

УДК 004:[678.027.3]

**П.Ф. Зозуля, О.С. Поліщук, В.С. Неймак, А.О. Поліщук***Хмельницький національний університет***ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 3D-ДРУКУ У ВЗУТТЄВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

*Проведено аналіз сучасного стану взуттєвої промисловості та перспективи її розвитку за допомогою новітніх технологій. На основі проведеного аналізу встановлено, що виробництво виробів з пластичних мас є перспективним напрямком для виготовлення взуття. Представлено новий спосіб друку деталей полімерними гранулами та описано принцип роботи устаткування, що використовується при цьому.*

*Ключові слова:* взуттєва промисловість, 3D-принтер, 3D-технологія, 3D-друку, полімерні матеріали.

**П.Ф. Зозуля, О.С. Полищук, В.С. Неймак, А.О. Полищук****ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В ОБУВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Проведен анализ современного состояния обувной промышленности и перспективы ее развития с помощью новейших технологий. На основе проведенного анализа установлено, что производство изделий из пластических масс является перспективным направлением для изготовления обуви. Представлен новый способ печати деталей полимерными гранулами и описан принцип работы оборудования, используемого при этом.*

*Ключевые слова:* обувная промышленность, 3D-принтер, 3D-технология, 3D-печать, полимерные материалы.

**P.F. Zozulia, O.S. Polishchuk, V.S. Neimak, A.O. Polishchuk****APPLICATION OF 3D-PRINTING TECHNOLOGY IN THE FOOTWEAR INDUSTRY**

*This article analyzes the current state of the shoe industry and prospects for its development using the latest technologies. Areas of application of 3D-printing technology in various industries are considered and characteristic directions of its application in light industry are given, in particular in the manufacture of clothing and footwear and details in the branch of mechanical engineering. A new pellet printing method is presented and its operation is described in detail.*

*It is also described that the production of plastic products is a promising direction for the development of general and special purpose footwear, which gives an understanding of the development of scientific bases for its further design and will contribute to the intensive development of this trend in Ukraine, and will be important for consumers and the economy as a whole.*

*Keywords:* shoe industry, 3D-print, 3D-technology, 3D-printing, polymeric materials.

**Постановка проблеми.** Сучасне взуття відрізняється складністю конструкції, наявністю великої кількості деталей та складових елементів. Подошви взуття, особливо спортивного, мають складну геометричну форму, можуть включати активні елементи у вигляді трубок, стрижнів, пластин, пружин та інших деталей, що підвищують його експлуатаційні показники. Подібні деталі призначені для поглинання ударних навантажень, що виникають під час різних фізичних вправ, бігу, стрибків, а також сприяють відштовхуванню, що дозволяє поліпшувати показники спортсменів у різних видах спорту. Вказані елементи конструктивно можуть бути виконані як єдине ціле з подошвою або ж у вигляді різного роду вставок – полімерних або металевих [1].

Крім проблем, пов'язаних з проектуванням полімерних виробів складної геометричної форми, виникають й проблеми, пов'язані з їх виробництвом. Для виготовлення складних форм деталей взуття потрібно створити нові методи для їх виробництва. Тому одним із сучасних способів виготовлення взуття є тривимірний друк.

Сьогодні використання 3D-принтерів у масовому виробництві обмежується високою вартістю обладнання та тривалістю процесу виготовлення виробу. Технологія тривимірного друку може бути з успіхом використана у виготовленні дрібносерійних та для індивідуальних виробів, тому для цього виготовлення високошвидкісної оснастки є недоцільним [2].

3D-друку все більше використовується в різних сферах нашого життя. І якщо створення макетів для архітектури, зубних протезів для стоматології або зразків для промисловості досить звичне явище, то 3D-принтери для виробництва взуття відносно новий і перспективний напрямок. Любі дослідження в цьому напрямку є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З 2003 року спостерігається значне зростання продажу 3D-принтерів. Крім того, вартість їх суттєво знизилася та розширилася область застосування. В багатьох галузях народного господарства практичне використання 3D-друку вже не викликає сумнівів. Прикладом застосування може бути: медицина, машинобудування, радіотехніка та електроніка, архітектура, автомобілебудування тощо. За допомогою 3D-принтерів можна надрукувати меблі, музичні інструменти, засоби пересування, продукти харчування, будинки і навіть живі людські органи і тканини тощо [3,4].

Проаналізувавши застосування 3D-принтерів в різних галузях промисловості можна зробити висновок, що найбільший потенціал 3D-принтери мають у виробництві промислових виробів. Тому 3D-друк має перспективи застосування і у легкій промисловості.

3D-принтери з технологією 3D-друку поступово освоюють сферу виробництва одягу та взуття. Також технологія 3D-друку дозволяє використовувати для виготовлення одного предмета виробів легкої промисловості кілька різних матеріалів. Такий підхід дозволяє вирішити проблеми, пов'язані з міцністю і еластичністю виробів, що виготовляються.

3D-технології при виробництві взуття – в останній час новини рябіють подібними заголовками, причому фігурують в них такі відомі всьому світу бренди, як Nike, Adidas, Reebok. Існує багато і інших прикладів застосування 3D-принтерів при виготовленні компонентів для одягу і взуття.

Існує багато праць присвячених технологіям 3D-друку і 3D-принтерам. З них впливає, що вихідною сировиною для виготовлення деталей та виробів є полімерні матеріали у вигляді прутка різного діаметру [5].

**Постановка завдань.** В роботі [4] здійснюється аналіз і систематизація сучасних технологій 3D-друку і 3D-принтерів. Розроблено узагальнену класифікацію 3D-принтерів, яка дає повне уявлення і характеристику про кожен тип, призначення тощо. Також до даної класифікації вперше внесено новий вид 3D-друку, а саме 3D-друк полімерними гранулами, який у промисловості, що стрімко розвивається, стане конкурентоспроможним на ряду з іншими видами 3D-друку і видами витратних матеріалів. Даний вид принтерів знаходиться на стадії розробки.

Однією із головних переваг такого виду принтера є можливість повторного друку деталей гранулами із відходів, які були отримані при попередньому друку. Тому можна і вже зовсім здешевити філамент, використовуючи вторинну сировину. Так, із вторинної сировини малореально отримати рівний за діаметром пруток з тієї простої причини, що властивості розплаву будуть неоднорідними по масі, звідси нерівномірний тиск в промисловому екструдері, нерівномірна пластичність розплаву і його усадка. Відповідно, і під час друку такий пруток буде вести себе абсолютно непередбачувано. В ході першої стадії переробки вихідного полімеру і першого терміну служби полімерного ланцюга відбуваються незворотні зміни, викликані хімічними впливами, термічної, тепло і фотоокислювальної деструкції, що призводить до появи активних груп. Ці групи при наступних переробках здатні запускати реакції окислення. Відповідно чим менша кількість переробок тим кращий матеріал і в результаті це вплине на якість майбутньої деталі чи виробу. Але також у випадках вторинної переробки полімерів є можливість створення нового матеріалу із новими властивостями завдяки додаванню до їх складу різних домішок, фарбників, пластифікаторів з метою покращення еластичності, пластичної деформації, морозостійкості, ударної міцності і зниження в'язкості для покращення їх подальшої переробки і експлуатації [3].

З метою розробки розробка 3D-принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості із використанням гранул в якості вихідної сировини в подальшому необхідно вирішити наступні задачі:

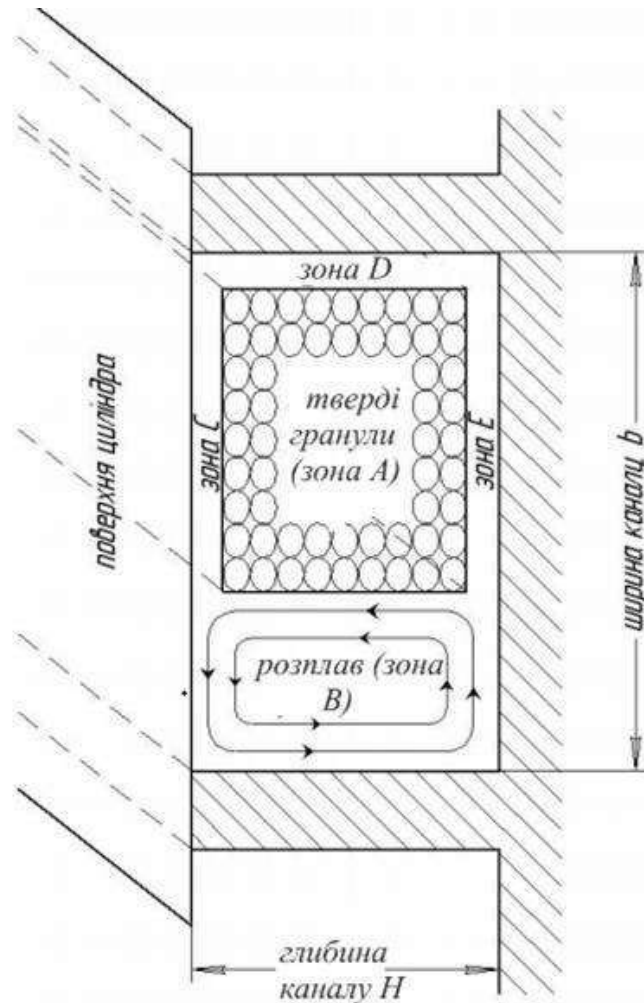
- розробити установку для проведення експериментальних досліджень;
- дослідити процеси, що відбуваються всередині матеріального циліндра та які сили виникають при переміщенні полімерного матеріалу між робочими органами пристрою;
- визначити фізико-механічні характеристики отриманої деталі чи виробу.

**Викладення основного матеріалу.** На теперішній час найбільш розповсюдженим вузлом для переміщення полімерного матеріалу в нагрівальну частину є шнек. В результаті роботи полімерний матеріал також видавлюється із нагрівального елемента, як і у FDM принтерах [6].

Технологія друку гранулами, полягає в наступному: замість готового прутка, який в основному застосовують в якості вихідної сировини, використовуються гранули полімерів, які засипаються у відповідний бункер або зону завантаження, після цього матеріал-сировина подається обертовим шнеком у нагрівальну зону розплаву. В подальшому відбувається екструзія полімеру (рис.1). Для виготовлення деталі взуття термопластичний матеріал нагрівається у друкуючій головці до напіврідкого стану й видавлюється у вигляді нитки через сопло з отвором малого діаметра, осідаючи на поверхні робочого столу (для першого шару) або на попередньо сформованому шарі, з'єднуючись із ним.

Для забезпечення якісного 3D-друку велике значення мають умови просування твердого матеріалу із зони завантаження і заповнення міжвиткового простору у шнекові. Для цього необхідно визначити які процеси відбуваються всередині нього та які сили виникають при

переміщенні полімерного матеріалу між робочими органами пристрою та як це впливає на процес друку та властивості кінцевої деталі.



**Рис. 1. Схематичне зображення шнека із робочими зонами та основними параметрами в розрізі під час роботи**

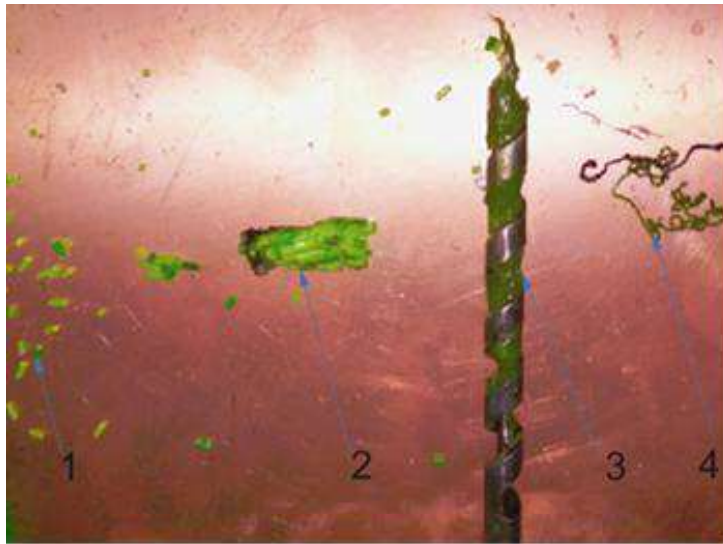
Завантаження установки полімерним матеріалом для екструзії, що подається в бункер, може бути у вигляді порошку, гранул і дрібних пластин. Однією із головних переваг розробленої установки є можливість повторного друку деталей гранулами із відходів, що були отримані при попередньому друку (рис.2). Використання вторинної сировини веде до здешевлення виробу.

Технологія FDM-друку, на перший погляд, може здатися безвідходною, проте можливі значні втрати матеріалів, що йдуть у відходи в процесі підбору оптимального режиму друку для конкретної моделі.

На рис.2 показані етапи перетворення, що відбуваються із полімерними матеріалами на шляху друку гранулами.

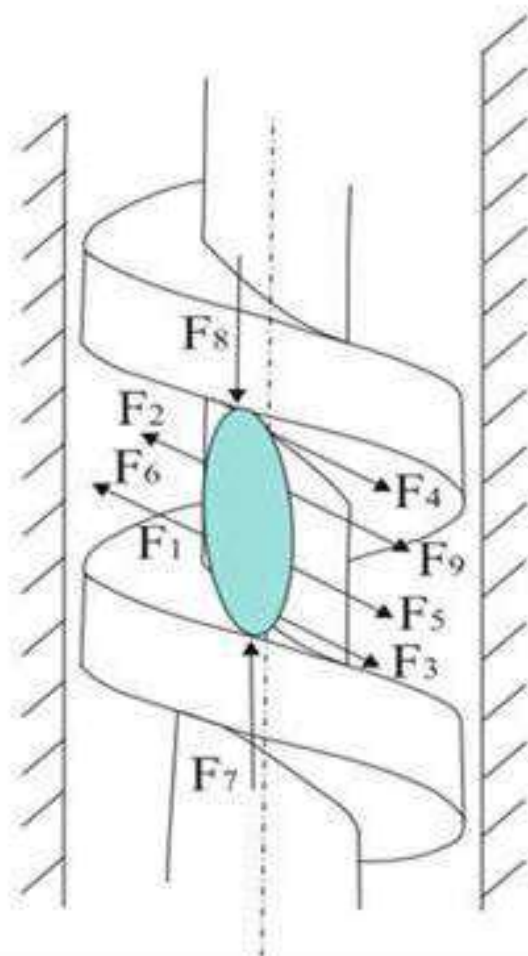
При нормальному температурному режимі спочатку утворюється довга пробка із полімеру, яка проштовхується по каналу. Довжина пробки повинна бути достатньо великою для того щоб проштовхуюча сила, яка виникає внаслідок повздовжнього руху, забезпечувала переміщення полімеру в зону плавлення.

Транспортування різних за формою та розмірами полімерних матеріалів (подрібнені відходи) або порошоків з поганою сипучістю та низькою насипною вагою в зоні живлення становить досить складну задачу. Тому необхідно враховувати всі сили, які впливають на процес друку деталей та розраховувати необхідні параметри для забезпечення безперебійної роботи.



**Рис.2. Робочий орган пристрою та етапи перетворення полімерних частин: 1-полімерні частинки, 2-початок етапу злипання і розплавлення полімерних частинок в суцільне тіло, 3-заповнення міжвиткового простору робочого шнеку під час роботи, етап гомогенізації полімерних частин в одне ціле, 4-вихідний матеріал після видавлювання.**

Для подачі частин полімерного матеріалу в зону переробки, як вже відмічалось, використовується шнек. Після потрапляння полімерного матеріалу в канал шнека переміщення матеріалу відбувається примусово. Сили ваги все ще можуть відігравати незначну роль, але сили проштовхування переважають. На матеріал, що транспортується діють наступні сили (рис.3).



**Рис.3. Схема розміщення сил, які діють на матеріал під час руху всередині пари циліндр-шнек**

Сила  $F_1$  – це сила тертя, яка діє зі сторони корпусу на пробку і заставляє її рухатись по шнеку. Пара сил  $F_2$  і  $F_6$  виникають в результаті повздовжнього тиску, що діє на даний елемент. Їх можна визначити, помноживши питомий тиск на площу поперечного перерізу каналу. Сила тертя  $F_3$  - це сила, що здійснює вплив на пробку з боку штовхаючої стінки черв'яка. Сила тертя  $F_4$  діє на матеріал з боку передньої стінки каналу. Сила тертя  $F_5$  є силою діючою на пробку з боку стінок каналу шнека. Сили  $F_7$  і  $F_8$  - це нормальні сили, що діють зі сторони стінок каналу шнека на пробку. В черв'яків з боку серцевини на пробку діє додаткова нормальна сила  $F_9$ . Також сила  $F_7$  - це сила, з якою на пробку тисне стінка каналу. Вона складається з двох частин: сили  $F_8$  і сили  $F_{вр}$ , що врівноважує всі інші сили [6]. При нормальній роботі екструдера сума проєкцій всіх сил на вісь черв'яка повинна дорівнювати нулю.

Вперше повний аналіз переміщення твердих часток в традиційному одношнековому екструдері був виконаний в роботі [7]. Аналіз, що проведений в даній роботі, є розширеним з врахуванням усіх зазначених вище сил.

Так як даний вид друку відносно новий, його можна застосовувати в різних сферах промисловості для друку різних деталей та елементів одягу і взуття. Також доцільним буде виготовлення за допомогою тривимірного друку макетів та прототипів виробів перед початком їх масового виробництва. Виготовлення прототипу дає можливість аналізу конструкції та усунення її недоліків на початковому етапі. У взуттєвому виробництві новим способом друку можна виготовляти як суцільне полімерне взуття, так і окремі деталі, такі як подошви, аксесуари, каблуки, колодки, а також взуттєві набійки. Завдяки сучасному устаткуванню тривимірного друку можливе створення цілісних тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі цифрової моделі. Така технологія заснована на концепції побудови об'єкта шляхом поступового нанесення шарів, що відображають контури моделі

До переваг 3D-друку взуття можна віднести: можливість використання різного асортименту матеріалів, які мають різні властивості міцності та гнучкості, і в результаті виріб буде набагато якісніший в порівнянні із виробом, який буде виготовлений традиційним методом; виробництво 3D-моделі, яка буде повністю відповідати усім анатомічним особливостям людської стопи [8].

**Висновки.** Застосування технології 3D-друку здатне вирішити низку проблем у взуттєвій промисловості та підняти її на якісно новий рівень. Впровадження даної технології для масового виробництва одягу і взуття є актуальною задачею. Тому всі наукові дослідження та розробки, що будуть проведені та здійснені в цьому напрямку є актуальними, матимуть елементи наукової новизни, а отримані результати та устаткування матимуть велике практичне застосування.

#### Список використаних джерел:

1. Studfiles.net [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5424245/page:4/>
2. Pavuk.info [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pavuk.info/3d-druk-u-virobnitstvi-vzuttya/>
3. Zozulia P. General classification of 3D printing / N. Pyshcheniuk, M. Skyba, O. Polishchuk, M. Malec // Actual problems of modern science [collective monograph], UTP University of Sciences and Technology in Bydgoszcz, Poland, 2017. – p. 413-421.
4. Зозуля П.Ф., О.С. Поліщук, А.О. Поліщук. Перспективи застосування технології 3D-друку в легкій промисловості // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – №4 – С. 102 – 104.
5. Зозуля П.Ф., О.С. Поліщук, А.О. Поліщук. Узагальнена класифікація філаментів для 3D-друку // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – №6 – С. 51 – 59.
6. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р. В. Торнер. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
7. Ossvald T. A. Lite plastmass pod davleniem. T. A. Ossvald, L.-SH. Tung, P. Dj. Gremann; pod red. E.L. Kalincheva. SPb.: Professiya, 2006. – 712 p.
8. 24tv.ua [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://24tv.ua/sport/vidomi\\_sportivni\\_brendi\\_drukuvatimut\\_krosivki\\_na\\_3dprinteri\\_n619700](https://24tv.ua/sport/vidomi_sportivni_brendi_drukuvatimut_krosivki_na_3dprinteri_n619700)

#### Рецензенти:

1. Кармаліта А.К., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету, к.т.н., професор.
2. Місяць В.П., професор кафедри прикладної механіки та машин Київського національного університету технологій та дизайну, д.т.н., професор

Стаття надійшла до редакції 15.09.2019

УДК 355.35

**О.В. Іванченко, І.В. Бойков, А.О. Іванченко***Національна академія Національної гвардії України***ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ «АВТОМОБІЛЬ-ДОРОГА» НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ***Розглянуто характеристики, що оцінюють технічний стан автомобільної техніки і дороги.**Запропоновано показник для оцінки системи «автомобіль-дорога» при використанні автомобільної техніки та графік залежності ймовірності подолання маршруту від коефіцієнту зчеплення шин з дорожнім покриттям.**Отримано та обґрунтовано формулу, що дозволяє оцінювати ймовірність виконання поставленої задачі завдання автомобільною технікою при перевезеннях людей та вантажів.**Ключові слова: автомобільна техніка, автомобільна дорога, показник надійності, коефіцієнт оперативної готовності, коефіцієнт сили зчеплення коліс з дорожнім покриттям.***О.В. Иванченко, И.В. Бойков, А.О. Иванченко***Национальная академия Национальной Гвардии Украины***ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ «АВТОМОБИЛЬ-ДОРОГА» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ***Рассмотрены характеристики, оценивающие техническое состояние автомобильной техники и дороги.**Предложен показатель для оценки системы «автомобиль-дорога» при использовании автомобильной техники и график зависимости вероятности преодоления маршрута от коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием.**Получена и обоснована формула, позволяющая оценивать вероятность выполнения поставленной задачи автомобильной техникой при перевозках людей и грузов.**Ключевые слова: автомобильная техника, автомобильная дорога, показатель надежности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент силы сцепления колес с дорожным покрытием.***O.V. Ivanchenko, I.V. Boikov, A.O. Ivanchenko***National Academy of the National Guard of Ukraine***INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM "CAR-ROAD" ON THE EFFICIENCY OF THE IMPLEMENTATION OF TASKS BY ROAD TRANSPORT***The characteristics that evaluate the technical condition of automotive vehicles and roads are considered.**The proposed indicator for assessing the system "car-road" when using automotive technology and a graph of the dependence of the probability of overcoming the route from the coefficient of adhesion of tires with the road surface.**A formula has been obtained and substantiated, which makes it possible to assess the likelihood of the task being accomplished by automotive equipment when transporting people and goods.**Key words: automobile equipment, road, reliability index, operational readiness ratio, coefficient of traction force of wheels with road surface.*

**Постановка проблеми.** Надійність руху автомобільної техніки по дорогам залежить від багатьох факторів, які можна розділити по відношенню до автомобіля на дві групи:

- зовнішні, які оточують автомобіль при русі;
- внутрішні, які відносяться безпосередньо до автомобіля.

При організації руху автомобільної техніки необхідно оцінити ряд умов, серед яких можна виділити наступні: оцінка обстановки на шляху руху, розрахунок часу руху, вживання заходів з безпеки руху та ін.

При підготовці автомобіля до використання уточнюються наступні дані, а саме: технічний стан автомобілів, можливий вихід з ладу через знос елементів автомобіля, стан доріг, колонних шляхів, час року, час доби, кліматичні умови та інші [1, 2].

Технічний стан автомобільної техніки оцінюється за допомогою коефіцієнта технічної готовності, коефіцієнта готовності, коефіцієнта оперативної готовності [2–4]. Однак високі значення цих коефіцієнтів не гарантують виконання завдання. При підготовці до виконання завдання крім оцінки стану автомобільної техніки (АТ) необхідно оцінити маршрути руху і стан доріг, за якими будуть рухатися автомобілі. Так, при значеннях коефіцієнта оперативної готовності АТ рівним 0,97 і ймовірності подолання маршруту рівним 0,1 ймовірність прибуття АТ в пункт призначення становитиме лише 0,097. У таких випадках значення ймовірності прибуття АТ в пункт призначення недостатнє, що може привести до зриву виконання завдання. Тому виникає необхідність розгляду окремих складових надійності системи «автомобіль-дорога».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання можливості та безпосередньо виконання завдань АТ при пересуванні по автомобільних дорогах висвітлені в численних публікаціях, зокрема в роботах [1–7].

Оцінка стану готовності техніки розглядається в роботах [2–4].

Процес взаємодії колеса з дорожнім покриттям, розглядається в роботах [5].

Надійність автомобіля і надійність дорожнього покриття розглядається в роботах [3, 6, 7].

Однак в цих роботах надійність системи «автомобіль-дорога» при низькій якості автомобільних доріг не оцінюється.

**Мета статті.** Визначення складових характеристик системи «автомобіль-дорога» і обґрунтування показника надійності, який враховує як стан автомобільної техніки, так і стан дорожнього покриття на маршрутах руху.

**Виклад основного матеріалу.** Оцінку стану автомобільної техніки при підготовці до використання пропонується проводити за допомогою комплексного показника для інтегральної оцінки двох властивостей надійності техніки (ремонтпридатності і безвідмовності) – коефіцієнта оперативної готовності ( $K_{ог}$ ). Коефіцієнт оперативної готовності – це ймовірність того, що система виявиться в працездатному стані в будь-який момент часу, крім запланованих періодів, коли використання об'єкта за призначенням не передбачається, і, починаючи з цього моменту, буде працювати безвідмовно протягом заданого періоду [3, 6]. Коефіцієнт оперативної готовності є показником рівня технічного стану і може використовуватися для прогнозування технічного ресурсу автомобіля.

У свою чергу стан покриття автомобільних доріг в залежності від дорожніх умов може різко змінюватися на різних ділянках і на відносно незначних відстанях між ними.

Надійністю автомобільної дороги як комплексної транспортної споруди є здатність забезпечувати розрахунковий рух транспортного потоку з середньою швидкістю, близькою до оптимальної, протягом нормативного або заданого терміну служби дороги при достатніх значеннях інших показників.

Критеріями експлуатаційної надійності автомобільних доріг є такі:

- безперервне, безпечний та зручний рух АТ;
- працездатність як стан дороги, при якому вона виконує задані функції з параметрами, встановленими вимогами технічної документації;
- фактичний термін служби дороги;
- ступінь запасу по пропускній здатності і міцності дорожнього покриття;
- ремонтпридатність.

До дорожніх параметрів, що визначають безпеку автомобільних доріг, можна віднести тип дороги, її геометричні параметри, кількість перетинів і примикань другорядних доріг, облаштування перехресть, швидкісного режиму.

Автомобільні дороги розділені на п'ять категорій [8, 9]. Кожній категорії доріг відповідають свої характеристики: кількість смуг руху, ширина смуг руху, максимальні ухили, радіуси повороту, тип дорожнього покриття.

Однак, незважаючи на характеристики автомобільних доріг кожна може бути непроїзною через вплив природних факторів або через технічний стан автомобільного транспорту.

Оцінка надійності автомобільної дороги під час експлуатації проводиться відповідно до класичної теорії надійності за допомогою основних показників довговічності, ремонтпридатності, безвідмовності, збереженості [10]. Використання показників АТ і окремих показників автомобільної дороги не дозволяють оцінити здатність АТ подолати маршрут і виконати завдання. Тому необхідно ввести показник, який дозволив би оцінити можливість подолання маршруту автомобілем. Одним з показників безвідмовності системи «автомобіль-дорога» може бути ймовірність подолання маршруту. Ймовірністю подолання маршруту  $P_l$  називається ймовірність того, що по дорозі буде можливим рух автомобіля з заданими характеристиками.

Ймовірність подолання маршруту залежить від великої кількості умов: стану дорожнього покриття та шини; навантаження на дорожнє покриття (швидкість руху, маса транспортних засобів); кліматичні умови (температура, вологість, тиск); інтенсивності руху; механічних чинників (коливання, частота); радіаційної обстановки; впливу хімічних речовин (сіль, кислота) і ін.

При оцінці ймовірності подолання маршруту врахувати всі умови дуже важко. Тому в якості першого кроку оцінимо можливість руху автомобіля по дорозі за станом дорожнього покриття і

шин. В якості оціночного показника візьмемо коефіцієнт зчеплення колеса з дорожнім покриттям  $\varphi$ . Коефіцієнтом зчеплення шин з дорожнім покриттям є відношення максимально можливого на даній ділянці дороги значення сили зчеплення між шинами транспортного засобу з поверхнею дороги  $P_m$  до маси цього транспортного засобу  $G$ :

$$\varphi = \frac{P_m}{G}.$$

Схема дії сил на колесо при русі автомобіля по дорозі представлена на рисунку 1.

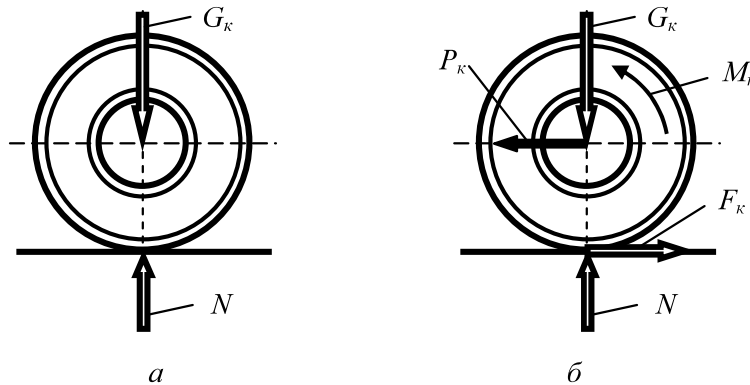


Рис. 1. Схема сил діючих на ведуче колесо:

***a*** – стан нерухомості; ***б*** – стан руху;  $G_k$  – сила тяжіння, відповідна навантаженні на колесо;  $N$  – реакція дороги;  $P_k$  – сила тяги;  $F_k$  – сила тертя;  $M_k$  – обертаючий момент

В реальності дію сил при русі колеса автомобіля по поверхні дороги є досить складним явищем і залежить від багатьох причин. Однак зауважимо, що за рахунок сили тертя забезпечується зчеплення колеса автомобіля з поверхнею дороги.

Коефіцієнт зчеплення  $\varphi$ , залежить від багатьох чинників: ступеня зносу малюнка протектора шин, тиску в шинах, швидкості руху, виду і стану дорожнього покриття тощо. У таблиці 1 надано середні значення коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям для різних типів поверхонь автомобільних доріг.

Таблиця 1.

**Коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям  $\varphi$  для різних типів поверхонь руху**

Тип дорожнього покриття	Коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям $\varphi$ в залежності від стану дорожнього покриття	
	сухе покриття	мокре покриття
Асфальтобетонне, цементобетонне	0,7–0,8	0,4–0,6
Щебенева	0,6–0,7	0,3–0,5
Ґрунтова дорога	0,5–0,6	0,2–0,4
Сніговий покрив	0,2–0,3	
Ожеледиця	0,1–0,2	

Ймовірність подолання маршруту можна визначити за формулою:

$$P_1 = P(\varphi).$$

Якісний вид графіка ймовірності подолання маршруту в залежності від коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям представлений на рисунку 2.



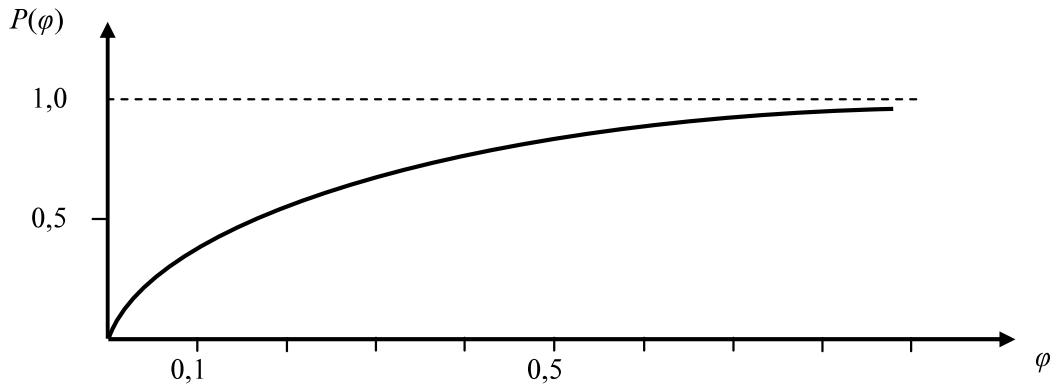


Рис. 2. Графік залежності ймовірності подолання маршруту від коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям

З графіку видно, що при низькому значенні коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою (ожеледиця, мокра дорога), значення ймовірності подолання маршруту буде невисоким. І, навпаки, при збільшенні значення коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою (сухе асфальтобетонне покриття), ймовірність подолання маршруту буде наближатися до максимально високого значення.

Визначення ймовірності подолання маршруту за формулою наведеною вище не в повній мірі може характеризувати виконання завдання автомобілем. Тому в якості комплексного показника безвідмовності системи «автомобіль-дорога» пропонується використовувати коефіцієнт можливості здійснення перевезень  $K_{мзн}$ .

Коефіцієнт оперативної готовності та ймовірність подолання маршруту є подіями пов'язаними і незалежними. Згідно з теоремою множення ймовірностей незв'язаних і незалежних подій вираз для коефіцієнта можливості здійснення перевезень можна представити в наступному вигляді:

$$K_{мзн} = K_{ог} \cdot P(\varphi).$$

Так, наприклад, при значеннях коефіцієнта оперативної готовності  $K_{ог} = 0,9$  і ймовірності подолання маршруту  $P(\varphi) = 0,8$  (сухе асфальтобетонне покриття) коефіцієнт можливості здійснення перевезень буде  $K_{мзн} = 0,72$ . А при значеннях коефіцієнта оперативної готовності  $K_{ог} = 0,9$  і ймовірності подолання маршруту  $P(\varphi) = 0,6$  (мокре асфальтобетонне покриття) коефіцієнт можливості здійснення перевезень буде  $K_{мзн} = 0,54$ , що відповідає ймовірності виконання АТ завдання.

### Висновки

1. Проведено аналіз оцінки надійності системи «автомобіль-дорога». Розглянуто вплив коефіцієнта оперативної готовності, дорожніх умов, ймовірності подолання маршруту на виконання завдання АТ.

2. Запропоновано якісний графік залежності ймовірності подолання маршруту від коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям автомобільної дороги.

3. Запропоновано та обґрунтовано формула, що дозволяє оцінювати ймовірність виконання поставленого завдання автомобільною технікою. Дана формула пов'язує складові системи «автомобіль-дорога».

Запропоновано та обґрунтовано формула, що дозволяє оцінювати ймовірність виконання поставленого завдання автомобільною технікою. Дана формула пов'язує складові системи «автомобіль-дорога».

### Список використаних джерел

1 Автомобильная техника. Автомобильные войска. Автомобильная служба: учебник – М.: Воениздат, 1982. – 348 с.

2 Воинские автомобильные перевозки: учебник. – М.: Воениздат, 2002. – 192 с.