрів. Виявлено, що корисний або ефективний робочий час це розрахункова величина, яка є необхідним часом даного обсягу продукції при еталонній продуктивності, тобто без втрат продуктивності і якості. Здійснено аналіз методів моніторингу технічного стану і ступеня використання дорожньої техніки при будівництві доріг. До недоліків варто віднести відсутність методики моніторингу, що передбачається здійснити в наступних дослідженнях.

Висновки:

1. Визначені експлуатаційні параметри для здійснення аналізу технічного стану і ступеня використання машин. Так, до основних експлуатаційних параметрів дорожньої техніки відносяться продуктивність, індекс ефективності, час на виконання технологічного процесу та втрати, обумовлені експлуатацією машин.
2. Здійснений аналіз приведених залежностей та наведених умов зміни продуктивності засвідчив, вплив збільшення і зменшення темпу зниження продуктивності на оптимальний термін служби техніки. Результати підтверджують виключно важливе значення заходів, спрямованих на підтримку високої продуктивності машин у процесі їх експлуатації, що

підтверджено приведеним аналізом складових часу роботи машини.

- Здійснено аналіз методів моніторингу технічного стану і ступеня використання дорожньої техніки при будівництві доріг.

Список використаної літератури

- Ivan Nazarenko, Maksym Delembovskyi, Oleg Dedov and others. Study of reliability of technical systems reliability. Dynamic processes in technological technical systems, p.110–137 Kharkiv, Pc Technology Center, 2021. – 179p.
- Делембовський, М., & Клименко, М. (2020). Методи підвищення надійності та ефективності вібраційних машин будівельної індустрії. Матеріали конференцій МІЦНД, 48-49. <https://doi.org/10.36074/23.10.2020.v1.04>
- Черновол М.І., Черкун В.Ю., Аулін В.В. та інші. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене/ За ред. М.І. Чорновола.- Кіровоград, 2009.-289с
- Клімов С.В. Експлуатація і обслуговування машин. Навчальний посібник.- Рівне. НУВГП, 2010. – 218 с
- Полянський С.К., Лесько В.І., Чернега Г.К. Розрахунок показників надійності машин за статистичними даними. Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2010.- 124с.
- <https://volvo-airport.com.ua/ua/service/volvo-on-call>
- <https://mcet.com.ua/oglyad-betonoukladalnogo-obladnannya-vid-kompanij-power-curbars-i-wirtgen>
- <https://www.fortisgroupbc.com/ua/roller-compacted>
- <https://mcet.com.ua/spetstehnika-dlya-ukladannya-tsementobetonnih-pokrittiv>

References:

- Ivan Nazarenko, Maksym Delembovskyi, Oleg Dedov and others. Study of reliability of technical systems reliability. Dynamic processes in technological technical systems, p.110-137 Kharkiv, Pc Technology Center, 2021. - 179p.
- Delembovskyi, M., & Klymenko, M. (2020). Methods for improving the reliability and efficiency of vibrating machines in the construction industry. Materials of ICST conferences, 48-49. <https://doi.org/10.36074/23.10.2020.v1.04>
- Chernovol, M.I., Cherkun, V.Y., Aulin, V.V., et al. Reliability of agricultural machinery: Textbook. The second edition, revised and supplemented / Edited by M.I. Chernovol - Kirovograd, 2009.-289 p.
- Klimov S.V. Operation and maintenance of machines. Study guide.- Rivne. NUVGP, 2010. - 218 p.
- Polyansky S.K., Lesko V.I., Chernega G.K. Calculation of machine reliability indicators by statistical data. Study guide. - K.: KNUBA, 2010. - 124 p.
- <https://volvo-airport.com.ua/ua/service/volvo-on-call>
- <https://mcet.com.ua/oglyad-betonoukladalnogo-obladnannya-vid-kompanij-power-curbars-i-wirtgen>
- <https://www.fortisgroupbc.com/ua/roller-compacted>
- <https://mcet.com.ua/spetstehnika-dlya-ukladannya-tsementobetonnih-pokrittiv>