

ОПТИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Шапошніков Б.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Токін О.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Кошелєв В.Г., Національний транспортний університет, Київ, Україна

Мельник О.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна

OPTICAL MEASUREMENTS ARE IN AUTONOTIVE INDUSTRY

Dmytrychenko M.F., Ph.D., Engineering (Dr), National Transport University, Kyiv, Ukraine

Shaposhnikov B.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Tokin O.P., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Koshelev V.G., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Melnyk O.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Дмитриченко М.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Шапошников Б.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Токин А.П., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Кошелєв В.Г., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Мельник О.В., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка проблеми.

В автомобілебудуванні застосовують найрізноманітніші прилади, які забезпечують спостереження, вимірювання, контроль, реєстрацію, керування та багато інших операцій. Серед них значне місце займають оптико-механічні прилади.

Успішне та зростаюче використання оптичних приладів зв'язано з широким застосуванням об'єктивних приймачів випромінювання, лазерів, голографії, оптичної інтерферометрії, швидкісної кінозйомки.

Експлуатація оптичних приладів, які використовуються в автомобілебудуванні, їх вдосконалення, а також створення нових приладів можливі тільки при доброму знайомстві спеціалістів з основами фізичної та геометричної оптики, з сучасними конструкціями приладів. Лише при цих умовах вони можуть обґрунтувати технічні вимоги, які пред'являються до цих приладів.

Методи вимірювання.

Аналіз існуючих сучасних безконтактних оптичних методів вимірювання та точності, які можуть бути досягнуті при використанні визначених методів показує доцільність їх використання в автомобілебудуванні.

Точність вимірювання в значній мірі залежить від властивостей ока спостерігача та оптичного приладу, що застосовується для наведення (візурування) на об'єкт, який контролюється або для відліку.

Основними властивостями ока та оптичного приладу є роздільна здатність (роздільна сила), яка обмежена сферичною аберацією та дифракцією світла, та «номінальна» гострота зору, яка залежить від форми та контрасту об'єкта, вигляду сітки ниток та інших факторів.

Роздільна здатність безаберацийної оптичної системи зорової труби або ока визначається в кутовій мірі за формулою:

$$\psi'' = \frac{120''}{D},$$

де D – діаметр вхідної зіниці оптичної системи або зіниці ока, мм.

Для нормального ока діаметр зіниці приймається рівним 2 мм і роздільна здатність $\psi'' = 60'' = 1'$.

Роздільна здатність приладу:

$$d = \frac{\lambda}{2A} \text{ мкм,}$$

де λ – довжина хвилі, мкм;

A – числова апертура.

Наведення оптичного приладу – зорової трубки або мікроскопа – на об'єкт зводиться до поздовжньої та поперечної установки, т.б. до переміщення всього приладу або його відлікового пристрою вздовж та перпендикулярно оптичній осі.

Поздовжнє переміщення (фокусування приладу) забезпечує чітке зображення об'єкта в площині сітки окуляра.

Точність фокусування залежить від дифракційного зображення точки вздовж осі оптичної системи та визначається за формулою:

$$df \approx \frac{\lambda}{3A^2}.$$

Крім того, точність фокусування знижується із-за появи паралакса – неспівпадіння площини зображення об'єкта з площиною сітки ниток окуляра та неточного суміщення сітки ниток з фокусом окуляра при юстуванні.

Виявити паралакс можна зміщенням ока вправо та вліво або вгору та вниз в межах зіниці приладу. Допустимий паралакс, який непомітний для рухомого ока, можна знайти за наближеною формулою:

$$\Delta f = \frac{2f_2^2 \psi_o}{D'3438},$$

де f_2' – фокусна відстань окуляра;

ψ_o – роздільна здатність ока, рівна $1'$;

D' – діаметр вихідної зіниці приладу.

Оптична голографічна інтерферометрія.

Суттєвим досягненням лазерної голографії є розробка методів голографічної інтерферометрії, в основі якої лежить властивість голограм точно відтворювати записані на них хвильові поля. При освітленні відновленої голограмою об'єктної хвилі з хвильовим полем випромінювання, безпосередньо розсіяного об'єктом, стає можливим спостерігати картину інтерференції цих хвиль. Якщо хвильове поле зазнає змін у порівнянні з записаним на голограмі, то на тривимірному зображенні об'єкта з'являються інтерференційні смуги, які відповідають цим змінам. Цей метод отримав назву голографічної інтерферометрії в реальному масштабі часу.

Можливість спостереження на тривимірному зображенні об'єкта інтерференційної картини, яка обумовлена малими змінами, відкриває широкі перспективи використання голограм в задачах неруйнівного контролю. Найбільш розповсюдженим із голографічних методів, що застосовуються з даною метою, заснований на тому, що при навантаженні об'єкта області, які містять дефекти, мають деформації, що відрізняються від деформацій останніх його частин. Ця відмінність проявляється у вигляді характерних згинів або концентрацій інтерференційних смуг, які спостерігаються на фоні регулярної інтерференційної картини, що обумовлена загальною зміною форми об'єкта. Даний метод в теперішній час знаходить застосування для якісної оцінки локальних дефектів різноманітних виробів, оскільки дозволяє шляхом візуального спостереження зображення об'єкта досить легко та швидко виявити наявність дефектів на поверхні та всередині об'єкта, наприклад, автомобільних шин при роботі на конвеєрі (рис. 1), а також визначити їх розташування.

Кількісний аналіз регулярної інтерференційної картини також представляє значний інтерес, так як дає можливість при відомому розташуванні навантажуючих зусиль визначити фізико-механічні параметри матеріалів, з яких виготовлені об'єкти, а також характер внутрішніх напруг. При вивченні коливальних об'єктів розподіл смуг на поверхні об'єкта дозволяє визначити його резонансні частоти і розподіл амплітуд коливань.

Принциповими перевагами голографічних методів неруйнівного контролю в порівнянні з іншими методами є практично повна відсутність вимог до поверхні об'єкта і до фізичних

властивостей матеріалу, з якого він виготовлений, а також можливість одночасного контролю значних (більше одного квадратного метра) площ поверхні об'єкта, що контролюється.

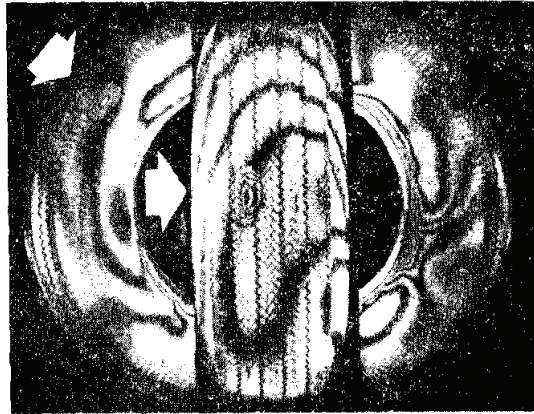


Рисунок 1 – Інтерферограма автомобільної шини, що була отримана при її виготовленні на конвеєрі. Виявлені дефекти позначені стрілкою

Методи і прилади вимірювання довжин та кутів.

Більшість вимірювань, що застосовуються при контролюванні виробів, можна віднести до лінійних та кутових, які здійснюються на різних приладах: механічних, пневматичних, електричних та оптичних.

При вимірюванні довжин на вимірювальних мікроскопах, компараторах та довгомірах суттєве значення має дотримання принципу компаратора (Аббе), яке полягає в тому, що осі об'єкта, який контролюється, та зразкова шкала приладу повинні бути на одній прямій (складати продовження одна одної) або ж бути паралельними.

Вимірювальні мікроскопи.

За конструкцією та призначенням усі мікроскопи можна поділити на дві групи. Мікроскопи першої групи мають відлікову шкалу, яка встановлена в полі зору окулярів, їх використовують для вимірювання об'єктів малих розмірів, зображення яких вкладаються в даному полі. До другої групи відносять мікроскопи, вимірювання на яких проводять переміщенням предметного столика з об'єктом при нерухомому положенні мікроскопа або переміщенням мікроскопа при нерухомому об'єкті на предметному столику. В тому та іншому випадках спостерігач наводить сітку окуляра на зображення вибраних відміток на об'єкті. За числом координат об'єкта, що вимірюється, мікроскопи другої групи можна розбити ще на три підгрупи: однокоординатні, двокоординатні (малі та великі інструментальні) та трикоординатні (універсальні).

Універсальність мікроскопів характеризується не тільки можливістю вимірювання об'єкта по трьом координатам, але і додатковими пристосуваннями, які дозволяють перевіряти різні за формою та розмірами вироби. Всі інструментальні та універсальні мікроскопи та однокоординатний мікроскоп мають тільки рухомі предметні столики.

Основні технічні характеристики приладів:

межа вимірювання довжин, мм:	
в поздовжньому напрямку.....	0-500
в поперечному напрямку.....	0-200
межа вимірювання кутів, градуси.....	0-360
ціна поділки:	
відлікового пристрою, мм.....	0,001
шкали кутомірної головки, хв.....	1'

Інструментальні мікроскопи малі та великі призначені для вимірювання не тільки лінійних, але і кутових розмірів об'єктів в прямокутних та полярних координатах, а також для вимірювання профілів зовнішньої різі, кутів шаблонів, елементів зубчастих передач, конусів та інших.

При контролюванні лінійних розмірів на великих інструментальних мікроскопах вимагається правильна установка об'єкта на круглому столі. Відлік за шкалами барабанів проводять з точністю 0,005 мм.

При вимірюванні кутових розмірів проводять центровку круглого столу шляхом суміщення центра його обертання з початком координат – точкою перетину хреста ниток окулярної кутомірної головки. Вершина кута, що вимірюється, повинна бути в центрі хреста ниток, зображення однієї зі

сторін кута суміщають зі штриховою лінією сітки і відлік проводять за кутомірною шкалою стола мікроскопа. Потім суміщують іншу сторону кута вироб з цією ж штриховою лінією сітки і проводять другий відлік за шкалою столу. Різниця відліків складає величину кута, який вимірюється.

Компаратори.

Компаратори призначені для порівняння і контролю лінійних розмірів зі зразковою шкалою. Розрізняють компаратори горизонтальні, стереоскопічні та інтерференційні. Останні мають найбільш високу точність, їх застосовують для абсолютних вимірювань кінцевих мір. Горизонтальний компаратор має два мікроскопи – візирний та відліковий. Перший слугує для установки об'єкта та наведення на вибрані відмітки, другий – для відліку за зразковою шкалою. Обидва мікроскопи закріплені на нерухомій траверсі, а переміщається предметний столик, який несе зразкову шкалу та об'єкт, який контролюється.

Технічні характеристики:

межа вимірювання, мм.....	0-200
ціна поділки зразкової шкали, мм.....	1
ціна поділки відлікового пристрою, мм.....	0,001
точність відліку, мм.....	0,0001

Збільшення візирного мікроскопу 7-10,5[×] та відлікового – 61,5[×], поле зору відповідно 12 та 2,3 мм, числова апертура 0,05-0,04 і у відлікового 0,15. Гранична похибка вимірювання

$\pm \left(0,9 + \frac{L}{300 + 4h} \right)$ мкм, де L – довжина, яка вимірюється, мм; h – висота площини об'єкта, що вимірюється над площиною зразкової шкали.

Довгоміри.

Оптичні вертикальні довгоміри призначені для прямих та відносних (диференційних) лінійних вимірювань калібрів та інших виробів.

Технічні характеристики:

межа вимірювання:	
за шкалою, мм.....	0-100
на приладі, мм.....	0-250
ціна поділки зразкової шкали, мм.....	1
ціна поділки відлікового пристрою, мм.....	0,001
збільшення відлікового мікроскопу.....	62 [×] .

Гранична похибка вимірювання $\pm \left(0,0014 + \frac{L}{140000} \right)$ мм, L – довжина, яка вимірюється, мм.

Горизонтальний довгомір складається з основи, пінольної та вимірювальної бабок та предметного столика. Напрямні на основі приладу слугують для розміщення і переміщення по ним пінольної та вимірювальної бабок. Предметний столик розміщено в середній частині основи. В пінольній бабці на лінії вимірювання розміщено піноль з вимірювальним наконечником. У вимірювальній бабці розташована вимірювальна піноль, в якій розміщена оптична система. Всередині вимірювальної пінолі встановлена головка з дзеркалом, що коливається, яка жорстко зв'язана з вимірювальним стрижнем, на якому кріпляться наконечники. В середній частині пінолі на лінії вимірювання встановлена стоміліметрова скляна шкала, яка слугує для вимірювання величини переміщення пінолі. Зображення міліметрової шкали, бісекторних штрихів шкали десятих долей міліметра та мікронної шкали з індексом проеціюються на екран.

Технічна характеристика горизонтального довгоміра:

межа вимірювання довжин, мм:	
зовнішніх.....	0-500
внутрішніх.....	13,5-400
межа вимірювання внутрішніх діаметрів, мм.....	13,5-150
межа вимірювання за шкалами, мм:	
міліметровою.....	0-100
мікронною.....	±0,1
ціна поділки відлікового пристрою, мм.....	0,001
похибка вимірювання розмірів (L – довжина, що вимірюється), мм:	

$$\begin{aligned} \text{зовнішніх} \dots\dots\dots & \pm \left(0,0014 + \frac{L}{140000} \right) \\ \text{внутрішніх} \dots\dots\dots & \pm \left(0,0014 + \frac{L}{140000} \right) \end{aligned}$$

Оптиметри.

Оптиметри відносять до групи приладів з важливо-оптичною передачею контактної дії з об'єктом, що контролюється. Вони призначені для визначення малих відхилень об'єкта, що перевіряється від кінцевої міри або від зразкової деталі методами порівняння (відносним методом).

Принцип дії оптиметрів засновано на отриманні автоколімаційного зображення від зразка, що коливається, який жорстко зв'язаний з вимірювальним стрижнем, що знаходиться в контакті з поверхнею об'єкта, який контролюється.

Зміщення вимірювального стрижня на величину h призводить до нахилу дзеркала, який вимірюється переміщенням H автоколімаційного зображення сітки відносно нерухомого індексу шкали. Передаточне відношення, яке створюється оптичним важелем, при переміщенні вимірювального стрижня, визначається за формулою:

$$k = \frac{H}{h}.$$

Значення переміщень H та h знаходять з рівнянь:

$$H = f' \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \quad \text{та} \quad h = a \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

де f' – фокусна відстань об'єктива автоколімаційної трубки оптиметра;

α – кут нахилу дзеркала;

a – відстань від осі обертання дзеркала до осі вимірювального стрижня.

За малим значенням кута α можна прийняти $\operatorname{tg} 2\alpha \approx 2\alpha$ і тоді

$$k = \frac{2f'}{a}.$$

В залежності від призначення і конструкції розрізняють оптиметри вертикальні та горизонтальні.

Вертикальні оптиметри призначені для вимірювання зовнішніх розмірів об'єктів, а горизонтальні – для зовнішніх та внутрішніх розмірів.

Вертикальний оптиметр має досконалу конструкцію та проекційну оптичну систему, яка передає зображення відлікової шкали на екран.

Технічна характеристика оптиметра:

межа вимірювання, мм:

довжина виробу..... 180

діаметр..... 150

межі вимірювання за шкалою, мм..... ± 1

ціна поділки шкали, мм.....0,001

Оптиметр складається із основи з вертикальною гвинтовою колонкою та ребристим столиком. По вертикальній колонці рухається вимірювальна головка з екраном та освітлювач.

Горизонтальний оптиметр призначений для контактних вимірювань зовнішніх та внутрішніх лінійних розмірів порівняльним методом.

Він має збільшений діапазон вимірювання зовнішніх довжин – від 0 до 500 мм та внутрішніх від 13,5 до 400 мм. Межа вимірювання внутрішніх діаметрів за допомогою дуги від 13,5 до 150 мм та за допомогою електроконтактної головки від 1 до 13,5 мм. Ціна поділки шкали 0,001 мм.

До переваг слід віднести застосування пристрою для мікрометрового поздовжнього переміщення столика, можливість заміни трубки оптиметра на головку контактного інтерферометра та установки вимірювальних пристроїв екранного типу.

Ультраоптиметри.

Ультраоптиметри є більш точними приладами в порівнянні з оптиметрами і призначені для високоточних вимірювань довжин методом порівняння (відносним) з кінцевими мірами або зразковими деталями та для атестації плоскопаралельних кінцевих мір.

Технічна характеристика ультраоптиметрів:

межі вимірювання за шкалою, мкм.....±25

ціна поділки шкали, мкм.....0,2

гранична похибка вимірювання, мкм..... $\pm\left(0,04 + \frac{z}{2000}\right)$

найбільша довжина об'єкта, мм.....250

Оптикатори.

Оптикатори, як і оптиметри, відносять до групи приладів з важливо-оптичною передачею. Вони призначені для вимірювання різниці між виробами, які контролюються, та зразковими виробами.

Принцип дії оптикатора заснований на пружних властивостях закрученої пружної стрічки, яка обертається відносно своєї поздовжньої осі. При переміщенні вимірювального стрижня пружина вигинається і приводить до обертання закручену пружину та разом з нею дзеркало, яке направляє зображення індексу на шкалу. Зміщення індексу по шкалі пропорційне переміщенню вимірювального стрижня. Передаточне відношення визначається за формулою:

$$k = \frac{s'}{s} = 2Q \frac{r_1 r_2}{r_3},$$

де s' – довжина дуги зміщення індекса за відліковою шкалою;

s – величина переміщення вимірювального стрижня;

Q – коефіцієнт пропорційності;

r_1 – відстань від дзеркала до шкали;

r_2 – довжина пружини;

r_3 – відстань від осі вимірювального стрижня до пружини.

Два світлофільтри (зелений та червоний) слугують в якості обмежувачів поля допусків за відліковою шкалою. Поява червоної плями вказує, що розмір деталі, яка перевіряється, менше граничного, а поява зеленої плями – на розмір більше граничного.

Вимірювальні машини.

Вимірювальні машини призначені для лінійних вимірювань зовнішніх та внутрішніх розмірів об'єктів прямим та відносним методами. Промисловість випускає вимірювальні машини, які відрізняються між собою межами вимірювання. Так, на вимірювальних машинах межі вимірювання зовнішніх розмірів від 0 до 1000 мм, від 0 до 2000 мм та від 0 до 4000 мм.

На всіх вимірювальних машинах ціна поділки метрової шкали 100 мм, стоміліметрової 0,1 мм та шкали трубки оптиметра 0,001 мм. Межі вимірювання внутрішніх розмірів 13,5–150 мм.

Катетометри.

Катетометри призначені для дистанційного безконтактного вимірювання довжин вертикальних відрізків на недосяжних об'єктах методом безпосередніх вимірювань. Принцип дії катетометра подібний принципу дії геодезичного приладу – нівеліра та заснований на візуванні зоровою трубкою на початок та кінець відрізка, який контролюється. Якщо для нівеліра робочою мірою є переносна вертикальна рейка з поділками, то для візирної трубки катетометра робочою мірою служить міліметрова шкала, яка розташована на вертикальній колоні приладу строго паралельно її осі. Величина переміщення зорової трубки при візуванні на відмічені точки об'єкта дорівнює відрізка, який отримано з різниці відліків за шкалою колонки, які взяті за допомогою відлікового мікроскопу. Для спостереження об'єктів на близьких відстанях, але не ближче 300 мм, зорові трубки катетометрів мають змінні насадочні лінзи, які перетворюють трубки в телескопічні лупи, що забезпечують спостереження об'єктів на відстанях від об'єктива трубки у катетометрів від 470 до 670, від 610 до 1000 та від 890 до 2000 мм. Без насадочних лінз спостереження об'єктів через трубку можливо від 2000 мм.

Гранична похибка вимірювання відрізків при відстані до об'єкта 2000 мм дорівнює $\pm 0,04$ мм. Гранична похибка відліку за масштабною сіткою $\pm 0,0015$ мм.

Проектори.

Проектори (проекційні прилади) призначені для контролю об'єктів зі складною конфігурацією або об'єктів невеликих розмірів, зображення яких проєктуються на просвічувальний екран в збільшеному масштабі. Це зображення на екрані вимірюють безпосередньо або за допомогою відлікових пристроїв.

Вимірювання проводять шляхом порівняння зображення контурів деталі, що контролюється, з кресленням або шаблоном, який розміщено на екрані і виконаним в тому ж самому масштабі, що і масштаб проєкції, або шляхом переміщення предметного столика мікрометричними гвинтами до суміщення зображення контурів об'єкта з маркою екрану. Різниця відліків за шкалами мікрометричних гвинтів складе розмір об'єкта.

Основні технічні характеристики проектора: збільшення 10, 20, 50 та 100^{*}; розмір екрану – 560×460 мм, ціна поділки барабана мікрометричних гвинтів 0,01 мм.

Інтерферометри.

Інтерферометри відносять до групи оптичних приладів, які забезпечують найбільш високу точність вимірювання. Вони призначені для контролю робочих кінцевих мір з кінцевими мірами вищого розряду та різних виробів методом порівняння зі зразковими деталями. Існуючі інтерферометри поділяють на контактні і безконтактні. Безконтактні інтерферометри дозволяють проводити вимірювання абсолютним та відносним (порівняльним) методом, контактні – тільки відносним методом.

Так, на безконтактному інтерферометрі типу інтерференційного компаратора Кестерса при абсолютному методі вимірювання довжина кінцевої міри може бути виражена безпосередньо в довжинах хвиль.

Контактні інтерферометри – вертикальний та горизонтальний призначені також для контролю кінцевих мір та виробів відносним методом.

В контактних інтерферометрах основним вузлом є трубка з оптичною схемою двопроменевого інтерферометра Майкельсона. Різниця між вертикальним та горизонтальним інтерферометрами полягає в розміщенні на них оптичної трубки та предметного столика.

У вертикального інтерферометра трубка переміщається на кронштейні по вертикальній стійці і наконечник вимірювального стрижня при відсутності об'єкта, що контролюється, може бути приведена в контакт з поверхнею предметного столика, який знаходиться в постійному положенні на литій основі.

У горизонтального інтерферометра на станині, що розташована горизонтально, переміщаються оптична трубка і піноль, які закріплені в бабках та предметний столик.

Технічні характеристики оптичної трубки інтерферометрів:

збільшення, ×.....	37,5
границі вимірювання, мм:	
вертикальний.....	150
горизонтальний.....	500
число поділок шкали.....	100(±50)
ціна поділок шкали, мкм.....	0,2–0,05
границі вимірювання за шкалою, мм.....	0,02–0,005
границі вимірювання горизонтального стрижня, мм.....	0,5

Вимірювання розмірів виробів на приладі проводять в білому світлі (за винятком інтерференційного світлофільтра). В полі зору окуляра спостерігаються розфарбовані інтерференційні смуги зі спадною інтенсивністю та розташовані симетрично відносно центральної чорної смуги. Чорна ахроматична смуга слугує рухомим індексом вимірювального стрижня по відношенню нерухої шкали.

При контролюванні виробів методом порівняння з кінцевою мірою або зразковою деталлю чорну смугу встановлюють серединою на нульовий штрих шкали. Замінив кінцеву міру або зразкову деталь виробом, що контролюється, визначають різницю довжин по зміщенню чорної смуги за шкалою.

Похибка вимірювання визначається за формулою (мкм):

$$\delta = \pm \left(0,03 + 1,5n\tau \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right),$$

де $\Delta\lambda$ – похибка вимірювання довжини хвилі світла λ (береться із паспорта).

n – кількість поділок шкали;

τ – поділка шкали.

Прилади для вимірювання кутів.

Оптичні прилади для вимірювання кутів широко застосовують в автомобілебудуванні. Вони різноманітні за конструкцією, призначенням та точністю.

До оптичних кутомірних приладів відносять кутоміри оптичні, оптичні ділильні головки, квадранти оптичні, гоніометри, автоколіматори, а також прилади перевірки співвісності та паралельності осей.

Кутоміри оптичні.

Кутоміри оптичні призначені для вимірювання контактним методом кутів від 0 до 180° між двома площинами або між площиною і твірною циліндра або конуса. Всередині круглого корпусу кожного кутоміра є скляний лімб з ціною поділки лімба 5' з оцифровкою від 0 до 90° через 2°.

Оптичний кутомір має дві лінійки, одна постійно з'єднана з корпусом і лімбом, а інша змінна (мала лінійка довжиною 150 мм та велика 300 мм) і може бути повернута на будь-який кут по відношенню до нерухомої. Обертальна лінійка з'єднана зі скляною пластинкою з індексом, який слугує для зняття відліку по лімбу за допомогою лупи зі збільшенням 16^x.

Оптичні ділильні головки.

Оптичні ділильні головки призначені для повороту виробу, що закріплений на шпинделі, на необхідний кут, або для кутового поділу його на задане число частин по колу, а також для контролю кутових розмірів.

Основними частинами оптичної ділильної головки є циліндричний корпус зі шпинделем, який жорстко зв'язаний зі скляним лімбом, освітлювальна частина та відліковий мікроскоп, а також додаткову проєкційну систему.

Оптичні ділильні головки, що випускаються промисловістю, розрізняються між собою, головним чином, ціною поділок відлікових пристроїв.

Загальними характеристиками для всіх приладів є: ціна поділок лімба 1°, межа повороту осі шпинделя у вертикальній площині 90°, межа вимірювання 360°, висота центрів 130 мм.

Ціна поділок відлікового пристрою складає від 1' до 2".

Оптичні квадранти.

Оптичні квадранти призначені для вимірювання або встановлення кута нахилу до горизонту плоских та циліндричних поверхонь об'єктів.

Квадрант складається з плоскої основи з круглим корпусом, всередині якого нерухомо закріплений скляний лімб, на якому встановлено відліковий мікроскоп, два циліндричних рівня – поздовжній та поперечний, а по краю диска виконано градусні поділки для грубого відліку кута повороту.

Для вимірювання кута нахилу площини виробу до горизонту квадрант основою встановлюють на поверхню, що контролюється, та обертають диск, тим самим виводячи бульбашку поздовжнього рівня на середину. Бульбашка поперечного рівня повинна також зайняти середнє положення. Потім мікрометричним гвинтом бульбашку поздовжнього рівня приводять на нуль-пункт більш точно і по лімбу за допомогою мікроскопа роблять відлік.

Технічна характеристика оптичного квадранта:

ціна поділок лімба, градуси.....	1
ціна поділок окулярної шкали, секунди.....	10
межа вимірювання кутів, градуси.....	360
ціна поділок рівня, секунди.....	5

Інтерференційний метод.

Інтерференційний метод вимірювання малих кутів до 2' може бути здійснений на інтерференційному компараторі. Для цього клин, що перевіряється, притирають до поверхні пластинки столика інтерферометра і в полі зору спостерігають картину інтерференційних смуг від кожної поверхні клина, який вимірюється. При цьому добиваються, щоб смуги від обох поверхонь були рівні за шириною та чіткістю. Далі підраховують число смуг N_1 та N_2 на дільницях l_1 та l_2 , які вимірюють окулярним мікрометром.

Кут клина α в секундах знаходять за формулою:

$$\alpha = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{N_1}{l_1} \pm \frac{N_2}{l_2} \right) \cdot 206265,$$

де λ – довжина хвилі світла.

Знак плюс в скобках береться при різносторонньому русі смуг та мінус – при односторонньому русі в момент зміни положення референтного дзеркала від легкого натискання на тубус інтерферометра.

Гранична похибка вимірювання кута – 0,3".

Інтерференційний компаратор може бути використаний і для вимірювання великих кутів, наприклад, при калібруванні багатогранних призм шляхом порівняння зі зразковим багатогранником. В цьому випадку обидва багатогранника притирають по одній із сторін до скляної пластинки і розміщують на столик гоніометра навпроти робочої гілки інтерферометра. Застосування гоніометра дозволяє встановити площину двогранного кута строго в перпендикулярне положення і повернути на необхідний кут. Кут відхилення поверхні, що перевіряється, від порівняльної поверхні зразкового багатогранника визначається також підрахунком смуг і далі знаходиться за формулою.

Для контролювання великих кутів призм застосовують скляні кутовики з каліброваними кутами, що складаються із пробного скла та допоміжної призми, яка посажена на оптичний контакт.

При контролюванні призму, що контролюється, приставляють впритул до граней кутника та підраховують число смуг N , які утворюються в інтервалі l між поверхнями призми, що контролюється, та кутника.

Кут відхилення від каліброваного кута кутника визначають за формулою:

$$\alpha'' = \frac{\lambda N}{2l} \cdot 206265.$$

Прилад тіньового перерізу.

Прилад призначений для вимірювання шорсткості грубо оброблених поверхонь в межах 1–3-го класів чистоти і для вимірювання товщини прозорих плівок, оптична товщина яких не виходить за межі 160–320 мкм.

Загальне збільшення приладу $30\times$, ціна поділок шкали 0,01 мм, апертура об'єктива 0,03 і поле зору 8 мм. Довжина ділянки, що вимірюється в площині об'єкта 9 мм.

Прилад світлового перерізу.

Прилад призначений для вимірювання і фотографування шорсткості по 4–9 класу чистоти і для вимірювання оптичної товщини прозорих плівок в межах 0,8–40 мкм.

За своєю конструкцією і принципу дії прилад являє собою подвійний мікроскоп. Він складається з планахроматичного об'єктива, який дозволяє вимірювати нерівності на краю поля зору, змінними щілинами та вбудованою фотокамерою з розміром кадру 24×36 мм.

Об'єктиви, які змонтовано попарно в одній обоймі під кутом 90° , спрощують налаштування приладу.

Загальне збільшення приладу з окулярним мікрометром 75, 226, 337 та $750\times$ та при фотографуванні відповідно 6,6; 20; 30; та $60\times$.

Висоту нерівності H визначають за формулою:

$$H = \frac{b}{2\beta \sin \alpha},$$

де b – величина викривлення зображення щілини в фокальній площині окуляра, яка вимірюється гвинтовим мікрометром;

β – збільшення об'єктива;

α – кут нахилу вимірювального мікроскопа.

Растровий вимірювальний мікроскоп.

В мікроскопі використовується явище утворення муарових смуг при наявності двох растрів з рівними кроками $l_1 = l_2$ при їх нахилі або повороті на деякій кут θ між напрямками їх штрихів. Відстань T між муаровими смугами, що виникають, залежить від крока l вихідного растра та кута θ і визначається за формулою:

$$T = \frac{l}{2 \sin \theta / 2}.$$

або для малих кутів:

$$N = \frac{l}{\theta}.$$

Внаслідок нерівності на поверхні виникають місцеві зміни кроку, яке визиває викривлення муарових смуг, які пропорційні висотам нерівності.

Мікроінтерферометри.

Мікроінтерферометри призначені для візуальної оцінки висоти нерівностей поверхонь та для фотографування нерівностей в межах 1–0,03 мкм, які відповідають 10–14-му класу чистоти поверхні. Інтерференційні смуги повинні бути орієнтовані перпендикулярно напрямку подряпин, які спостерігаються одночасно з картиною інтерференційних смуг. При оцінці на око визначається доля інтервала між смугами або число інтервалів, на яке вигинається смуга в області впадини.

Висоту нерівностей при роботі з білим світлом визначають за формулою:

$$H = 0,27\Delta N, \text{ мкм}$$

де H – висота нерівності;

0,27 – половина довжини хвилі світла, мкм;

ΔN – величина вигину смуги в долях інтервала.

При роботі з монохроматичним світлом:

$$H = \frac{\lambda}{2} \Delta N,$$

де λ – довжина хвилі світла, яка взята з паспорту.

При вимірюванні нерівностей гвинтовим окулярним мікрометром одну нитку перехрестя суміщають з направленням інтерференційних смуг, а іншу нитку – з направленням подряпин на поверхні, що контролюється. Шляхом наведення нитки на середину двох сусідніх смуг та через декілька темних смуг визначають величину інтервала. Потім наводять нитку на середину темної смуги в місцях її вершини та западини, вимірюючи тим самим вигин смуги, величина якої визначається за формулою:

$$\Delta N = \frac{A_3 - A_4}{A_1 - A_2} n,$$

де $A_1 - A_2$ – різниця відліків, що складає величину інтервалу;

$A_3 - A_4$ – величина вигину смуги;

n – число інтервалів між декількома смугами.

Висота нерівностей H при білому світлі визначають за формулою:

$$H = 0,27 \frac{A_3 - A_4}{A_1 - A_2} n, \text{ мкм.}$$

Оптичний профілометр.

Оптичний профілометр представляє з'єднання двопроменевого мікроінтерферометра та подвійного мікроскопу і призначений для вимірювання шорсткості з 3 по 8-й клас чистоти.

Висоту нерівності поверхні при роботі приладу за принципом подвійного мікроскопа визначають за формулою:

$$H = \frac{hf'_2}{2f'_1 \sin \varphi},$$

де h – величина викривлення нерівності, як виміряна окулярним мікрометром;

f'_2 та f'_1 – фокусні відстані об'єктивів;

φ – кут падіння пучка променів на дзеркало, рівний 70° .

При роботі прилада за принципом мікроінтерферометра висота нерівності визначається за формулою:

$$H = bK,$$

де b – величина вигину смуги, яка виражається в долях інтервалу смуги;

$$K = \frac{\lambda}{2 \cos \varphi} - \text{ціна поділки інтерференційної смуги.}$$

Профілографи.

Профілографи призначені для фотографічного запису у збільшеному масштабі, а також для візуального спостереження та вимірювань шорсткості поверхні. Принцип дії профілографів

заснований на контакті щупової голки з поверхнею, що досліджується, та відтворення нею профіля нерівності в збільшеному масштабі за допомогою оптико-важільної системи.

Лінійне збільшення зображення щілини визначають за формулою:

$$\beta = 2n \frac{f'}{l},$$

де n – число відображень дзеркала;

f' – фокусна відстань об'єктива;

l – довжина плеча важеля від осі голки.

Рефлектометр.

Оптичний метод контролю шорсткості поверхні оптичних та металевих виробів за допомогою рефлектометра є інтегральним і заснований на отриманні максимального відбитого світлового потоку, отриманого при кутах падіння світла більше 80° .

Гоніометрична установка призначена для контролю шорсткості граней призм, які виготовляються на координатно-розточувальних верстатах алмазними або твердосплавними різцями, з чистотою поверхні 8–11-го класа.

Оцінку якості поверхні проводять за допомогою відносного коефіцієнта дзеркального відбиття:

$$\rho_{\text{від}} = \frac{\rho_{\text{м}}}{\rho_{\text{скл}}},$$

де $\rho_{\text{м}}$ – коефіцієнт відбиття грані призми;

$\rho_{\text{скл}}$ – коефіцієнт відображення скляної поверхні, яка прийнята за зразкову.

Точність визначення шорсткості поверхні знаходиться в межах ± 13 – 15% .

Для дослідження шорсткості шліфованих металевих поверхонь, оброблених до 7–8-го класу чистоти, запропоновано рефлектометр, який працює за схемою пучка променів, що збігаються на площі від 0,1 до 0,5 см². Принцип дії приладу заснований на фотоелектричному вимірюванні інтенсивності дифракційного максимуму, який відбивається від поверхні, що досліджується. Оцінку якості поверхні проводять порівнянням з еталомом з чорного полірованого скла, коефіцієнт відбиття якого визначають за формулою Френеля.

Струнно-оптичний метод.

Суть методу полягає у візуванні мікроскопом або трубкою на натягнуту струну. Мікроскоп або трубка встановлені на спеціальних салазках, які притискаються до базової поверхні напрямних.

В якості струни застосовують сталеву або інварну проволоку.

Струнно-оптичний метод широко використовують при контролі напрямних верстатів або при встановленні конвеєрів для шліфування та полірування, монтажу окремих блоків. Точність метода невелика і обмежується головним чином викривленням струни в горизонтальній площині, рефракцією та похибками при перефокусуванні внаслідок прогину струни.

Величина найбільшої стрілки прогину під дією власної ваги:

$$h = q \frac{L^2}{8F},$$

де q – вага струни на одиницю довжини, Н/м;

L – довжина натягнутої струни між опорними точками, м;

F – сила натягу, яка визначається вагою вантажу, Н.

Викривлення струни в горизонтальній площині під дією вітру зі швидкістю V в м/с визначається стрілкою прогину f з формули:

$$f = \delta \frac{V^2 L^2}{64F},$$

де δ – діаметр струни в мм.

Коливання струни в закритому приміщенні доходять до значення величини амплітуди в $3 \cdot 10^{-2}$ мм, при наявності ж повітряного струменю в приміщенні амплітуда збільшується до 0,5 мм. Тому коливання струни демпфують, закріплюючи на ній смуги паперу, які занурені в масло.

При косому освітленні струни виникає так звана похибка «за фазу», яка визивається несиметричним зростанням ширини зображення струни. Величина цієї похибки в поганих умовах може доходити до 0,25 діаметра, або до $5 \cdot 10^{-2}$ мм при середньому значенні діаметра 0,2 мм.

Для контрольно-вимірювальних робіт при монтажу великогабаритних машин широко використовують оптичні центріри та ординатомери.

Візорний метод.

Візорний метод контролю непрямої лінійності найбільш розповсюджений в практиці вимірювання, він забезпечує досить високу точність. Даний метод полягає у візуванні трубами з фокусуєчими пристроями на цільові знаки марок, що знаходяться на поверхнях, які контролюються на різних відстанях від труби.

Візорну трубу зазвичай розташовують на одному кінці поверхні, що контролюється, і в заданих точках за допомогою відлікових пристроїв вимірюють зміщення центру польового знаку відносно візорної осі трубки.

Як труба так і марка повинні мати базуючі поверхні, по яким проходять прилягання до поверхні, що контролюється.

Візорні трубки повинні мати фокусуєчий пристрій, який дозволяє вести візування на різно віддалені марки, відлікові пристосування для вимірювання зміщення зображення марок відносно перехрестя сітки, установочні пристосування для приведення візорної осі у визначене положення та контрольні пристосування у вигляді рівней для контролю цього положення.

Марки також повинні мати установочні, відлікові пристрої та контрольні пристосування – рівні.

Проекційний метод є різновидом візорного методу контролю непрямої лінійності та існує в двох модифікаціях. Проекційна система, в якості якої може бути звичайний коліматор або автоколімаційна трубка, повинна мати можливість фокусування зображення на екрані.

Точність вимірювання проекційним методом визначається точністю візування на зображенні сітки відліковим мікроскопом або точністю відлікових пристосовань трубки.

Коліматорний метод вимірювання непрямої лінійності.

В загальному випадку при коліматорному методі зоровою трубкою візують на іншу трубку (коліматор), яка задає базову лінію у вигляді своєї візорної лінії. Для цього сітка ниток коліматора, яким може бути звичайна візорна трубка, підсвічується за допомогою освітлювача. Зазвичай під коліматорним методом розуміють візування трубкою на коліматор, сітка якого знаходиться у фокальній площині об'єктива для виключення похибок із-за перефокусування, так як візорна трубка постійно сфокусована на безмежність. При цьому можна оцінити лише взаємні кутові зміщення трубки і коліматора. Тому коліматорний метод є непрямим методом вимірювання лінійних величин, що реалізується покроковим методом. Прилад складається з коліматора з об'єктивом, який має фокусну відстань 256 мм, та візорної трубки зі збільшенням $20\times$ (фокусна відстань об'єктива 176 мм). В оправі об'єктива коліматора закріплена візорна марка. Трубка має мікрометр з точністю відліку 0,01 мм для вимірювань в межах $\pm 0,5$ мм, ламаний на 90° окуляр та дозволяє візувати в межах 0,7...6 м. Точність вимірювання приладом на відстані 6 м 3" (0,09 мм).

Автоколіматорні методи вимірювання непрямої лінійності.

Автоколіматорні методи, крім контролю непрямої лінійності, широко застосовують у лабораторній практиці при контролюванні кутів призм, плоскопаралельних пластинок, центрування лінз, поділок кругів, для визначення радіусів сферичних поверхонь, фокусної відстані лінз та для багатьох інших вимірювань.

Під автоколімацією розуміють отримання зображення, що утворюється пучками паралельних променів, які виходять з автоколіматорної труби і відбиваються плоским дзеркалом або іншим відбивачем в тій же самій трубці.

Візорні системи з використанням явищ дифракції та інтерференції.

Найбільшу точність, яка сполучається з максимально простою апаратурою для вимірювання непрямої лінійності, дає схема, яка заснована на явищах дифракції та інтерференції світла, що випромінюється вузькою щілиною або малим отвором і проходить крізь екран з двома вузькими паралельними щілинами або малими отворами. Якщо осі отворів двохщілинної діафрагми розташовані симетрично по відношенню до осі щілини в діафрагмі, яка освітлюється джерелом

світла, а перехрестя сітки ниток окуляра знаходиться на одній прямій з ними, то в центрі зору буде ахроматична смуга кольорової інтерференційної картини (при білому світлі).

Зміщення ахроматичної смуги відносно центра визначає відхилення двохщільної діафрагми від прямої або площини. Висока точність метода підтверджується роботами з приладом (точність 15 мкм при довжині створа 80 м).

Еліпсометричний метод контролю.

Застосування еліпсометрії як метода аналізу зміни поляризації світла внаслідок його взаємодії з об'єктом, що досліджується, досить різноманітне. За її допомогою можна визначити товщини тонких плівок та їх показники заломлення, непаралельність фазових пластин, вивчати оптичні та фізичні властивості визначеного класу матеріалів та металевих покриттів.

Зростання інтересу до поляризаційних методів дослідження висуває підвищені вимоги до їх точності, швидкодії та наглядності відображення інформації. В останні часи перевага надається розробці автоматичних систем, які забезпечують велику відчутність вимірювань завдяки застосуванню різної модуляційної техніки, наприклад комірок Фарадея та Керра, які дозволяють додатково обертати площину поляризації на декілька градусів. При цьому параметри еліпса поляризації спостерігаються безпосередньо на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ) або записуються на стрічку самописця або магнітну плівку для подальшої обробки. Сучасні ручні та автоматичні еліпсометри засновані на класичних принципах дослідження поляризації світла.

Використання в якості джерел світла лазерів, які працюють в широкому діапазоні довжин волн та забезпечують високу спектральну щільність поляризованого випромінювання, значно розширило можливості еліпсометрії та насамперед покращило чутливість та швидкість еліпсометрів. Працювати з поляризованим світлом значно вигідно, ніж з природнім, експеримент при цьому виявляється більш досконалим, а математична обробка результатів простіше.

Зміни, що виникають в стані поляризації світла, залежать як від об'ємних властивостей середовища, так і від властивостей та структури поверхневих шарів. Ці властивості можна визначити за результатами аналізу зміни поляризації відбитого або пройденого крізь об'єкт, що досліджується, світла.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крылов К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении / К.И. Крылов В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Л. Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1978, 336 с.
2. Оптические приборы в машиностроении: справочник / М.И. Апенко, И.Г.Араев, В.А. Афанасьев, Г.В.Дурейко, Н.П.Заказнов, Д.А.Романов, В.С. Усов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
3. Кирилловский В.К. Оптические измерения. Часть 1. Введение и общие вопросы. Точность оптических измерений: учебное пособие / В.К. Кирилловский. — СПб. ГИТМО (ТУ). 2003. – 47 с.
4. Прокопенко В.Т. Оптические измерения: Конспект лекцій / В.Т. Прокопенко. – СПб. ГИТМО, 2002.

REFERENCES

1. Krylov K.I., Prokopenko V.T., Mitrofanov A.S. *Primenenie lazerov v mashynostroenii i priborostroenii* [The use of lasers in engineering and instrument making]. Leningrad. Engineering, Leningrad. Div of, 1978, 336 p. (Rus)
2. Apenko M.I., Araev I.G., Afanasev V.A., Dureyko G.V., Zakaznov N.P., Romanov D.A., Usov V.S. *Optycheskie pribory v mashynostroenii* [Optical devices in mechanical engineering]. Handbook. Moskva: Engineering, 1974. – 320 p. (Rus)
3. Kirillovsky V.K. *Optycheskie izmereniya* [Optical measurements. Part 1. Introduction and general issues. Precision optical measurements]. Textbook. Saint Petersburg, GITMO (TU). 2003. – 47 p. (Rus)
4. Prokopenko V.T. *Optycheskie izmereniya* [Optical measurements]. Synopsis lektsiy. Saint Petersburg, GITMO 2002. (Rus)

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Оптичні вимірювання в автомобілебудуванні. / М.Ф. Дмитриченко, Б.В. Шапошніков, О.П. Токін, В.Г. Кошелев, О.В. Мельник // Вісник Національного транспортного

університету. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2014. – Вип. 29.

В статті запропоновано методи та прилади оптичного вимірювання з застосуванням об'єктивних приймачів випромінювання, лазерів, голографії, оптичної інтерферометрії, швидкісної кіноз'ємки.

Об'єкт дослідження – оптичні вимірювання і прилади в автомобілебудуванні.

Мета роботи – вибір типу і методу вимірювання точності і доцільність його використання.

Метод дослідження – аналіз експериментальних даних оптичних вимірювань в автомобілебудуванні.

Прогнозні припущення – інформація для фахівців в галузі автомобілебудування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОПТИЧНА, ГОЛОГРАФІЧНА, ІНТЕРФЕРОМЕТРИЯ, КОМПАРАТОРИ, ЕЛЛІПСОМЕТРИЯ.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F., Shaposhnikov B.V., Tokin O.P., Koshelev V.G., Melnyk O.V. Optical measurements are in automotive industry. Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series «Technical sciences». – Kyiv: National Transport University, 2014. – Issue 29.

In the article methods and devices of the optical measuring are offered with the use of objective transceivers of radiation, lasers, holography, optical interferometry, speed filming.

Object of study – optical measurements and devices in the automotive industry.

Purpose – selection of the type and method of measurement accuracy and appropriateness of its use.

The aim – analysis of experimental data of optical measurements in automotive industry.

Forecast assumptions – information for professionals in the field of automotive industry.

KEYWORDS: OPTICAL, HOLOGRAPHIC, COMPARATOR, INTERFEROMETRY, ELLIPSOMETRY.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф. Оптические измерения в автомобилестроении / Н.Ф. Дмитриченко, Б.В. Шапошников, А.П. Токин, В.Г. Кошелев, О.В. Мельник // Вестник Национального транспортного университета. Научно-технический сборник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2014. – Вип. 29.

В статье предложены методы и приборы оптического измерения с использованием объективных приемопередатчиков излучения, лазеров, голографии, оптической интерферометрии, скоростной киносъемки.

Объект исследования – оптические измерения и приборы в автомобилестроении.

Цель работы – выбор типа и метода измерения точности и целесообразность его использования.

Метод исследования – анализ экспериментальных данных оптических измерений в автомобилестроении.

Прогнозные предположения – информация для специалистов в области автомобилестроения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ОПТИЧЕСКАЯ, ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ, ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ, КОМПАРАТОРЫ, ЭЛЛИПСОМЕТРИЯ.

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 318.

Шапошніков Борис Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.102.

Токін Олександр Павлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 322.

Кошелєв Володимир Георгійович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.102.

Мельник Ольга Вікторівна, Національний транспортний університет, асистент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: epitaksiya.78@mail.ru, тел. +380506147548, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к.102.

AUTHOR:

Dmytrychenko Mykola F., Ph.D., Engineering (Dr), professor, National Transport University, head of department of manufacturing, repair and materialloved, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 318.

Shaposhnikov Boris V., Ph.D., associate professor, National Transport University, professor department of manufacturing, repair and materialloved, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Tokin Oleksandr P., Ph.D., associate professor, National Transport University, professor department of manufacturing, repair and materialloved, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 322.

Koshelev Vladimir G., National Transport University, senior Lecturer department of manufacturing, repair and materialloved, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Melnyk Olga V., National Transport University, assistant Lecturer department of manufacturing, repair and materialloved, e-mail: epitaksiya.78@mail.ru, tel. +380506147548, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

АВТОРЫ:

Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой производства, ремонта и материалловедения, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 318.

Шапошников Борис Викторович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, професор кафедры производства, ремонта и материалловедения, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.102.

Токин Александр Павлович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры производства, ремонта и материалловедения, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 322.

Кошелєв Владимир Георгиевич, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры производства, ремонта и материалловедения, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.102.

Мельник Ольга Викторовна, Национальный транспортный университет, асистент кафедры производства, ремонта и материалловедения, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к.102.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Шелюг А.В., голова правління концерну «НИКО», Київ, Україна.

Гришук О.К., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Shelyug A.V., chairman of rule of business concern «NIKO», Kyiv, Ukraine.

Gryshchuk O.K. Ph.D., associate professor, National Transport University, professor, department of cars, Kyiv, Ukraine