

*А. І. БОНДАРЕНКО*, канд.техн.наук, доц., НТУ «ХПІ», Харків

## АНАЛІЗ РЕЛЕЙНИХ СПОСОБІВ МОДУЛЯЦІЇ ТИСКУ В АНТИБЛОКУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

У роботі приведений аналіз релейних способів модуляції тиску в антиблокувальних системах: описано суть способу, характер зміни приводного тиску при релейному способі, обґрунтована теоретична можливість застосування для пневматичного гальмівного приводу, сформульовано рекомендації стосовно підвищення адаптивних властивостей релейних антиблокувальних систем.

**Ключові слова:** релейний спосіб модуляції тиску, антиблокувальна система, пневматичний гальмівний привід.

В работе приведен анализ релейных способов модуляции давления в антиблокировочных системах: описана суть способа, характер изменения приводного давления при релейном способе, обоснована теоретическая возможность применения для пневматического тормозного привода, сформулированы рекомендации относительно повышения адаптивных свойств релейных антиблокировочных систем.

**Ключевые слова:** релейный способ модуляции давления, антиблокировочная система, пневматический тормозной привод.

The analysis of relay methods of modulation pressure is resulted in the ABS: essence of method, character of change of drive pressure, is described at a relay method, theoretical possibility of application is grounded for a pneumatic brake drive, formulated recommendation in relation to the increase of adaptive properties of relay ABS.

**Keywords:** relay method of modulation of pressure, ABS, pneumatic brake drive.

### Вступ

Найбільш істотно впливає на якість регулювання процесу гальмування спосіб модуляції тиску в антиблокувальних системах (АБС). На даний момент такі всесвітньо відомі виробники АБС, як Knorr Bremse, Wabco, Bendix Commercial Vehicle Sys, AlliedSignal, Bosch використовують різні способи модуляції тиску: релейний, з керованою пульсацією, лінійний безперервний та ін. Це перш за все пов'язано з тим, що кожен зі способів має свої переваги та недоліки.

### Аналіз останніх досягнень і публікацій

З урахуванням тенденцій розвитку та обсягу застосування в роботі [1] виділено чотири групи способів модуляції: релейний, з керованою пульсацією, лінійний безперервний та нерелейний.

Лінійна безперервна модуляція тиску являється найбільш перспективною в зв'язку з високою адаптивною властивістю, зменшеною витратою робочого тіла, в той же час найменш поширеною по причині відсутності працездатної виконавчої частини АБС – модулятора тиску (МТ) [2].

Оптимальною з точки зору якості регулювання та адаптивних властивостей є дуальні адаптивні АБС з шіроотно-імпульсною модуляцією, єдиним недоліком

якої є підвищені витрати запасів стислого повітря на модуляцію тиску у виконавчих апаратах [1].

Нерелейний спосіб модуляції має досить суттєвий недолік: недостатню якість регулювання, що доведено в роботах [3, 4].

У роботах [1 – 4] відмічено, що зі всіх можливих способів модуляції тиску найбільш поширеними є релейний спосіб модуляції та багатофазний нерелейний (не зважаючи на його недоліки).

### **Мета та постановка задачі**

Метою даної роботи є визначення доцільності застосування релейного способу в сучасних АБС для автомобілів з пневматичним гальмівним приводом. Для цього необхідно розкрити суть способу, характер зміни приводного тиску при релейному способі, можливі витрати стислого повітря на модуляцію тиску, а також вплив на якість регулювання.

### **Аналіз релейних способів модуляції тиску в антиблокувальних системах**

Релейні способи можна розділити на дві великі групи: релейні циклічні та багатофазові нециклічні.

Релейний циклічний спосіб має на увазі циклічну зміну фаз підвищення, зниження при можливості фіксації тиску на певному рівні [2, 4, 5, 6, 7]. Перемикання фаз стараються організувати так, щоб фазова крива охоплювала крапку максимуму залежності  $\varphi_x = f(S)$  [2 – 5, 7].

Низька перешкодостійкість алгоритмів, що використовують циклічний спосіб модуляції, зумовила пошуки інших, більш перешкодостійких груп алгоритмів. До таких алгоритмів належить група, що реалізує багатофазовий нециклічний спосіб модуляції [4, 5, 7].

При багатофазовій нециклічній модуляції основна частина часу гальмування відбувається при повільному підвищенні та зниженні тиску при заздалегідь не передбаченій і не обумовленій алгоритмом черговості змін фаз і кількості крапок перемикання між двома найближчими.

Релейні алгоритми відрізняються один від одного вибором моментів подачі сигналів на розгальмування, гальмування, фіксацію, коригування темпу зміни тиску. Все це відображається на характері зміни тиску у виконавчій частині гальмівного приводу та, як наслідок, на динамічному стані загальмовуваного колеса.

Всі релейні способи модуляції, що використовуються в пневматичному гальмівному приводі, можна розділити на три основні групи [2, 4, 5, 7]:

1) двофазна модуляція, що полягає в періодичному підвищенні та пониженні тиску в приводі шляхом поперемикального підключення гальмівної камери (ГК) до джерела тиску та атмосфери;

2) трифазна модуляція, що відрізняється від двофазової наявністю фази фіксації тиску (або фази із зменшеним темпом зміни тиску) між фазами зниження і підвищення або між фазами підвищення і зниження тиску;

3) багатофазна модуляція, при якій здійснюється ступінчасте підвищення та зниження тиску з коректуванням або без коректування темпу зміни тиску у фазах його зниження і підвищення.

Графічні залежності, що наведені на рис. 1, 2 відображують зміну тиску  $P$  в часі  $t$ . При цьому загальний вигляд цих графіків притаманний як релейному циклічному способу зміни тиску, так і, в окремому випадку (рис. 2), багатофазовому нециклічному. Характерними крапками на графіку (рис. 1) є точки зміни фаз:  $a$  – початок фази зниження тиску;  $b$  – початок фази підвищення тиску (прийняті на рис. 1 позначення точок зміни фаз застосовуються і для аналізу подальших способів). На рис. 1 і подальших  $T$  – час одного циклу спрацьовування АБС.

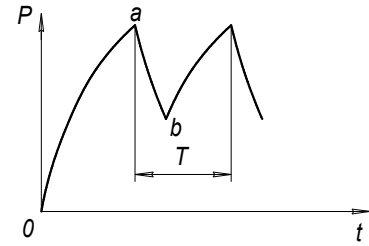


Рис. 1. Характер зміни тиску в гальмівному приводі при двофазній модуляції

При релейному способі модуляції тиску двофазна модуляція в сучасних АБС практично не застосовується в зв'язку з підвищеною витратою робочого тіла (надто велика амплітуда пульсацій), та низькою адаптивною здатністю.

Прагнення до усунення недоліків АБС з двофазною модуляцією тиску визначив створення АБС з трифазною модуляцією (рис. 2) [2, 4, 5].

Трифазна модуляція (рис. 2) відзначається циклічним чергуванням стрімкого зниження, підвищення тиску та відсічення, причому фаза відсічення (рис. 2, а, б), повільного зниження (рис. 2, в, г) або повільного підвищення тиску (рис. 2, д, е) може слідувати як за фазою швидкого зниження (рис. 2, а, в, д), так і за фазою швидкого підвищення (рис. 2, б, г, е). Наявність третьої фази знижує амплітуду пульсацій тиску і збільшує тривалість циклу  $T$  [2, 4]. Характерними точками третьої фази є:  $c$  – початок фази фіксації тиску після фази зниження;  $d$  – початок фази фіксації тиску після фази підвищення;  $e$  – точка переходу від швидкого до повільного підвищення тиску;  $f$  – точка переходу від швидкого до повільного зниження тиску;  $g$  – точка переходу від повільного зниження тиску до швидкого;  $h$  – точка переходу від повільного підвищення тиску до швидкого.

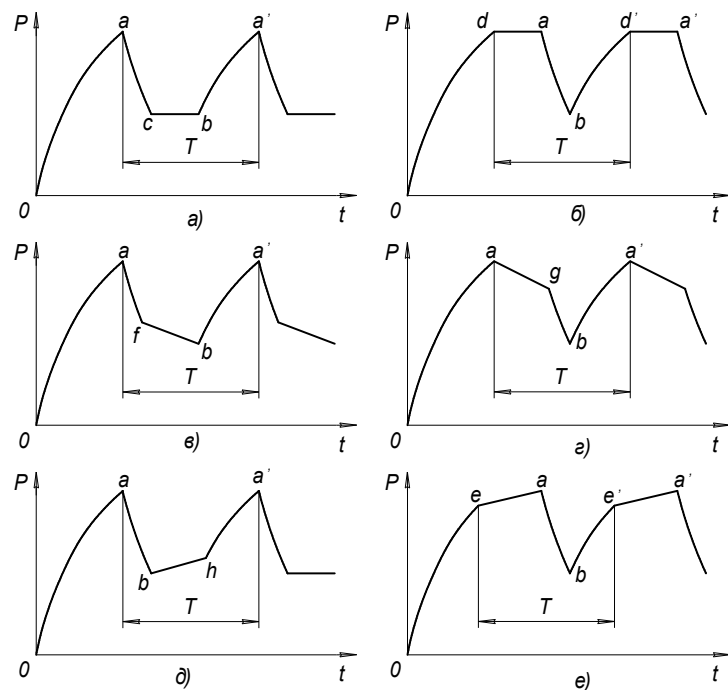


Рис. 2. Характер зміни тиску в гальмівному приводі при трифазній модуляції [4]

Для реалізації комбінації фаз зміни тиску: стрімке підвищення, стрімке пониження та фіксація тиску (рис. 2 а) достатньо двох двопозиційних електропневматичних клапанів (рис. 3) [4]: нормально відкритого впускного  $K_1$  і

нормально закритого випускного  $K_2$ . При відсутності напруги, що керує, на котушках клапанів реалізується фаза швидкого підвищення тиску, при наявності напруги на електромагнітному клапані  $K_2$  – фаза відсічення, при наявності напруги на обох клапанах – фаза швидкого зниження тиску.

Прагнення до зниження часу спрацювання гальмівної системи зумовило розробку релейних модуляторів на базі клапана прискореної дії (КПД). Схема МТ, що здійснює чергування фаз: швидке підвищення, швидке зниження, повільне зниження тиску (рис. 2, в) показана на рис. 4 [8].

Відмінність модулятора на базі КПД від розглянутих вище модуляторів прямої дії полягає в наявності підсилювача по витраті. Це дозволяє зменшити витрату повітря через клапани 1 і 2, що управляють, (рис. 4) і, як наслідок, зменшити прохідні перетини цих клапанів, маси їх рухомих елементів та потужність електромагнітів. Клапани 1 і 2 в такому модуляторі регулюють тиск в порожнині 5 КПД, коректуючи тиск в ГК [8].

На рис. 5 – 6 [6] наведено схеми МТ на базі КПД різних виробників, що реалізують зміну фаз: швидке підвищення, швидке зниження, фіксація тиску, але в різних послідовностях. На рис. 6 стрілками вказано напрямок руху стислого повітря.

Конструктивні схеми МТ, що наведені на рис. 5 – 6 принципово не відрізняються одна від одної. Такі МТ знайшли застосування на причепах та напівпричепах іноземного

виробництва, де стандартна гальмівна система причепа часто містить релейні клапани, які можуть бути замінені релейними клапанами АБС. Аналіз релейних способів, а також

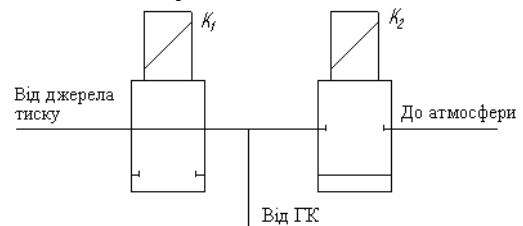


Рис. 3. Принципова схеми релейного трифазного МТ [7]

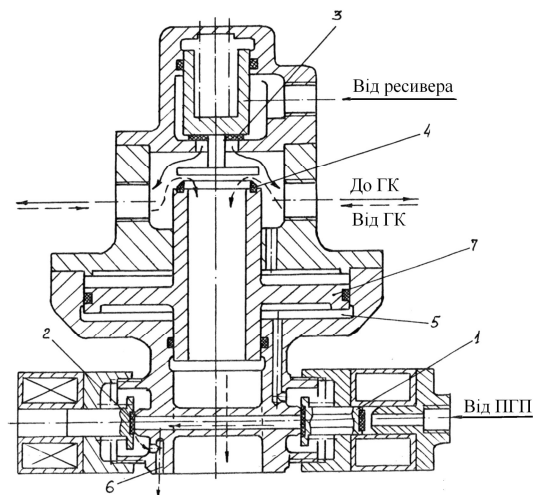


Рис. 4. Трифазний релейний МТ на базі КПД [8]: 1, 2 – клапани, що управляють; 3, 4 – клапани КПД; 5 – порожнина, що управляє; 6 – отвір, що дроселює; 7 – поршень.

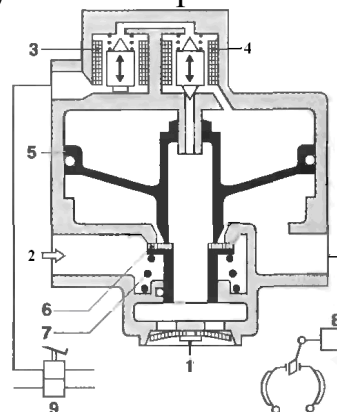


Рис. 5. Трифазний релейний МТ на базі КПД фірми Bosch [6]: 1 – випуск в атмосферу; 2 – подача повітря; 3 – клапан підтримки тиску; 4 – клапан зменшення тиску; 5 – поршень, що управляє; 6 – клапан; 7 – пружина; 8 – ГК; 9 – пневматичний гальмівний кран.

конструкцій МТ, що реалізують їх, свідчить про те, що доцільніше використовувати в АБС з релейним способом модуляції тиску клапани прямої дії, єдиний недолік яких полягає в порівняно великих витратах електроенергії на керування.

Результати випробувань підтвердили, що АБС з трифазною модуляцією в значній мірі властиві недоліки двохфазової АБС. Введення третьої фази не може внести помітного поліпшення в роботу релейної АБС навіть на автомобілях з добрими характеристиками гальмівної системи, хоча деякий прогрес спостерігається в економії робочого тіла і в підвищенні якості регулювання. Проте, такі АБС не в змозі забезпечити прийнятної якості регулювання [2, 4 – 6].

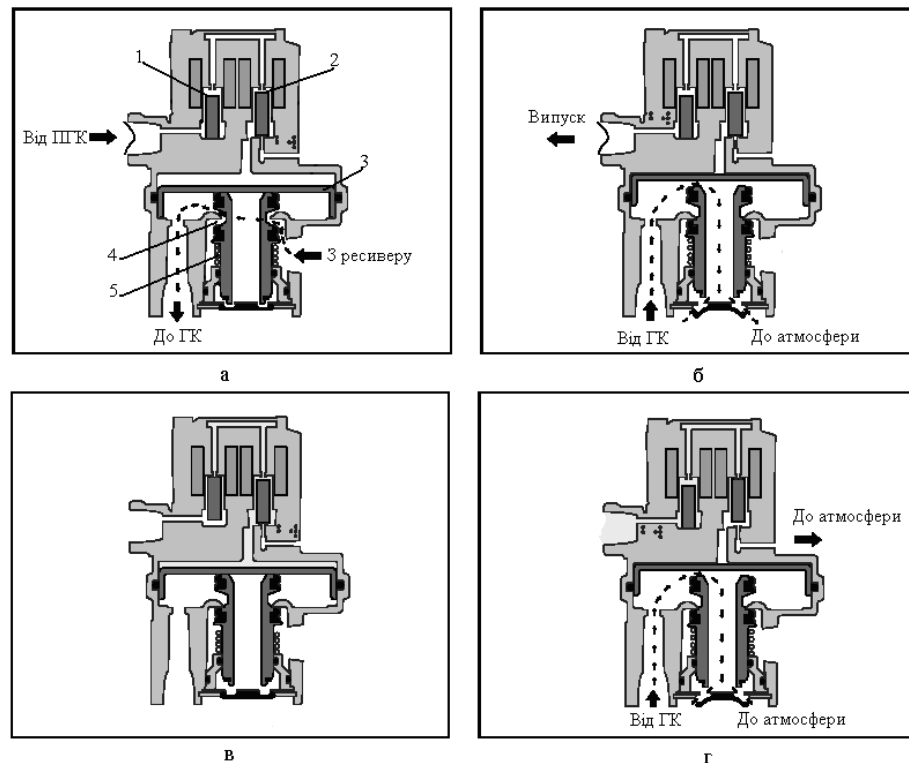


Рис. 6. Трифазний релейний МТ на базі КПД фірми Bendix [9]: а – підвищення тиску в ГК (службове гальмування, АБС відключено); б – зниження тиску (АБС відключено); в – фіксація тиску (АБС включено); г – зниження тиску (АБС включено; 1 – клапан підтримки тиску; 2 – клапан зменшення тиску; 3 – поршень, що управляє; 4 – клапан; 5 – пружина.

Наступним кроком на шляху вдосконалення АБС стала розробка систем з багатофазною модуляцією тиску [2, 4].

Для чотирьохфазної модуляції (рис. 7) характерне розділення фаз швидкого підвищення і зниження тиску фазами повільної зміни тиску або відсічення. Введення четвертої фази ще більш знижує амплітуду пульсацій тиску і збільшує тривалість циклу. Збільшенням числа характерних ділянок зміни тиску в приводі з двох до чотирьох можна зменшити зайве підвищення і подальше зниження тиску. Завдяки цьому зменшується амплітуда пульсації тиску, витрата робочого тіла, підвищується плавність ходу автотранспортних засобів при екстремому гальмуванні [4].

Подальше збільшення кількості фаз (рис. 8) дозволяє оптимізувати процес гальмування з АБС [4, 5, 7].

Тривалість фази зниження тиску у більшості АБС при гальмуванні підтримують автоматично в залежності від умов навантаження та зчеплення. У ряді АБС передбачають зниження тиску на певну наперед задану величину  $\Delta P_1$  (рис. 8), яка в процесі гальмування, може бути як постійною, так і змінною, залежно від характеру протікання процесу регулювання [4, 5, 7].

Час витримки тиску в приводі на певному рівні в більшості випадків заздалегідь не відомий, він визначається умовами процесу гальмування. Іноді його задають постійним з метою обмеження максимальної тривалості [4,5,7].

У більшості АБС тривалість підвищення тиску підтримують автоматично до досягнення контрольованим параметром порогової величини. У ряді систем при повторних загальмовуваннях тиск підвищують спочатку на певну величину  $\Delta P_2$  (рис. 8), після виконується послідовність фаз, відповідна алгоритму [4].

Прохідні перетини каналів в МТ найчастіше виконують постійними і рідше передбачають ступінчасте або плавне їх регулювання, залежно від дорожніх умов і ходу підвіски під дією статичного навантаження, початкового тиску робочого циклу, швидкості обертання колеса і т.п. У разі регульованих перетинів меншу інтенсивність розгальмування забезпечують на сухих дорогах і вищу – на слизьких. Швидкість наростання тиску вищу встановлюють для повністю навантаженого автомобіля і меншу – для порожнього. Передбачають також плавне збільшення інтенсивності зниження тиску в приводі зі зменшенням швидкості автомобіля в процесі гальмування. Іноді інтенсивності наростання та зниження тиску роблять залежними одну від одної [3, 7].

### Висновки

Релейні АБС для автомобілів з пневматичним гальмівним приводом не в змозі забезпечити прийнятну якість регулювання із-за низьких адаптивних властивостей та недосконалості їх виконавчої частини.

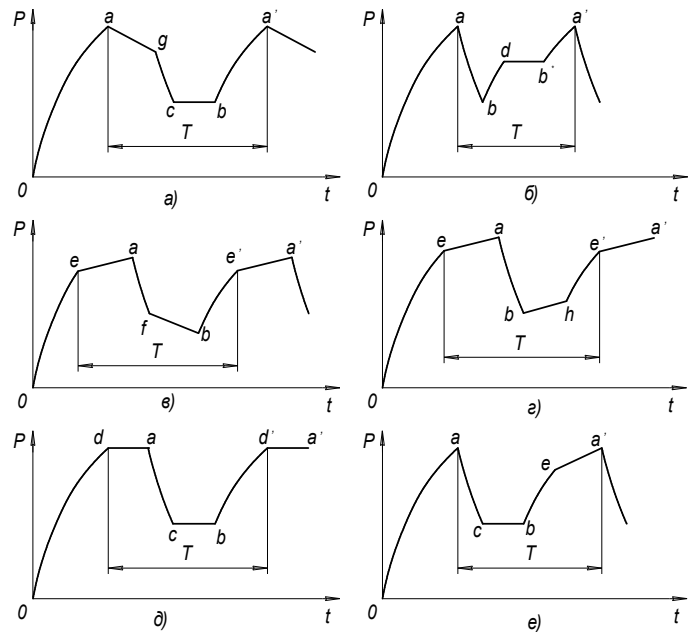


Рис. 7. Характер зміни тиску в гальмівному при воді причотирьохфазній модуляції

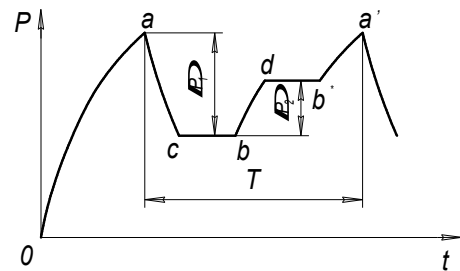


Рис. 8. Характер зміни тиску в гальмівному приводі при п'ятифазній модуляції

Основним шляхом підвищення адаптивних властивостей релейних АБС є зменшення тривалості фаз регулювання або збільшення їх числа. Саме з цим пов'язане застосування багатofазних АБС, що дозволяють істотно наблизити величину гальмівного моменту, що підводиться до колеса, до моменту по зчепленню і тим самим поліпшити якість регулювання. Проте, при цьому виконавча частина АБС суттєво ускладнюється.

**Список літератури:** 1. *Бондаренко А.І.* Удосконалення процесів модуляції тиску в пневматичному гальмівному приводі автомобілів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 “Автомобілі та трактори” / Бондаренко Анатолій Ігорович. – Харьков, 2010. – 203с. 2. *Северин А.А.* Совершенствование исполнительной части антиблокировочной системы автомобилей с пневматическим тормозным приводом: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / Северин Александр Александрович. – Харьков, 1985. – 217с. 3. *Ахметшин А.М.* Адаптивная антиблокировочная тормозная система колесных машин: дис. на соискание уч. степени доктора техн. наук: спец. 05.05.03 “Колесные и гусеничные машины” / Ахметшин Альберт Махмутович. – М, 2003. – 255 с. 4. *Ломака С.И.* Автоматизация процесса торможения автомобиля: учебн. пособ. [для студентов специальности “Автомобили и автомобильное хозяйство”] / Ломака С.И., Алекса Н.Н., Гецович Е.М. – Киев УМК ВО, 1988. – 88 с. 5. *Бондаренко А.І.* Вибір способу модуляції тиску в пневматичному гальмівному приводі / А.І. Бондаренко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – 2008. – Т. 1, № 75.– С. 360 –365. 6. *Bosch.* Автомобильный справочник / [пер. с английского Г.С. Дугин, Е.И. Комаров, Ю.В. Онуфрийчук – 2-е изд.]. – М.: ЗАО “КЖИ “За рулем”, 2004. – 992 с. 7. *Гецович Е.М.* Классификация алгоритмов функционирования АБС/ Е.М. Гецович // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 11. – 4 с. 8. А.с. 1094777 СССР, МКИ В 60 Т 8/06. Модулятор давления в пневматическом тормозном приводе / Н.Н. Алекса, Е.М. Гецович (СССР). – №3555467/27-11; заявл. 21.02.83; опубл. 30.05.84, Бюл. № 20. 9. *Bendix A-18 trailer ABS (Gen 4 and Gen 5 ABS).* – Elyria: Bendix Commercial Vehicle Systems, 2004. – 40 с.

*Поступила в редколлегию 12.11.2011*

**УДК 621.9 – 621.98**

***И.А. ДУДНИКОВ***, канд.техн.наук, доц., ПГАА., Полтава

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗНАШИВАНИЯ**

Изложены причины износа поверхностей деталей машин и приводится классификация процессов изнашивания.

**Ключевые слова:** классификация изнашивания, макрогеометрия поверхностей, интенсивность изнашивания, вибрационное деформирование.

Викладені причини зносу поверхонь деталей машин і приводиться класифікація процесів зношування.

**Ключові слова:** класифікація зношування, макрогеометрія поверхонь, інтенсивність зношування, вібраційне деформування.

Set out the reasons for wearing surfaces of machine parts and a classification of the wear.

**Keywords:** classification wear macrogeometry surface, the wear, vibration, warping.

### **Введение**

В процессе эксплуатации машин на ее сборочные единицы и детали действуют различные факторы, которые приводят к ухудшению функциональных