

ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ СТИСНЕННІ ГУМИ ТА ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ПОЛІМЕРІВ В УМОВАХ НАВАНТАЖЕННЯ ШИННИХ ВИРОБІВ

Проведен сравнительный анализ свойств полимерных материалов при сжатии в статических и динамических условиях нагружения, характерных для аварийной опоры безопасного колёсного движителя. Наиболее приемлемым материалом определён термопластичный полимер полипропилен.

COMPARATIVE PROBES OF CONSTRUCTIONAL PROPERTIES AT COMPRESSION OF RUBBER AND THERMOPLASTIC POLYMERS IN THE CONDITIONS OF LOADING OF TYRES

The comparative analysis of properties of polymeric materials is carried out at compression in static and dynamic conditions of loading, characteristic for an emergency bearing part of the safety wheel propulsor. The most comprehensible material defines thermoplastic polymer polypropylene.

Функціональна привабливість безпечного колісного рушія з аварійною опорою полягає у здатності до відтворення при раптовому пошкодженні пневматичної шини достатньо прийнятної кінематики та комфортності пересування транспортно-го засобу у аварійному стані [1, 2].

Інтерес стосовно дослідження можливості застосування в якості конструкційного матеріалу аварійної опори термопластичних полімерних матеріалів, на відміну від традиційного застосування реактопластичних полімерних матеріалів, а саме гуми, полягає у наявності унікального сполучення між надзвичайно привабливими пружно-жорсткими властивостями, густиною та енергоємністю переробки, яка, до того ж, передбачається багаторазовою. Оскільки саме непневматична конструкція аварійної опори має найбільш переконливі експлуатаційні переваги, що раніше було доведено у співпраці з вітчизняними шинниками [3-6], дослідження прийнятності для її створення термопластичних полімерних матеріалів доцільно проводити за умов статичного та динамічного довготривалого навантаження при стисненні відносно до:

- *пружно-жорстких властивостей*, які узагальнює конструкційний показник умовний модуль пружності (E , МПа), надаючи можливість прогнозування зміни кінематики безпечного колісного рушія в умовах аварійного стану;
- *довготривалого опору*, який з урахуванням коефіцієнту тертя зсуву опора-обід та опора-шина узагальнює конструкційний показник релаксація напруження ($\sigma(\log t)$, МПа), надаючи можливість прогнозування зміни тягової спроможності колісного рушія у аварійному стані;
- *поглинаючої здатності*, яку узагальнює конструкційний показник гістерезис (G , відн. од.), надаючи можливість прогнозування зміни комфортності безпечного колісного рушія в умовах аварійного стану.

На підставі цього, розглядаючи модель аварійної опори для комплектації безпечного колісного рушія з вантажною шиною регульованого тиску 365/80R20, вважаємо за доцільне проведення порівняльних досліджень відносно традиційного при створенні таких шинних виробів реактопласту – гума (Гума) та найбільш поширених у галузі переробки полімерів термопластів – поліаміду (ПА), поліетилену (ПЕ) та поліпропілену (ПП).

Згідно наданої послідовності порівняльні дослідження термопластів по відношенню до реактопласту (Гума) доцільно розпочати з фізичних властивостей, враховуючи їх незмінність протягом проведення випробувань. Достатнім, на думку авторів, для надання принципового уявлення відносно конструкційно-технологічних обмежень та означення пріоритетності застосування в якості полімерного матеріалу аварійної опори, може бути порівняння (табл. 1) за показниками густина (ρ , кг/м³) та температура переробки (T_n , °C).

Таблиця 1 – Фізичні властивості термопластичних полімерних матеріалів у співвідношенні до Гуми

Фізичні властивості, відн. од	Реактопласт	Термопласти		
	Гума	ПА	ПЕ	ПП
Густина	1	1,02	0,83	0,79
Температура переробки	1	1,92	1,39	1,57

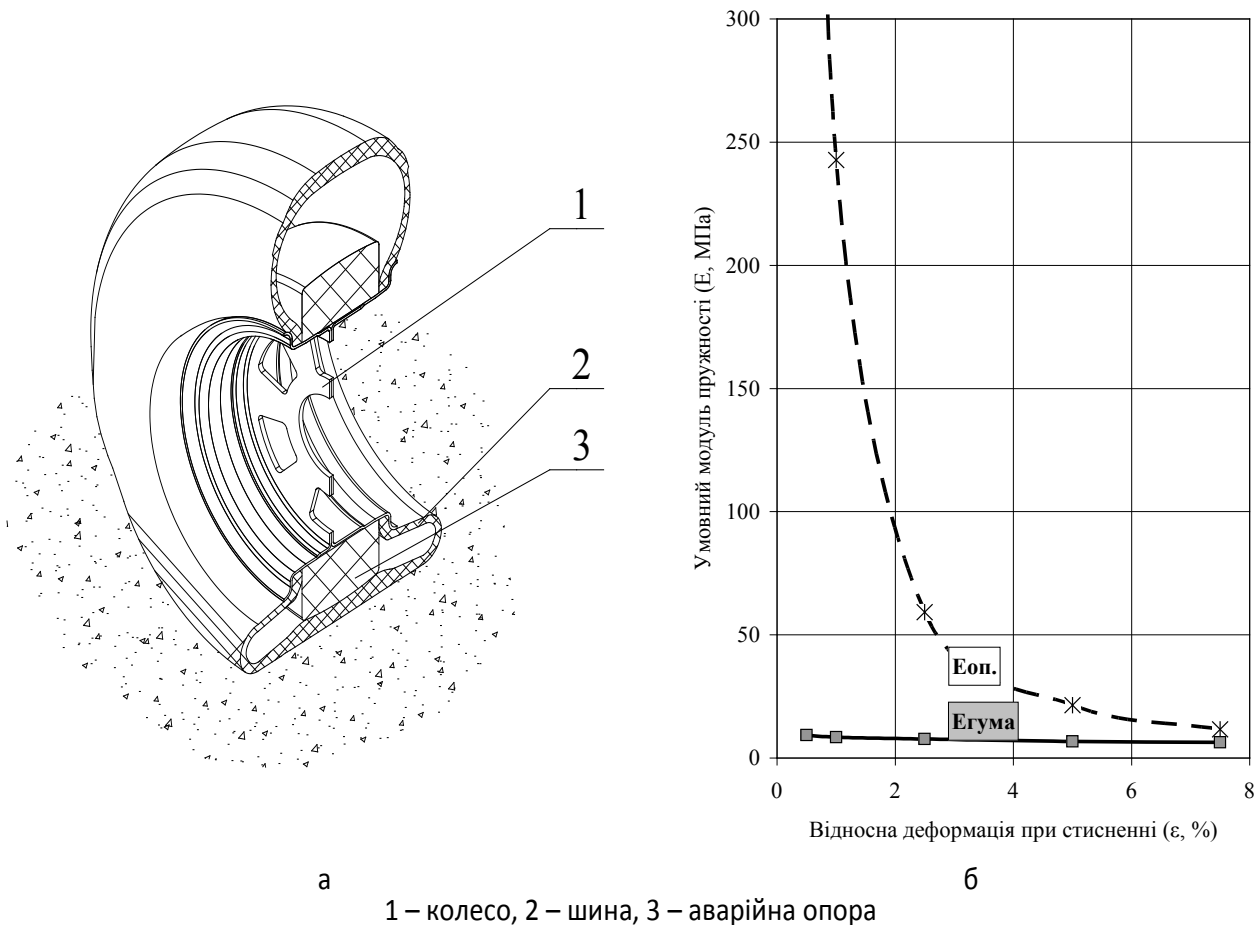
Для термопластів значення показника ρ переважно є меншим від 1 (< 1), що сприяє зменшенню маси і покращенню, незалежно від стану, експлуатаційних властивостей безпечного колісного рушія, та значення показника T_n для усіх розглянутих матеріалів є суттєво більшим за 1 (> 1), що сприяє підвищенню максимально допустимої температури в масиві аварійної опори при експлуатації безпечного колісного рушія у аварійному стані.

Відносне порівняння полімерних матеріалів термопластичних щодо реактопласту за означеними показниками, де найбільш привабливим за сукупністю порівняльних результатів є відповідне ПП сполучення показників $\rho = 0,79$ та $T_n = 1,57$, дозволяє скласти наступний пріоритетний ряд за фізичними властивостями: ПП, ПЕ, ПА та Гума.

Безпечний колісний рушій за принциповою схемою має вигляд змонтованих на традиційний обід колеса традиційної пневматичної шини та спеціальної аварійної опори.

У стаціонарному стані, тобто за передбачених технічними вимогами умов експлуатації, гарантійні зобов'язання виробника до працездатності безпечного колісного рушія означені показником термін гарантований ($t_{zap.} = 5$ років), в межах дотримання якого передбачена можливість здійснення пересування транспортно-го засобу з пошкодженою шиною (рис. 1, а), тобто у аварійному стані, при обумовленому сполученні показників термін аварійного кочення та швидкість аварійного кочення ($t_{a.k.} = 1$ год та $V_{a.k.} = 40$ км/год). Згідно з розглядом пружно-жорстких властивостей аварійної опори (рис. 1, б), проведеному на підставі дотримання технічних вимог відносно прийняття обумовленого навантаження, наведено розрахункову залежність зміни вимог до чисельного рівня показника умовний модуль пружності аварійної опори ($E_{оп.}$, МПа) та показника умовний модуль пружності матеріалу Гума ($E_{Гума}$, МПа) у відповідності до показника відносна деформація при стисненні (ε , %).

Згідно наведених даних (рис. 1, б) чисельний рівень показника умовний модуль пружності (E , МПа) демонструє значні розбіжності між вимогами розрахунку опори ($E_{оп.}$) та можливостями матеріалу Гума ($E_{Гума}$). Тенденція до наближення співвідношення між ними до рівняння $E_{оп.} \approx E_{Гума}$ проявляється за умов зростання чисельного рівня показника ε , однак діапазон його варіювання обмежує доцільність практичного застосування аварійної опори чисельним рівнем до $\varepsilon = 7,5$ % при прийнятному експлуатаційному рівні показника $\varepsilon = 2,5$ %, що надано на підставі попередньо проведених розрахункових досліджень [7, 8].



1 – колесо, 2 – шина, 3 – аварійна опора

Рис. 1 – Статичне навантаження безпечного колісного рушія у аварійному стані (а) та пружно-жорсткі властивості аварійної опори і матеріалу Гума (б)

Враховуючи прагнення до зменшення кількості факторів впливу на пружно-жорсткі властивості при стисненні полімерних матеріалів [9, 10], що дозволить забезпечити достатньо коректне порівняння результатів подальших досліджень не тільки між собою а й, при потребі, з літературними даними, це обумовило проведення порівняльних випробувань за наступних умов статичного навантаження дослідних зразків: форма – циліндр; співвідношення висота/діаметр – $h/d = 1,22 \pm 0,04$; швидкість навантаження – $v = 100 \pm 2$ мм/хв.

В означених межах варіювання $\varepsilon = 0,5-7,5$ % розглянемо результати порівняльних досліджень залежності $E(\varepsilon)$ (рис. 2).

Порівняння з гумою за чисельним рівнем показника E демонструє значне, майже на два порядки, перевищення для будь-якого з термопластів (ПА, ПЕ чи ПП), що переконує у доцільності проведення наданого дослідження. При цьому означено прояв суттєвої залежності $E(\varepsilon)$ характеру зміни та чисельного рівня від природи термопластичного полімеру.

Відносно (рис. 2, а) коефіцієнта порівняння за показником умовний модуль пружності від відносної деформації до гуми ($K_{лE(\varepsilon)}$) для термопласту ПЕ майже не змінює залежність $E(\varepsilon)$, залишаючись у межах $\varepsilon = 0,5-7,5$ % з найнижчим чисельним рівнем показника E . Найвищий чисельний рівень показника E відповідає матеріалу ПА при $\varepsilon = 0,5$ %, але він стрімко зменшується, майже наближаючись до найнижчого рівня серед розглянутих термопластів, при $\varepsilon = 7,5$ %. Протилежний характер має залежності $E(\varepsilon)$ для термопласту ПП, що демонструє в означених межах суттєве, майже від найнижчого до найвищого, збільшення чисельного рівня показника E .

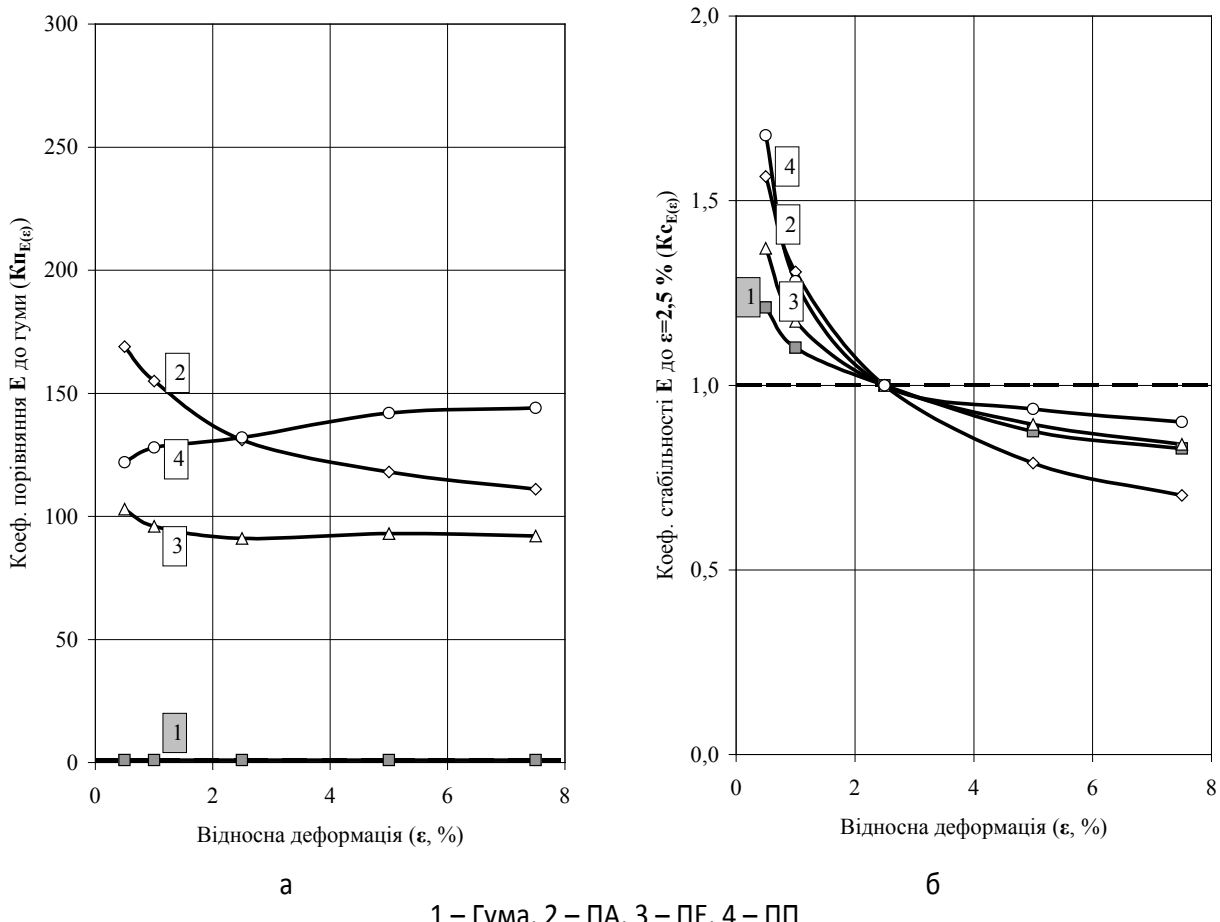


Рис. 2 – Вплив показника відносна деформація на коефіцієнт порівняння за показником умовний модуль пружності при стисненні до гуми ($K_{E(\varepsilon)}$) (а) та коефіцієнт стабільності за показником умовний модуль пружності при стисненні до $\varepsilon = 2,5\%$ ($K_{C_{E(\varepsilon)}}$) (б)

Порівняння (рис. 2, б) за коефіцієнтом стабільності показника умовний модуль пружності від відносної деформації $\varepsilon = 2,5\%$ ($K_{C_{E(\varepsilon)}}$), наведене відносно прийнятного до експлуатації рівня показника ε , не дозволило виявити принципової різниці у прояві залежності $E(\varepsilon)$ при розгляді полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження. Хоча за чисельним рівнем найбільш стабільним, тобто його рівень найбільш наближений до 1, усі термопласти суттєво поступаються матеріалу Гума, все ж таки серед розглянутих термопластів найбільш привабливим виглядає матеріал ПП.

Відносне порівняння полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження у відповідності до проявів залежності $E(\varepsilon)$ дозволяє скласти наступний пріоритетний ряд щодо пружно-жорстких властивостей при стисненні за статичних умов навантаження: ПП, ПА, ПЕ та Гума.

Надані пружно-жорсткі властивості аварійної опори при статичному навантаженні, що узагальнює залежності $E(\varepsilon)$, надає можливість уявити геометричні параметри безпечного колісного рушія з пошкодженою шиною, що моделює умови стоянки транспортного засобу у аварійному стані. Та окрім наданої функції, аварійна опора при статичному навантаженні за означених геометричних параметрів повинна забезпечувати надійне утримання пошкодженої шини від зсуву на ободі колеса, що відповідає умовам надання нерухомості при стоянці транспортного засобу.

Оскільки надійність довготривалого опору зсуву шини на ободі, на відміну від традиційної конструкції, забезпечує виключно аварійна опора, надаючи мож-

ливість передачі тормозного та/або розгінного моменту, у відповідності до статичних чи динамічних умов навантаження, виникає потреба дослідження спроможності термопластичних полімерів з урахування терміну дії навантаження.

Згідно гарантійних зобов'язань до шинних виробів передбачено знаходження безпечного колісного рушія у змонтованому стані за показником термін гарантований ($t_{zap.} = 5$ років), в межах якого повинна бути забезпечена можливість здійснення пересування транспортного засобу з пошкодженою шиною рушія за сполученням показників термін аварійного кочення та швидкість аварійного кочення ($t_{a.k.} = 1$ рік. та $V_{a.k.} = 40$ км/год).

Однак, на відміну від наведених вище даних узагальнюючого показника E на відповідність геометричним параметрам, загально відомої оцінки довготривалого опору зсуву на ободі колеса шини у пошкодженому стані поки що не існує. Тому пропонується розглянути прийнятність наступного допущення.

На підставі аналізу експериментальних та літературних даних, автори прийшли до висновку, що протягом $t_{zap.}$ процес утримання від зсуву на ободі колеса шини у пошкодженому стані може бути інтерпретований як опір збігу (релаксації) напруження при стисненні полімерного матеріалу аварійної опори. При цьому, незалежно від стану шини, залежність показників умовне напруження гарантоване та термін гарантований повинна відповідати вимогам $\sigma_{zap.}(t_{zap.}) \geq 0,1$ МПа, тобто цікавою для дослідження є можливість прогнозування стрімкості втрати створеного при монтажі аварійної опори чисельного рівня показника умовне напруження.

З цього приводу, на думку авторів, оцінку довготривалого опору доцільно проводити у відповідності до узагальнюючого показника збіг напруження (Z , відн. од.), який чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу спрямленої залежності $\sigma(\log t)$ при фіксованому значенні показника відносна деформація ($\varepsilon = \text{const}$). Візуальне уявлення залежності $\sigma(\log t)$ пропонується розглянути у відповідності до впливу показника відносна деформація $\varepsilon = 0,5-7,5$ %, що обумовлено потребою урахування складності геометрії ободу та бортів шини у зоні контакту з аварійною опорою, на прикладі полімерного матеріалу Гума (рис. 3).

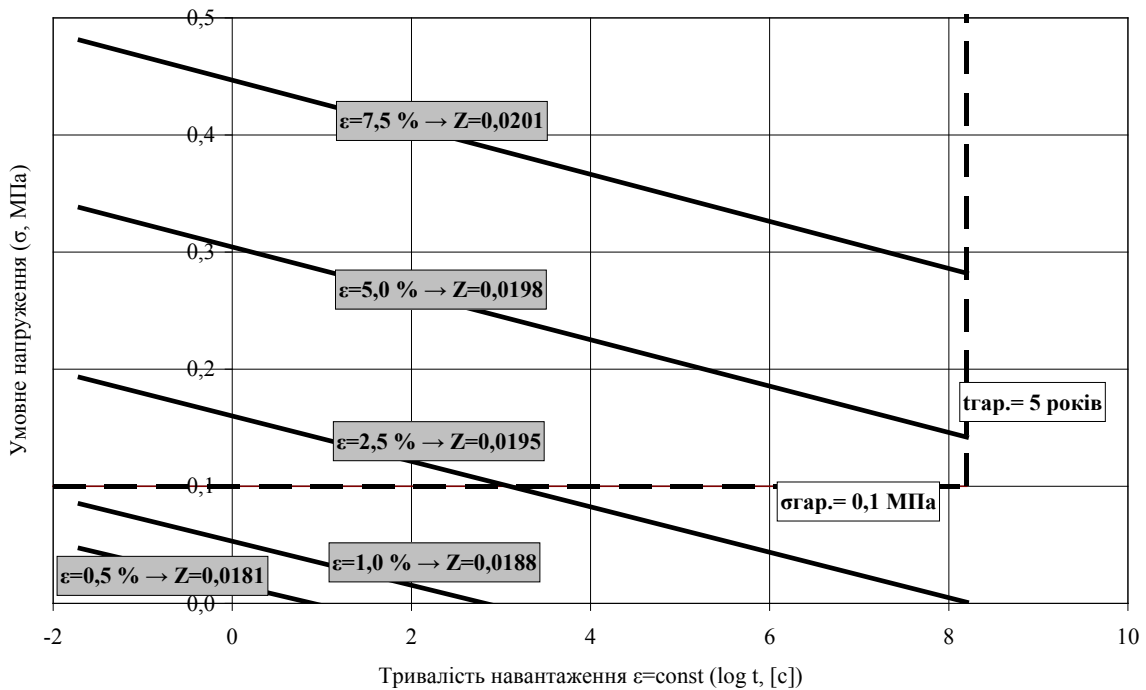
З наведених чисельних даних випливає, що довготривалий опір збігу напруження полімерного матеріалу Гума в значний мірі залежить від показника ε . При чому цей вплив поширюється не тільки на залежність $\sigma(\varepsilon)$, що вочевидь витікає з розглянутої вище залежності $E(\varepsilon)$, а й на прояві залежності $Z(\varepsilon)$.

Підвищення чисельного значення показника ε сприяє збільшенню показників σ та Z , завдяки чому надається можливість варіюючи їх співвідношенням підібрати прийнятне для експлуатаційного застосування те, що відповідає вимогам $\sigma_{zap.}(t_{zap.}) \geq 0,1$ МПа.

Спрощує візуальне уявлення відносно рівня довготривалого опору надання залежності $\sigma(\log t)$ по відношенню до окресленої прямими пунктирними лініями, відповідно, горизонтальна – $\sigma_{zap.} = 0,1$ МПа та вертикальна – $t_{zap.} = 5$ рок., зони прийнятної експлуатації, яка розташована у лівій верхній частини графіку.

Відповідно до полімерного матеріалу Гума залежність $\sigma(\log t)$ при стисненні $\varepsilon = 0,5$ % чи $\varepsilon = 1,0$ % навіть недоцільно розглядати за будь-яким з означених показників по відношенню до обумовлених обмежень. При стисненні $\varepsilon = 2,5$ % має місце створення належного опору тривалості навантаження протягом $\log t \approx 3$, що відповідає вимогам до рівня показнику напруження продовж $t = 20$ хв., та навіть при $t_{zap.} = 5$ рок. зберігає деякий рівень напруження, хоча і на недостатньому для експлуатаційних умов рівні. Безумовно відповідають означеним вимогам залежність

$\sigma(\log t)$ для матеріалу Гума при стисненні $\varepsilon = 5,0\%$ або $\varepsilon = 7,5\%$, оскільки будь-яка крапка на їх прямій лінії знаходиться у межах зони прийнятної експлуатації, тобто по відношенню до пунктирних ліній розташовані: вище – $\sigma_{гар.} = 0,1$ МПа та ліворуч – $t_{гар.} = 5$ рок.



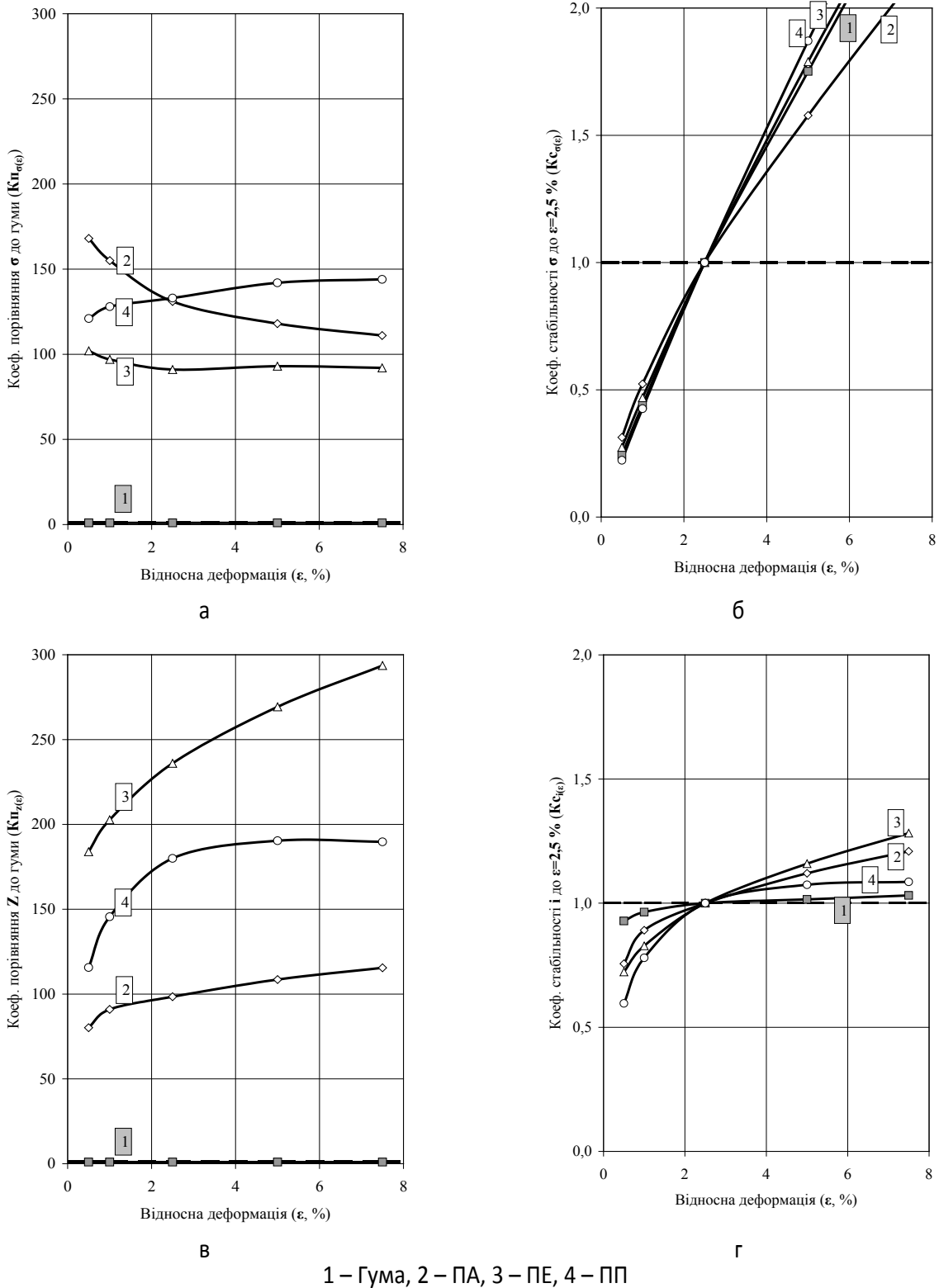
Прийнятна до експлуатація зона застосування окреслена пунктирними лініями: горизонтальна - показник умовне напруження гарантоване ($\sigma_{гар.} = 0,1$ МПа) та вертикальна – показник термін гарантований ($t_{гар.} = 5$ років, який при наданні у логарифмічному обчисленні секунд дорівнює значенню $\log t = 8,198$)
 Рис. 3 – Вплив фіксованого показника відносна деформація ($\varepsilon = \text{const}$) на показник збіг напруження (Z , відн. од.) при стисненні матеріалу Гуми

Дотримуючись наведених вище факторів впливу (статичне навантаження при стисненні дослідних зразків: форма – циліндр; співвідношення висота/діаметр – $h/d = 1,22 \pm 0,04$; швидкість навантаження – $v = 100 \pm 2$ мм/хв.) розглянемо здатність до довготривалого опору збігу напруження термопластичних полімерів у порівнянні з гумою. При цьому, пропонується розглядати зміну залежності $\sigma(\log t)$ від показника відносна деформація $\varepsilon = 0,5-7,5\%$ як сполучення двох взаємопов'язаних залежностей $\sigma(\varepsilon)$ та $Z(\varepsilon)$.

Наведеним залежностям $\sigma(\varepsilon)$ та $Z(\varepsilon)$ може бути, на думку авторів, надано практично вагомий зміст. Доцільним є розглядати ці залежності у якості поєднання матеріало-конструкційних властивостей полімерного матеріалу. Показники умовне напруження (σ) та збіг напруження (Z) являють собою відображення властивостей виключно полімерного матеріалу, тоді як показник відносна деформація (ε) являє собою наслідок прийняття конструктором аварійної опори ґрунтового компромісу між розрахунковими рекомендаціями та геометричними можливостями, які суттєво обмежені вимогою до збереження незмінними конструкції традиційної шини та традиційного ободу рушія. При здійсненні монтажу на обід шини та аварійної опори саме в її масиві, у відповідності до заданого чисельного рівня відносної деформації, виникає відповідне умовне напруження $\sigma(\varepsilon)$, що утримує конструкцію від зсуву. Протягом експлуатації наданий при монтажі рівень умовного напруження збігає відповідно до наданої при монтажу відносної деформації $Z(\varepsilon)$, од-

нак, згідно розрахункових умов, безумовно повинна виконуватись вимога: $\sigma_{гар.}(t_{зар.}) \geq 0,1$ МПа.

В означених межах варіювання ε розглянемо залежності $\sigma(\varepsilon)$ та $Z(\varepsilon)$ (рис. 4).



1 – Гума, 2 – ПА, 3 – ПЕ, 4 – ПП

Рис. 4 – Вплив показника відносна деформація на (а) коефіцієнт порівняння за показником умовне напруження при стисненні до гуми ($K_{\sigma(\varepsilon)}$), (б) коефіцієнт стабільності за показником умовне напруження при стисненні до $\varepsilon=2,5$ % ($K_{\sigma(\varepsilon)}$), (в) коефіцієнт порівняння за показником збіг напруження при стисненні до гуми ($K_{Z(\varepsilon)}$) та (г) коефіцієнт стабільності за показником збіг напруження при стисненні до $\varepsilon=2,5$ % ($K_{Z(\varepsilon)}$)

Порівняння до гуми за чисельним рівнем показника σ демонструє значне, за аналогією з показником E , перевищення та суттєвий вплив природи термопласту на залежності $\sigma(\varepsilon)$.

Спільний розгляд (рис. 4, а) коефіцієнта порівняння за показником умовне напруження від відносної деформації до гуми ($K_{\sigma(\varepsilon)}$) та (рис. 2, а) коефіцієнта порівняння за показником умовний модуль пружності від відносної деформації до гуми ($K_{E(\varepsilon)}$) дозволяє уникнути детального аналізу термопластів через те, що проява їх залежностей $\sigma(\varepsilon)$ та $E(\varepsilon)$ однакова.

Однак порівняння (рис. 4, б) за коефіцієнтом стабільності показника умовне напруження від відносної деформації за $\varepsilon = 2,5\%$ ($K_{\sigma(\varepsilon)}$) та рис. 2, б) за коефіцієнтом стабільності показника умовний модуль пружності від відносної деформації за $\varepsilon = 2,5\%$ ($K_{E(\varepsilon)}$) має не тільки протилежний характер, а й значну чисельну різницю. При відсутності принципової різниці у прояві залежностей $\sigma(\varepsilon)$ та $E(\varepsilon)$ полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження не можливо навіть означити з них найбільш стабільний, тобто чисельний рівень якого був би найбільш наближений до 1. Але їх чисельний рівень при малих значеннях показника $\varepsilon < 2,5\%$ є більш привабливими для залежності $\sigma(\varepsilon)$, тоді як при $\varepsilon > 2,5\%$ для $E(\varepsilon)$.

Порівняння з гумою за чисельним рівнем показника Z демонструє дуже значне, майже у двічі більше ніж у розглянутих вище випадках показників σ та E , перевищення для термопластів (ПА, ПЕ чи ПП). Таке перевищення слід розглядати як суттєвий недолік термопластичних полімерних матеріалів, який взагалі може негативно вплинути на прийняття рішення відносно доцільності їх використання в якості конструкційного матеріалу при створенні шинних виробів. З цього приводу особливої уваги потребує дослідження впливу на довготривалий опір саме природи термопластів.

Відповідно до (рис. 4, в) коефіцієнту порівняння за показником збіг напруження від відносної деформації до гуми ($K_{Z(\varepsilon)}$) термопласту ПЕ характеризується наявністю найвищого та найбільш стрімкого підвищення чисельного рівня залежності $Z(\varepsilon)$ в межах $\varepsilon = 0,5-7,5\%$. В означеному діапазоні варіювання показника ε найменший чисельний рівень показника Z відповідає матеріалу ПА, який, до того ж, майже, у порівнянні з іншими термопластами, не зростає. Для термопласту ПП має місце наявність проміжного характеру проявів залежності $Z(\varepsilon)$, чисельний рівень якої окреслено відповідними залежностями для матеріалів ПЕ та ПА. При цьому для матеріалу ПП слід відзначити, по відношенню до інших термопластів, особливість проявів залежності $Z(\varepsilon)$, яка полягає у найбільш стрімкому підвищенні її рівня в межах показника $\varepsilon < 2,5\%$ та найменшого приросту за умов показника $\varepsilon > 2,5\%$.

Проведення порівняння (рис. 4, г) за коефіцієнтом стабільності показника збіг напруження від відносної деформації за $\varepsilon = 2,5\%$ ($K_{E(\varepsilon)}$) дозволяє суттєво доповнити уявлення відносно характеру проявів залежності $Z(\varepsilon)$. При розгляді полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження принципових відмінностей не виявлено, однак звертає увагу можливість інтерпретації наданих даних наступним чином.

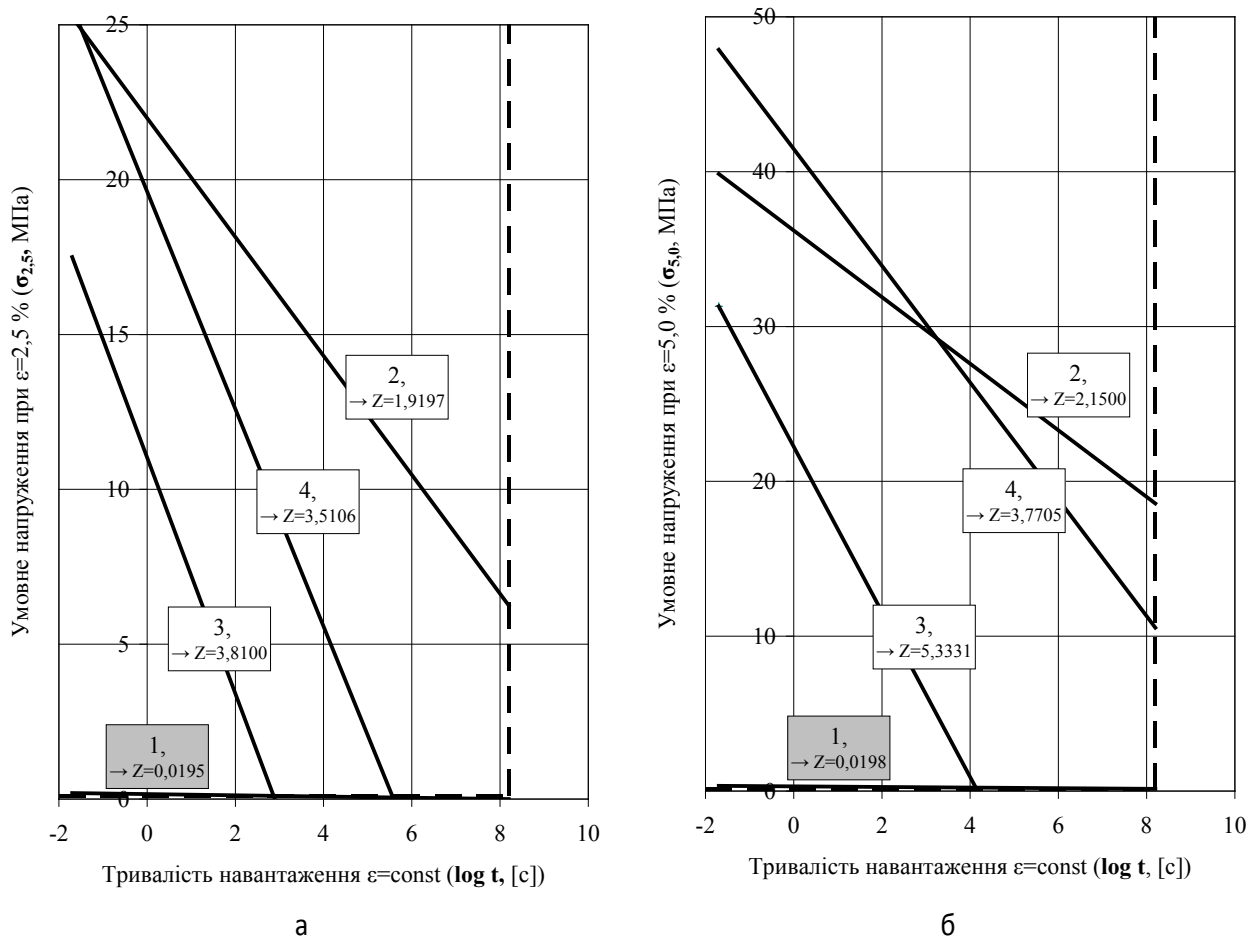
На підставі добре відомого положення відносно густини сітки полімерних матеріалів, серед яких за цим показником реактопласти значно перевищують термопласти, автори пропонують розглянути припущення відносно наявності відповідної пропорції з проявою залежності $Z(\varepsilon)$. Так, найбільш стабільний чисельний рівень має, тобто з найменшим відхиленням від 1, є реактопластичний полімерний

матеріал Гума (рис. 4, г, кр. 1), тоді як за зростанням відхилення залежності для термопластичних полімерних матеріалів розташовані:

- при $\varepsilon < 2,5\%$ відповідно ПА \rightarrow ПЕ \rightarrow ПП (рис. 4, г, кр. 2, кр. 3, кр. 4);
- при $\varepsilon > 2,5\%$ відповідно ПП \rightarrow ПА \rightarrow ПЕ (рис. 4, г, кр. 4, кр. 2, кр. 3).

Наведені експериментальні данні, на думку авторів, демонструють наявність цікавої для подальшого дослідження кореляції між характеристикою сітки та довготривалими властивостями термопластичних полімерних матеріалів.

Попередньо розглянуто окремі складові показники залежності $\sigma(\log t)$ у вигляді самостійних залежностей $\sigma(\varepsilon)$ та $Z(\varepsilon)$. Візуалізація їх сукупної дії (рис. 5) надає можливість означити в якості пріоритетного показник – Z , на підставі якого надається можливість для прогнозування відповідності обумовленим вимогам: $\sigma_{гар.}(t_{гар.}) \geq 0,1$ МПа.



1 – Гума, 2 – ПА, 3 – ПЕ, 4 – ПП

Рис. 5 – Вплив фіксованого показника відносна деформація (а) $\varepsilon=2,5\%$ та (б) $\varepsilon=5,0\%$ на показник збіг напруження (Z , відн. од.) при стисненні відносно прийнятної до експлуатація зона застосування, окресленої пунктирними лініями

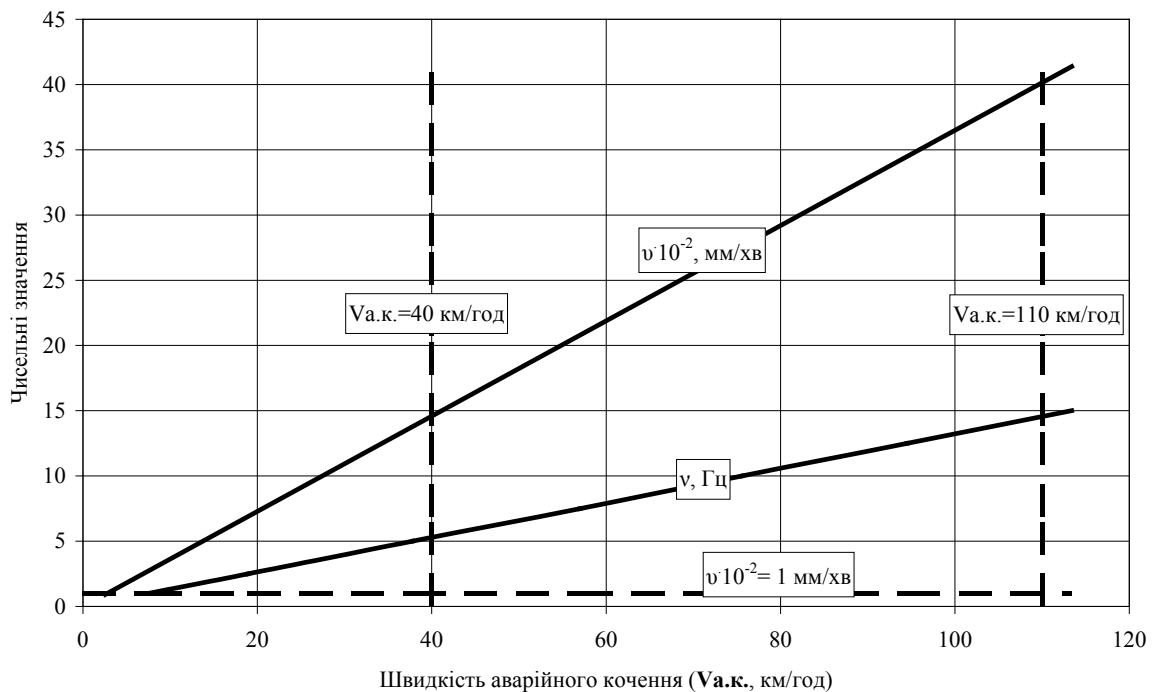
Чисельні данні демонструють значну залежність довготривалого опору від показника ε для будь-якого наведеного полімерного матеріалу, незалежно від природи його походження. Відповідно до зростання рівня показника ε збільшується рівень показників σ та Z , однак саме для останнього з них це збільшення найбільш суттєве та найбільш впливове.

Відносне порівняння полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження у відповідності до прояву залежності $\sigma(\log t)$ дозволяє скласти наступний пріоритетний ряд за довготривалим опором при стисненні в

умовах статичного навантаження тільки в обмеженій кількості: ПА, ПП та Гума. Тоді як ПЕ, у відповідності до результатів довготривалого дослідження, розглядати в якості конструкційного матеріалу недоцільно.

Дослідження матеріалів за статичних умов відтворює стан аварійної опори транспортного засобу за аварійних обставин при стоянці (зупинці), тоді як найбільш важливим є забезпечення можливості пересування. Розглянемо умови динамічного навантаження аварійної опори вантажного автомобіля (рис. 6), що передбачає забезпечення сполучення показників термін аварійного кочення і швидкість аварійного кочення ($t_{a.к.} = 1$ год. і $V_{a.к.} = 40$ км/год) та враховує теоретичну можливість досягнення рівня непошкодженої шини ($V_{a.к.} = 110$ км/год).

Динамічне навантаження полімерного масиву аварійної опори при стисненні передбачає циклічну зміну її геометричних параметрів в межах обумовленої кінематичної схеми безпечного колісного рушія у аварійному стані. За розрахунками, які виконано на підставі конструкційних властивостей полімерних матеріалів при статичному навантаженні, означено оптимальний рівень показника відносна деформація $\varepsilon = 2,5\%$. Вище наведено результати дослідження полімерних матеріалів при стисненні, здобуті при рівні показника швидкість навантаження $u = 100 \pm 2$ мм/хв., надано (рис. 6) у вигляді пунктирної лінії - швидкість навантаження при стисненні в статичних умовах ($u \cdot 10^{-2} = 1$ мм/хв.). За умов динамічного навантаження аварійної опори це відповідає чисельному рівню показників: швидкість аварійного кочення $V_{a.к.} < 10$ км/год. та частота навантаження $\nu \approx 1$ Гц.



пунктирна лінія – швидкість навантаження при стисненні в статичних умовах ($u \cdot 10^{-2} = 1$ мм/хв.), швидкість аварійного кочення при пошкодженій шині ($V_{a.к.} = 40$ км/год.) та швидкість аварійного кочення при непошкодженій шині ($V_{a.к.} = 110$ км/год.); звичайна лінія – частота навантаження (ν , Гц) та швидкість навантаження в динамічних умовах ($u \cdot 10^{-2}$, мм/хв.)

Рис. 6 – Динамічне навантаження безпечного колісного рушія у аварійному стані відносно показника швидкість аварійного кочення ($V_{a.к.}$, км/год.)

Підвищення чисельного рівня показника швидкість аварійного кочення $V_{a.к.} = 40$ км/год. або $V_{a.к.} = 110$ км/год. відповідає змінам рівня показників частота навантаження $\nu \approx 5$ Гц або $\nu \approx 15$ Гц та швидкість навантаження $u \cdot 10^{-2} \approx 14$ мм/хв. або $u \cdot 10^{-2} \approx 40$ мм/хв., що надано (рис. 6) як перетин відповідних пунктирних та су-

цільних ліній. Та за умов практичної експлуатації є маловірогідним набуття випадку тривалого пересування транспортного засобу у стані аварійного кочення з пошкодженим рушієм при $V_{а.к.} = 110$ км/год. До того ж, малоімовірною є навіть теоретична можливість миттєвого надання чисельного рівня показника швидкості кочення та дотримання фіксованим протягом доволі тривалого часу, навіть незалежно від стаціонарного або аварійного стану рушія транспортного засобу.

Однак, дотримуючись загальноприйнятих у шинній галузі вимог до оцінки придатності виробу до застосування, автори прийшли до висновку, що проводячи порівняльні дослідження впливу динамічного навантаження при стисненні полімерних матеріалів достатнім є створення наступного сполучення факторів впливу на дослідні зразки: форма – циліндр; співвідношення висота/діаметр – $h/d = 1,22 \pm 0,04$; відносна деформація – $\varepsilon = 2,5$ %; швидкість навантаження – $u = 100 \div 1400 \pm 2$ мм/хв. (еквівалент показників швидкості аварійного кочення $V_{а.к.} = 4 \div 40$ км/год. або частота навантаження – $\nu = 1 \div 5$ Гц); цикли навантаження за умов $\varepsilon = 2,5$ % та $\nu = 5$ Гц – $N = 1 \div 18\,000$ цикл. (еквівалент гарантованого сполучення показників термін аварійного кочення $t_{а.к.} = 1$ год. і швидкість аварійного кочення $V_{а.к.} = 40$ км/год.).

За спрощених умов, що обумовлені доцільністю проведення порівняльного дослідження при варіюванні тільки одного, за можливістю, фактору впливу, розглянемо окремо дві характерні моделі динамічного навантаження аварійної опори транспортного засобу з пошкодженою шиною безпечного колісного рушія - рух з місця при різній швидкості та рух протягом години при фіксованій швидкості.

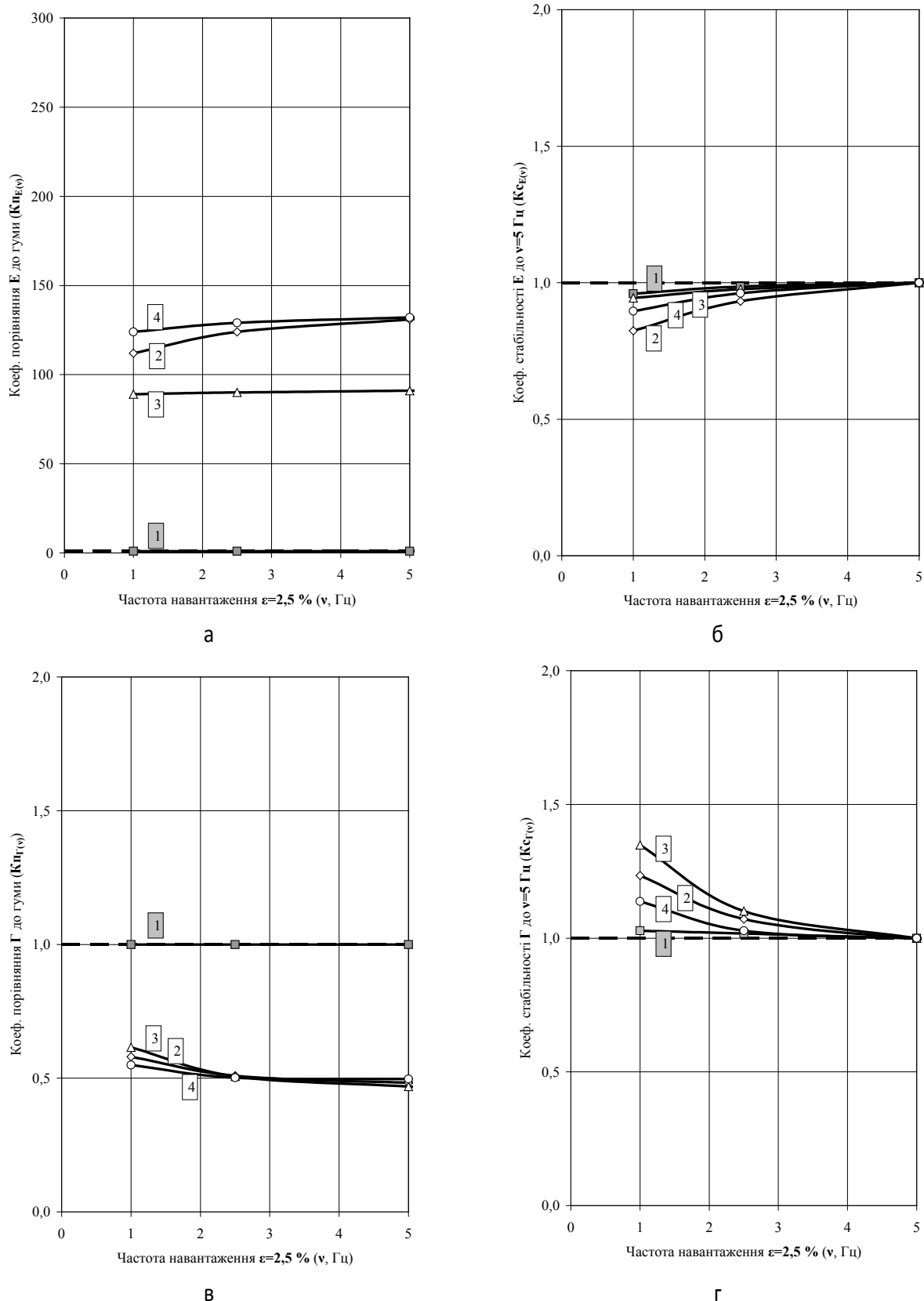
Динамічне навантаження згідно моделі рух з місця при різній швидкості передбачає надання умов (рис. 7): відносна деформація – $\varepsilon = 2,5$ %; частота навантаження – $\nu = 1 \div 5$ Гц.

За означеним сполученням характерних факторів впливу розглянемо залежність $E(\nu)$, яка надає уявлення відносно порівняння *пружно-жорстких властивостей*.

Порівняння з гумою за чисельним рівнем показника E демонструє значне перевищення для будь-якого з термопластів (ПА, ПЕ чи ПП) та при цьому демонструє прояву суттєвої залежності $E(\nu)$ характеру зміни та чисельного рівня від природи термопластичного полімеру.

Відносно (рис. 7, а) коефіцієнта порівняння за показником умовний модуль пружності від частоти навантаження до гуми ($K_{п_{E(\nu)}}$) для термопласту ПЕ майже не змінює залежність $E(\nu)$, залишаючись у межах $\nu = 1 \div 5$ Гц найнижчим чисельним рівнем показника E . Найвищий чисельний рівень показника E відповідає матеріалу ПП, який несуттєво збільшується при зростанні ν . В означених межах $\nu = 1 \div 5$ Гц більш суттєве зростання демонструє термопласт ПА, чисельне значення якого майже зрівнюється з ПП при $\nu = 5$ Гц.

Порівняння (рис. 7, б) за коефіцієнтом стабільності показника умовний модуль пружності від частоти навантаження $\nu = 5$ Гц ($K_{с_{E(\nu)}}$), наведене відносно прийнятного для експлуатації рівня показника ν , не дозволило виявити принципової різниці у прояві залежності $E(\nu)$ при розгляді полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження. Хоча за чисельним рівнем найбільш стабільним, тобто його рівень найбільш наближений до 1, усі термопласти суттєво поступаються матеріалу Гума, все ж таки серед розглянутих термопластичних матеріалів найбільш привабливим виглядає полімер ПЕ.



1 – Гума, 2 – ПА, 3 – ПЕ, 4 – ПП

Рис. 7 – Вплив показника частота навантаження на: (а) коефіцієнт порівняння за показником умовний модуль пружності при стисненні до гуми ($K_{E(v)}$); (б) коефіцієнт стабільності за показником умовний модуль пружності при стисненні до $\nu = 5$ Гц ($K_{E(v)}$); (в) коефіцієнт порівняння за показником гістерезис при стисненні до гуми ($K_{\Gamma(v)}$); (г) коефіцієнт стабільності за показником гістерезис при стисненні до $\nu=5$ Гц ($K_{\Gamma(v)}$)

Відносне порівняння полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження у відповідності до прояви залежності $E(v)$ дозволяє скласти наступний пріоритетний ряд за пружно-жорсткими властивостями при стисненні за динамічних умов навантаження $\varepsilon = 2,5\%$ та $v = 1 \div 5$ Гц: ПП, ПА, ПЕ та Гума.

Порівняння з гумою за чисельним рівнем показника Γ демонструє значне, майже вдвічі, зменшення для будь-якого з термопластів (ПА, ПЕ чи ПП), що надає можливості розглядати їх у якості доволі привабливих матеріалів для створення конструкцій безпечного колісного рушія з меншим поглинанням пального при експлуатації транспортного засобу у аварійному стані. При цьому не означено прояву суттєвої залежності $\Gamma(v)$ характеру зміни та чисельного рівня від природи термопластичного полімеру.

Відносно (рис. 7, в) коефіцієнта порівняння за показником гістерезис від частоти навантаження до гуми ($K_{\Gamma(v)}$) для термопластів майже не змінює залежність $\Gamma(v)$, залишаючись у межах $v = 1 \div 5$ Гц з найнижчим чисельним рівнем показника Γ . Найнижчий чисельний рівень показника Γ відповідає матеріалу ПП у більшій частині $v = 1 \div 5$ Гц, але після $v \approx 4$ Гц чисельний рівень показника Γ термопластів ПА та ПЕ стає трохи нижчим.

Порівняння (рис. 7, г) за коефіцієнтом стабільності показника гістерезис від частоти навантаження $v = 5$ Гц ($K_{\Gamma(v)}$), наведене відносно прийнятного для експлуатації рівня показника v , не дозволило виявити принципової різниці у прояві залежності $\Gamma(v)$ при розгляді полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження. Однак за чисельним рівнем найбільш стабільним серед термопластів, тобто найбільш наближеним до 1, є матеріал ПП.

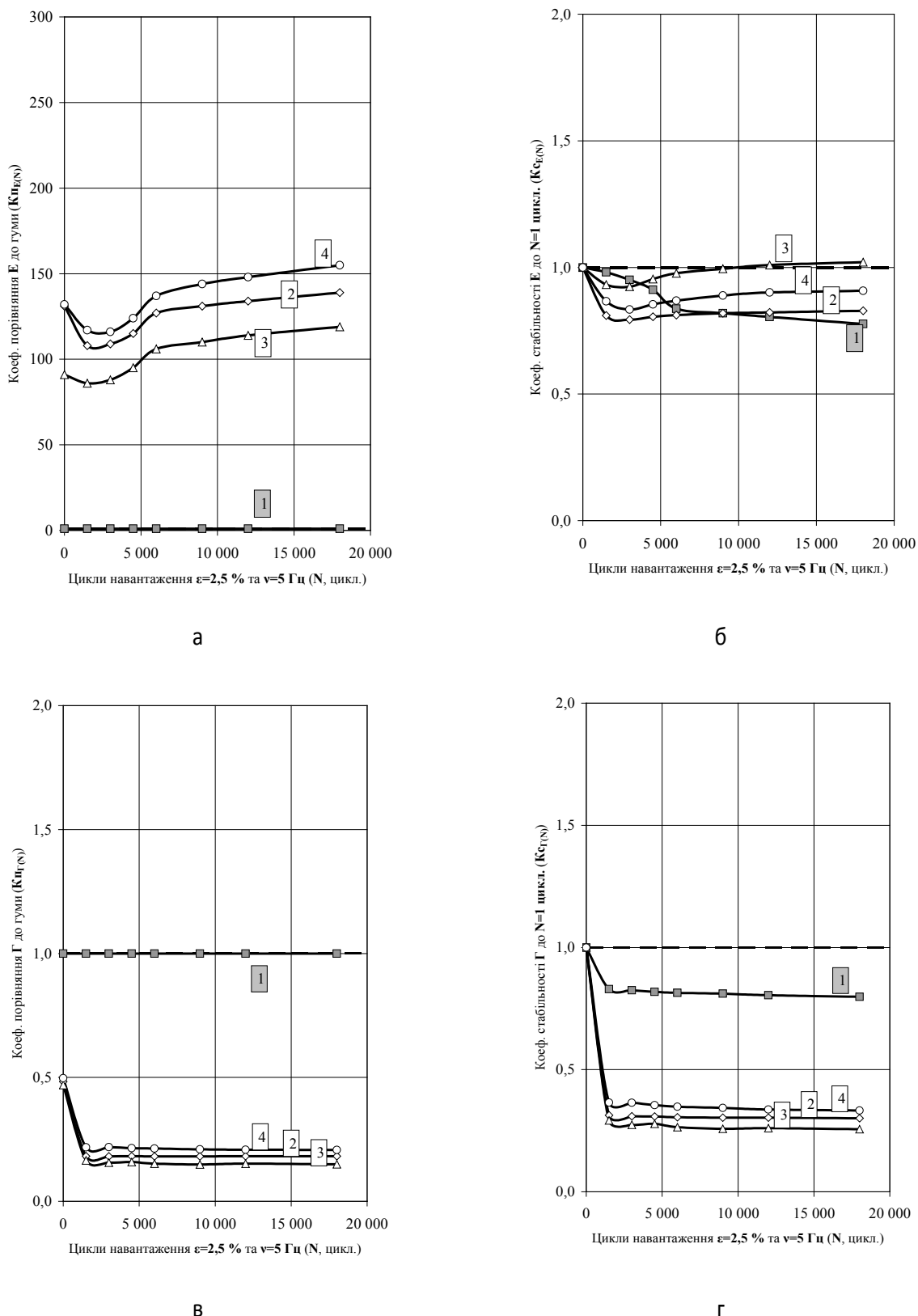
Порівняння полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження відповідно до залежності $\Gamma(v)$ демонструє наступний пріоритетний ряд за поглинаючою здатністю при динамічних умовах навантаження $\varepsilon = 2,5\%$ та $v = 1 \div 5$ Гц: Гума, ПП, ПА та ПЕ.

Динамічне навантаження згідно моделі рух протягом години при фіксованій швидкості передбачає надання умов (рис. 8): відносна деформація – $\varepsilon = 2,5\%$; частота навантаження – $v = 5$ Гц; цикли навантаження – $N = 1 \div 18\,000$ цикл.

За означеним сполученням характерних факторів впливу розглянемо залежність $E(N)$, яка надає уявлення щодо порівняння *поглинаючої здатності*.

Порівняння з гумою за чисельним рівнем показника E демонструє збереження значного його перевищення для будь-якого з термопластів (ПА, ПЕ чи ПП) при наявності характерної залежності $E(N)$ – початковий рівень стрімко знижується на перших циклах динамічного навантаження та поступово зростає, суттєво його перевищуючи. Як і при попередніх дослідженнях, залежність $E(N)$ за характером зміни та чисельним рівнем суттєво залежить від природи термопластичного полімеру.

Відносно (рис. 8, а) коефіцієнта порівняння за показником умовний модуль пружності від циклу навантаження до гуми ($K_{E(N)}$) для термопласту ПЕ найбільш суттєво, серед розглянутих термопластів, змінює залежність $E(N)$, хоча і залишається у межах $N = 1 \div 18\,000$ цикл. з найнижчим чисельним рівнем показника E . Найвищий чисельний рівень показника E при здійсненні $N = 1$ цикл, тобто початковий, майже однаковий для матеріалів ПА та ПП, який знижується та поступово зростає при збільшенні N . Однак серед наданих матеріалів зростання залежності $E(N)$ є більшим суттєвим для термопласту ПП.



1 – Гума, 2 – ПА, 3 – ПЕ, 4 – ПП

Рис. 8 – Вплив показника цикли навантаження на: (а) коефіцієнт порівняння за показником умовний модуль пружності при стисненні до гуми ($K_{E(N)}$); (б) коефіцієнт стабільності за показником умовний модуль пружності при стисненні $N = 1$ цикл ($K_{E(N)}$); (в) коефіцієнт порівняння за показником гістерезис при стисненні до гуми ($K_{\Gamma(N)}$); (г) коефіцієнт стабільності за показником гістерезис при стисненні до $N = 1$ цикл ($K_{\Gamma(N)}$)

Порівняння (рис. 8, б) за коефіцієнтом стабільності показника умовний модуль пружності від циклу навантаження $N = 1$ цикл ($K_{C_{E(N)}}$) дозволило виявити принципову різницю у прояві залежності $E(N)$ при розгляді полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження. Для реактопласту (Гума) характерною є тенденція до незворотного зниження чисельного рівня показника E при зростанні N , тоді як для термопластів зниження має зворотній характер. Звертає увагу, що, на відміну від вище розглянутих статичних залежностей, при динамічному навантаженні за чисельним рівнем найбільш стабільним, тобто його рівень найбільш наближений до 1, матеріал Гума суттєво поступаються усім розглянутим термопластам, однак серед них найбільш привабливим виглядає матеріал ПЕ.

Відносне порівняння полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження у відповідності до прояви залежності $E(N)$ дозволяє скласти наступний пріоритетний ряд за поглинаючою здатністю при стисненні за динамічних умов навантаження $\varepsilon = 2,5\%$, $\nu = 5$ Гц та $N = 1 \div 18\ 000$ цикл.: ПП, ПЕ, ПА та Гума.

Порівняння з гумою за чисельним рівнем показника Γ демонструє значне, більш ніж у двічі навіть до первинного, зменшення для будь-якого з термопластів (ПА, ПЕ чи ПП) протягом тривалого динамічного навантаження. При цьому означено прояву стійкої залежності $\Gamma(N)$ чисельного рівня від природи термопластичного полімеру.

Відносно (рис. 8, в) коефіцієнта порівняння за показником гістерезис від циклу навантаження до гуми ($K_{P_{E(N)}}$) для термопластів майже не змінює характер залежності $\Gamma(N)$, тоді як чисельний рівень показника Γ найнижчий відповідає матеріалу ПЕ та найвищий – ПП.

Порівняння (рис. 8, г) за коефіцієнтом стабільності показника гістерезис від циклу навантаження $N = 1$ цикл ($K_{C_{\Gamma(N)}}$) не дозволило виявити принципової різниці у прояві залежності $\Gamma(N)$ при розгляді полімерних матеріалів різного походження. Однак за чисельним рівнем найбільш стабільним полімерним матеріалом, тобто найбільш наближеним до 1, є Гума. Серед термопластів найбільш привабливим для подальшого дослідження виглядає ПП.

Порівняння полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження відповідно до залежності $\Gamma(N)$ складає наступний пріоритетний ряд за поглинаючою здатністю при динамічних умовах навантаження $\varepsilon = 2,5\%$ та $\nu = 5$ Гц та $N = 1 \div 18\ 000$ цикл.: Гума, ПП, ПА та ПЕ.

Вище наведені результати порівняльного дослідження полімерних матеріалів реактопластичного та термопластичного походження по відношенню до їх фізичних та конструкційних властивостей (табл. 1 та рис. 2 – рис. 8), які пропонується умовно оцінити за допомогою бальної системи на функціональну прийнятність (табл. 2), надаючи бали від 0 до 4 відповідно від неприйнятною до прийнятною можливості застосування.

Таким чином, як свідчить проведене порівняння фізичних та конструкційних властивостей полімерних матеріалів реактопластичного (Гума) та термопластичного (ПА, ПЕ та ПП) походження на реальному прикладі дослідження можливостей для створення аварійної опори безпечного колісного рушія вантажного транспортного засобу, неможливим є застосування для цього реактопластичного матеріалу Гума, тому як при загальних 13 балах недостатніми є його *пружно-жорсткі властивості*, та термопластичного матеріалу ПЕ, оскільки при загальних 14 балах недостатнім є його *довготривалий опір*. Доволі привабливим виглядає при 21 загальному балі термопластичний полімер ПА, однак доцільність його використання

обумовлена лише за умов підвищених вимог до температури переробки та/або опору релаксації напруження. Враховуючи наведене, подальші дослідження прийнятності для створення аварійної опори доцільно зосередити на термопластичному полімерному матеріалу ПП (28 загальних балів).

Таблиця 2 – Порівняння за фізичними та конструкційними властивостями термопластичних полімерних матеріалів до Гуми

Умови дослідження	Реактопласт	Термопласти		
	Гума	ПА	ПЕ	ПП
Фізичні властивості, функціональні бали				
Густина	2	1	3	4
Температура переробки	1	4	2	3
Прийнятність фізична, бали	3	5	5	7
Конструкційні властивості, функціональні бали				
Умовний модуль пружності при стисненні $\varepsilon=0,5\div 7,5\%$ та $u=100$ мм/хв.	0	3	2	4
Умовний модуль пружності при стисненні $\varepsilon=2,5\%$ та $\nu=1\div 5$ Гц	0	3	2	4
Умовний модуль пружності при стисненні $\varepsilon=2,5\%$, $\nu=5$ Гц, $N=1\div 18\ 000$ цикл.	0	2	3	4
Релаксація напруження при стисненні $\varepsilon=0,5\div 7,5\%$ та $u=100$ мм/хв.	2	4	0	3
Гістерезис при стисненні $\varepsilon=2,5\%$ та $\nu=1\div 5$ Гц	4	2	1	3
Гістерезис при стисненні $\varepsilon=2,5\%$, $\nu=5$ Гц та $N=1\div 18\ 000$ цикл.	4	2	1	3
Прийнятність конструкційна, бали	10	16	9	21
Загальна прийнятність, бали	13	21	14	28

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Крушевський, Б.В. Основные направления создания конструкций легковых безопасных шин [Текст] / Б.В. Крушевський, Г.В. Надеждин, Л.А. Богданов, И.С. Воеводина // Темат. обзор. Серия: Производство шин. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. – 28 с.
2. Науменко, О.П. Еластична шина колісного рушія та безпека руху транспортних засобів [Текст] / О.П. Науменко // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск. 2000. – №4. – С. 26-29.
3. Науменко, А.П. Материаловедческий подход к безопасной эксплуатации эластичной шины колёсного движителя [Текст] / А.П. Науменко, М.В. Бурмистр, П.И. Баштанник, М.А. Науменко // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск. 2007. – №5. – С. 149-155.
4. Вербас, В.В. Функциональная модель безопасной конструкции колёсного движителя с аварийной опорой [Текст] / В.В. Вербас, А.П. Науменко, М.В. Бурмистр, П.И. Баштанник, М.А. Науменко // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – №2. – С. 82-87.
5. Вербас, В.В. Материало-конструкционный подход к созданию аварийной опоры колёсного движителя [Текст] / В.В. Вербас, А.П. Науменко, М.В. Бурмистр, П.И. Баштанник, М.А. Науменко // Вопросы химии и химической технологии. – 2009. – №6. – С. 58-63.
6. Вербас, В.В. К формированию расчётно-экспериментальной модели безопасного колёсного движителя [Текст] / В.В. Вербас, А.П. Науменко, М.В. Бурмистр, П.И. Баштанник, М.А. Науменко // Вопросы химии и химической технологии. – 2010. – №3. – С. 89-94.
7. Науменко, М.О. Пошук композиційних полімерних матеріалів для аварійної опори колісного рушія [Текст] / М.О. Науменко, П.І. Баштанник, М.В. Бурмистр // I Міжнародна (III Всеукраїнська) конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології. – Київ, 2008. – С. 176.
8. Науменко, М.А. Модель аварійної опори безопасного колёсного движителя [Текст] / М.А. Науменко, П.И. Баштанник, М.В. Бурмистр // VII Международная научно-практ. конференция студ. и мол. учёных «TRANSMESH-ART-CHEM». – Москва, 2010. – С. 242-244.
9. Науменко, М.О. Моделювання умов навантаження при стисненні зразків полімерних композитів шинних виробів [Текст] / М.О. Науменко, П.І. Баштанник, М.В. Бурмистр, В.А. Шатов, О.Г. Чеботарь, В.Г. Макарова // Эластомеры: материалы, технология, оборудование, изделия / VIII Украинская с междунар. участием науч.-техн. конф. резинщиков.- Днепропетровск, 27.09-1.10.2010. – С.100-101.
10. Науменко, М.А. Влияние геометрического фактора на конструкционные свойства при сжатии полимерных композиционных материалов [Текст] / М.А. Науменко, П.И. Баштанник, М.В. Бурмистр, В.Г. Макарова // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – №1. – С. 66-70.