

© К.А. Зіборов¹, Н.О. Ротт¹, Т.О. Письменкова¹, С.О. Федоряченко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ЯКІСТЬ ЯК ОБ'ЄКТ УПРАВЛІННЯ СУЧАСНИМ ПРОМИСЛОВИМ ВИРОБНИЦТВОМ

© K. Ziborov¹, N. Rott¹, T. Pismenkova¹, S. Fedoriachenko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

QUALITY AS AN OBJECT OF MODERN INDUSTRIAL PRODUCTION MANAGEMENT

Мета роботи полягає в обґрунтуванні необхідності застосування при підготовці фахівця-матеріалознавця компетентностей, які дозволять йому виконувати задачу управління якістю промислового виробництва. Освоєння прийомів і правил метрологічної експертизи дозволить отримати професійні якості в сфері виробничо-технологічної діяльності для проведення експертизи нових технічних регламентів, національних стандартів, стандартів організацій та іншої нормативної документації, керувати акредитацією вимірювальних і випробувальних лабораторій і підрозділів, рекламаційною роботою і аналізом причин браку і порушення технологій, забезпечувати адаптацію нормативно-технічної документації до модернізації, уніфікації продукції, що випускається, і функціонуванню самого підприємства.

Методика досліджень полягає в обґрунтуванні вимог щодо необхідності забезпечення постійної відповідності між властивостями нових матеріалів, що застосовуються в машинобудуванні, і все більш жорсткими умовами їх роботи.

Результати досліджень. Встановлено та обґрунтовано методики перевірки якості готової продукції згідно Стандарту, що дозволяє перевірку не по всіх параметрах, а по комплексах з декількох параметрів в кожній групі. В цьому випадку потрібні різні метрологічні засоби. Обґрунтовано матеріально-технічне забезпечення метрологічної лабораторії, яка перевіряє зубчасті колеса з відповідності результатів ДСТУ.

Наукова новизна. Запропоновано методики із визначення накопиченої похибки окремого кроку зубчастих коліс із застосуванням лабораторного обладнання та випадкового відібраних зразків продукції, які можуть бути адаптовані для широкої номенклатури виробничих позицій.

Практичне значення. Представлені методики дозволяють оцінити якість готової продукції та відповідно проводити моніторинг та налаштування виробничої лінії з метою підтримки заданого рівня точності по контрольованим параметрам.

Ключові слова: компетентність, показники якості, зубчасте зачеплення, похибка кроку.

Вступ. Конкурентоздатність будь-якого підприємства залежить, у першу чергу, від якості його продукції або послуг як сукупності властивостей і характеристик, що володіють здатністю задовольняти реально існуючі і прогнозовані потреби споживача. Одним з найважливіших умов задоволення цих потреб є забезпечення достовірності і необхідної точності вимірювань параметрів продукції при її розробці, виготовленні, випробуваннях і підтвердженні відповідності. Як-

ість вимірювань забезпечується єдністю вимірювань, яка є основною метою технічного регулювання, спрямованого на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань [1].

При цьому, дотримання вимог національного законодавства до проведення вимірювань повинно безпосередньо впливати на випуск конкурентоспроможної продукції, зменшення витрат підприємства, пов'язаних з випуском бракованої продукції та надходженням рекламацією від замовників і споживачів [2].

Стандартизація і сертифікація – це нормативно-методична база забезпечення якості продукції і конкурентоздатності виробництва. Вивчення теоретичних основ метрології, стандартизації та сертифікації дозволяє підготувати фахівця до вирішення професійних завдань в галузі проектно-конструкторської, організаційно-управлінської, виробничо-технологічної, науково-дослідницької діяльності в сфері промислового виробництва.

В результаті успішного освоєння прийомів і правил метрологічної експертизи студент отримує професійні якості в сфері виробничо-технологічної діяльності, що дозволяють виконувати розробку і експертизу нових технічних регламентів, національних стандартів, стандартів організацій та іншої нормативної документації, керувати акредитацією вимірювальних і випробувальних лабораторій і підрозділів, рекламаційною роботою і аналізом причин браку і порушення технологій, забезпечувати адаптацію нормативно-технічної документації до модернізації, уніфікації продукції, що випускається, і функціонуванню самого підприємства.

Тому в межах освітньо-професійної програми «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» магістерського рівня підготовки спеціальності 132 «Матеріалознавство» на кафедрі конструювання, технічної естетики і дизайну НТУ «Дніпровська політехніка» пропонується цикл дисциплін: «Організація діяльності у сфері якості, стандартизації та сертифікації», «Організація і технологія випробувань», «Інформаційні системи управління технічним проектом» та ін., які дозволяють слухачам отримати відповідні компетентності в межах проекту стандарту спеціальності 132 «Матеріалознавство» та реалізувати їх при виконанні кваліфікаційної роботи [3].

Найчастіше найбільш слабким елементом в будь-якій триботехнічній системі, що визначає допустимі умови експлуатації і ресурс всієї системи, є поверхня матеріалу. З цього ясно, наскільки важлива задача розробки методів і технології зміцнення поверхонь конструкційних матеріалів, а також контролю якості стану цих поверхонь.

В межах вищезгаданих дисциплін магістрам ОПП «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» пропонується не тільки провести метрологічні вимірювання та виконати їх опис і аналіз, а й розробити комплекс заходів, щодо забезпечення показників якості виробу (матеріалу). Розглянемо деякі результати навчання, які повинен отримати фахівець-матеріалознавець в межах компетентностей, відповідно до проекту стандарту вищої освіти:

▪СР15 Застосовувати вимоги вітчизняних та міжнародних нормативних документів щодо формулювання та розв'язання наукових та науково-технічних задач розробки, виготовлення, випробування, сертифікації, утилізації матеріалів, створення та застосування ефективних технологій виготовлення виробів;

▪СР16 Розраховувати економічну ефективність виробництва матеріалів та виробів;

▪ВР3.6 Оволодіти базою знань і використовувати автоматизовані підходи управління технічними проектами;

▪ВР3.8 Застосовувати нормативно-правове забезпечення, володіти методологією аналізу та планування, пов'язаних з управлінням якістю продукції чи послуг;

▪ВК3.3 Здатність опановувати види випробувань промислового обладнання та вміти їх проводити.

Так, наприклад, в межах кваліфікаційної роботи була поставлена задача визначити причини виходу з ладу вала-шестерні трьохвального зубчастого редуктору турбоагрегату, сформулювати показники якості виробу та рекомендувати відповідні технологічні заходи щодо поліпшення цих показників.

Як відомо, зубчасті передачі, що входять до складу багатьох машин, повинні відповідати заявленим стандартам якості. Якість зубчастих коліс можна визначити, як сукупність властивостей, що дозволяють забезпечити зібраним на їх основі передачам, необхідні параметри надійності при регламентованих відповідними вимогами відхиленнях нерівномірності обертання, рівнях і спектрах генерації шуму і вібрацій, коефіцієнту корисної дії.

Зубчастий вінець характеризується дуже великою кількістю параметрів і розмірів, кожен з яких може мати відхилення, що виникають в процесі виготовлення. Різні параметри і їх відхилення по-різному впливають на кінцеву якість зубчастого вінця. Більш того, в залежності від області застосування і додаткових умов, ті чи інші параметри можуть змінювати свою значимість.

Стандарт дозволяє перевірку не по всіх параметрах, а по комплексам з декількох параметрів в кожній групі. І навіть в цьому випадку потрібні різні метрологічні засоби. В результаті в метрологічній лабораторії, яка перевіряє зубчасті колеса, має перебувати від одного до двох десятків приладів. Тільки в цьому випадку можна бути впевненим, що зубчасті колеса перевірені відповідно до ДСТУ.

Крім перевірок геометрії і функціональності зубчастого вінця здійснюють перевірку твердості, міцності і структури матеріалу деталі різними способами руйнування і неруйнування [4].

Основними показниками якості зубчастих передач відповідно до ГОСТ 4.124-84 і ГОСТ 1643-81 є:

- показники призначення;
- показники надійності;
- показники уніфікації;
- показники точності;
- показники бокового зазору.

Кожен з наведених вище показників істотно залежить від широкої групи факторів, до яких можна віднести конструктивні особливості не тільки самої зубчастої пари, а й механічної передачі в цілому, матеріали і технології виготовлення для зубчастих коліс, режими і умови експлуатації, включаючи триботехнічні. При цьому ряд цих факторів, наприклад, таких як триботехнічні умови взаємодії зубців практично не враховується при проектуванні передач. Разом з тим ці фактори можуть в 2-3 рази, а іноді і на порядок, змінити ресурс зубчастої передачі і надають найбезпосередніший вплив на шум і втрати на тертя в зачепленні.

Стосовно до умов поставленої в рамках даної роботи завдань, зупинимося на вимогах до показників точності циліндричних передач. Ці вимоги встановлюються конструктором виходячи з прогнозованих швидкісних і навантажувальних режимів функціонування на стадії проектування. Вони повинні бути забезпечені технологічними процесами виготовлення окремих зубчастих коліс і збірки передач на їх основі.

До складу вимог входять: а) норми кінематичної точності; б) норми плавності роботи; в) норми контакту зубів; г) норми бічного зазору.

Поелементний контроль параметрів зубчастого зачеплення полягає в перевірці відповідності значень окремих параметрів вимогам стандарту. Дані, одержувані при диференційованому контролі зубчастих коліс, дозволяють оперативно проводити підналадку технологічного обладнання для попередження можливого браку або вчасно проводити регламентне обслуговування.

Крок зачеплення (основний крок) і крок (окружний крок) зубчастих коліс відносяться до групи норм плавності роботи, так як крокові відхилення порушують плавність при вході в зачеплення і виході кожного наступного зубця, викликають вібрацію передачі і механізму, підвищують шум при роботі передачі. Контроль кроку зачеплення і кроку зубчастих коліс полягає у вимірі відхилень кроків виготовленого колеса від їх номінальних значень.

ГОСТ 8.459-82 «Прилади для вимірювання різниці кроків зубчастих коліс. Методи і засоби перевірки» визначає перелік накладних приладів для вимірювання різниці кроків зубчастих коліс, а також встановлює методи і засоби їх первинної та періодичної повірок.

Вимірювання накопиченої похибки кроку проведемо в два етапи:

1. Визначення модуля зубчастого колеса (рис. 1). Так як кількість зубців шестерні $z_1 = 27$, то для першого виміру приймаємо $n = 3$ (рис. 1, а). При повторному вимірі штангенциркулем охоплюється на один зубець більше: $n + 1$, тобто вимірюється відстань між 4 зубцями (рис. 1, б).



а) вимірювання відстані між 3 зубцями б) вимірювання відстані між 4 зубцями

Рис. 1. Вимірювання відстані між зубцями

Крок зачеплення по основній окружності: $P_t^b = 42,82 - 31,13 = 11,69 \text{ мм}$.

Знаючи величину кроку зачеплення за основною окружністю, можна визначити значення нормального модуля зубчастого зачеплення:

$$m_n = \frac{P_t^b}{\pi \cos \alpha},$$

де α - кут зачеплення ($\alpha = 20^\circ$).

Тоді:

$$m_n = \frac{P_t^b}{\pi \cos \alpha} = \frac{11,69}{\pi \cdot 0,939} = 3,96 \text{ мм}.$$

Отримане значення модуля необхідно уточнити, округляючи до найближчого стандартного значення (ГОСТ 9563-60 «Основні норми взаємозамінності. Колеса зубчасті. Модулі»). Остаточного приймаємо для подальших обчислень $m_n = 4,0 \text{ мм}$.

2. Визначення накопиченої похибки кроку (рис. 2). Для визначення накопиченої похибки кроку F_{Pr} знаходимо послідовно відхилення всіх кроків. Показання приладу D_{Pi} мікрометрів заносимо в таблицю 1.

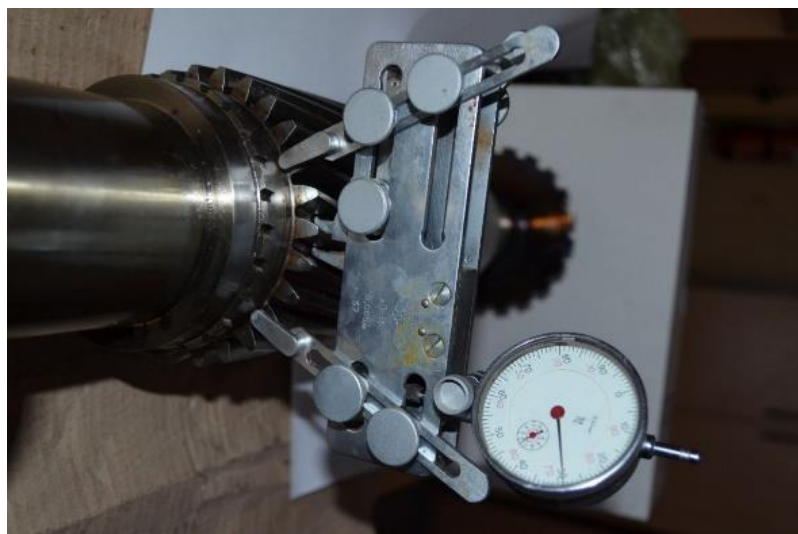


Рис. 2. Підготовка до визначення накопиченої похибки кроку

Отримані результати не дозволяють визначити безпосередньо дійсний стан кожної бічної сторони зубців щодо їх рівномірного теоретичного положення, оскільки при цьому методі вимірювання не застосовується ділильний пристрій, який міг б забезпечити необхідний теоретично кутовий поворот.

Таблиця 1

Показання вимірювань приладу

| № зуба | Показання приладу, мкм | № зуба | Показання приладу, мкм |
|--------|------------------------|--------|------------------------|
| 1 | 0 | 15 | 5 |
| 2 | 5 | 16 | 0 |
| 3 | 5 | 17 | 5 |
| 4 | 3 | 18 | 3 |
| 5 | 8 | 19 | 4 |
| 6 | -3 | 20 | 0 |
| 7 | -5 | 21 | -2 |
| 8 | -10 | 22 | -1 |
| 9 | -2 | 23 | -5 |
| 10 | 0 | 24 | 0 |
| 11 | 5 | 25 | 2 |
| 12 | -2 | 26 | -3 |
| 13 | 3 | 27 | -5 |
| 14 | 10 | | |

Для визначення дійсного стану бічних сторін зубів застосуємо графічний і аналітичний методи. При графічному методі по осі X (рис. 3) вкажемо номери кроків, а по осі Y – показання приладу.

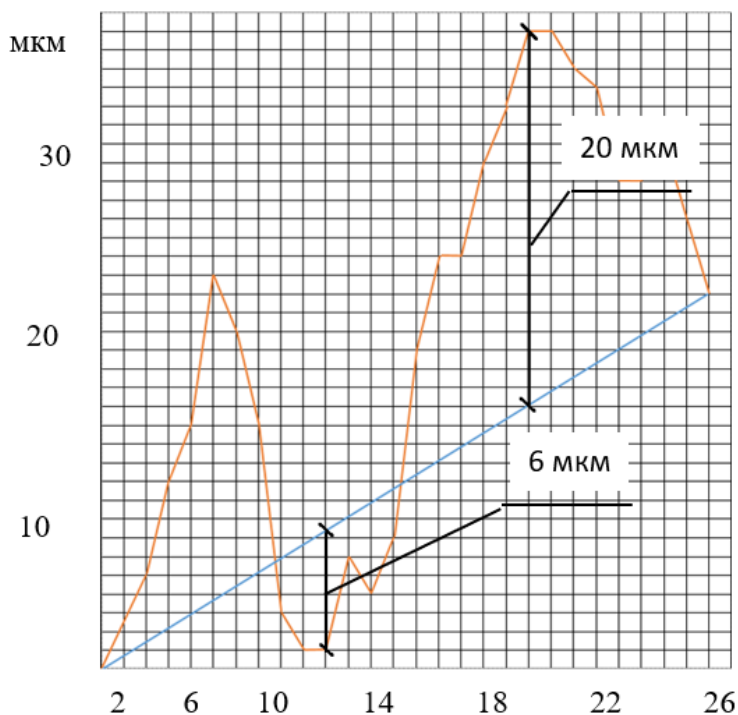


Рис. 3. Графік накопиченої похибки окружного кроку

При чому показання для кожного наступного кроку відкладаємо з урахуванням знаку по осі X , а від ординати попереднього кроку, тобто кожне наступне показання, алгебраїчно додаємо до суми попередніх. З огляду на те, що прилад налаштовується не по середньому кроку колеса, а по першому ліпшому, остання точка отриманої кривої зазвичай залишається поза віссю X . Для знаходження накопиченої похибки потрібно провести допоміжну лінію, що сполучає останню крапку кривої з початком координат, і від неї вести відлік відхилень. У розглянутому прикладі накопичена похибка становить: $FP_r = +20 - (-6) = 26$ мкм.

При аналітичному методі за результатами вимірювань спочатку визначимо середнє значення показань за формулою: $\bar{\Delta p} = \frac{\sum \Delta p_i}{z}$.

$$\text{У проведеному експерименті: } \bar{\Delta p} = \frac{\sum \Delta p_i}{z} = \frac{20}{27} = 0,75 \text{ мкм.}$$

Далі знаходимо відхилення кроків від середнього значення $\Delta p_i - \bar{\Delta p}$. Потім накопичену похибку кроку, послідовно підсумовуючи відхилення кроків від середнього з урахуванням знаку (табл. 2).

Накопичену похибку кроку зубчастого колеса визначимо, як алгебраїчну різницю найбільших позитивних і негативних значень накопичених похибок кроків. У нашому дослідженні: $FP_r = +19,75 - (-6,5) = 26,25$ мкм.

Таблиця 2

Показники накопиченої похибки кроку

| Відхилення кроку від середнього значення, мкм | Накопичена похибка кроку, мкм | Відхилення кроку від середнього значення, мкм | Накопичена похибка кроку, мкм |
|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| -0,75 | -0,75 | 4,25 | 10,75 |
| 4,25 | 3,5 | -0,75 | 10,0 |
| 4,25 | 7,75 | 4,25 | 14,25 |
| 2,25 | 10,0 | 2,25 | 16,5 |
| 7,25 | 17,25 | 3,25 | 19,75 |
| -3,75 | 13,5 | -0,75 | 19,0 |
| -5,75 | 7,75 | -2,75 | 16,25 |
| -10,75 | -3,0 | -1,75 | 14,5 |
| -2,75 | -5,75 | -5,75 | 8,75 |
| -0,75 | -6,5 | -0,75 | 8,0 |
| 4,25 | -2,25 | 1,25 | 9,25 |
| -2,75 | -5,0 | -3,75 | 5,5 |
| 2,25 | -2,75 | -5,75 | -0,25 |
| 9,25 | 6,5 | | |

Для висновку про відповідність досліджуваного зубчастого колеса показником ступеня точності необхідно порівняти величину накопиченої похибки FP_r , отриману графічним і аналітичним методами з допуском на накопичену погрішність F_p [5]. Для проведеного вимірювання зубчасте колесо з числом зубців

$z = 27$ і модулем зачеплення $m_n = 4,0$ мм відповідає частоті циклічної похибки, яка дорівнює числу зубців (діапазон $z = 16 \dots 32$) і діапазону значень модуля $m_n = 3,5 \dots 6,3$ мм. Регламентовані значення лежать в діапазоні від 24 до 33 мкм.

Для вимірних і обчислених значень по величині накопиченої похибки вказане зубчасте колесо відповідає 8 ступеню точності за показником плавності роботи. Так як вимірний показник точності за нормами плавності відповідає вимогам вищевказаного стандарту [5], плавність роботи передачі допускається не контролювати в умовах виробництва.

Таким чином, величина похибки виготовлення за нормами плавності, як це було показано вище, безпосередньо пов'язана з коливаннями навантажень по фазі зачеплення і вібраціями, які генеруються зубчастою передачею. Управління величиною цих коливань при конструюванні і виготовленні зубчастих коліс в певній мірі дозволяє управляти динамічною складовою навантаженості, амплітудою змушених поздовжніх і крутильних коливань і, як наслідок, впливати на шум і вібрації.

В роботі пропонується використовувати зубчасті колеса з профільною модифікацією вершини або біля основи зубця (фланкування) і (або) збільшеною висотою зубців [6]. При цьому в ряді випадків збільшення висоти головки зубців в поєднанні з 8-им і вище ступенем точності дозволяє досягти значення коефіцієнта торцевого перекриття $\xi \alpha \approx 2$, що забезпечує істотно менші, у порівнянні зі стандартизованим профілем, коливання робочого навантаження в фазі зачеплення.

Застосування цифрових систем управління дозволяє безпосередньо застосувати результати вимірювання зубчастих коліс для підвищення якості. У традиційних технологіях підвищення точності вимагало зміни технології, зміни конструкції пристроїв, ремонту і модернізації верстатів. Для верстатів з ЧПУ для цього досить ввести в коректори значення похибки обробленої деталі і при обробці наступної деталі похибки вже будуть компенсовані. Таким чином, отримані в результаті вимірювання зубчастого вінця значення відхилень застосовуються в сучасній технології для коригування налагодження верстата. Метою цього коригування може бути не тільки підвищення якості обробленого вінця, а й оптимізація параметрів зубчастого зачеплення. Як наслідок, методи і обладнання для контролю зубчастих вінців все глибше інтегруються в виробничий процес механічної обробки.

Висновок. Сучасний фахівець-матеріалознавець повинен мати глибокі знання і повну інформацію про продукцію, матеріали та їх властивості; виробничі процеси на підприємстві; організаційні засади розміщення цих процесів на виробництві. Також він повинен вміти визначати показники якості продукції, що виробляється; проводити вимірювання цих показників, використовуючи відповідне метрологічне забезпечення; знати не тільки, як застосовувати той чи інший засіб вимірювання, а й розуміти, де ці вимірювання використовуються; управляти цим процесом.

Перелік посилань

1. Закон України про захист прав споживача (н.д). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12>

2. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність (н.д.). Взято з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
3. Освітньо-професійні програми вищої освіти. Спеціальність 132 «Матеріалознавство». (н.д.). Взято з http://okmm.nmu.org.ua/ua/plans.php#.Xor_hogzbDc
4. Зіборов, К.А., Федоряченко, С.О., & Ремесло, М.В. (2019) Експериментальне дослідження мікроструктурі матеріалу. *Збірник наукових праць міжнародної конференції «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості та транспорту 2019»*, 56-60.
5. ГОСТ 1643-81 Основні норми взаємозамінності. Передачі зубчасті циліндричні. Допуски (1981).
6. Орлов, П.И. (1988). *Основы конструирования: Справочно-методическое пособие, Машиностроение*.

АННОТАЦІЯ

Цель работы заключається в обосновании необходимости применения при подготовке специалиста-материаловеда компетенций, которые позволят ему выполнять задачу управления качеством промышленного производства. В результате успешного освоения приемов и правил метрологической экспертизы студент получает профессиональные качества в сфере производственно-технологической деятельности, позволяющие выполнять разработку и экспертизу новых технических регламентов, национальных стандартов, стандартов организаций и другой нормативной документации, управлять аккредитации измерительных и испытательных лабораторий и подразделений, рекламационной работой и анализом причин брака и нарушения технологий, обеспечивать адаптацию нормативно-технической документации к модернизации, унификации выпускаемой продукции, и функционированию самого предприятия.

Методика исследований заключается в обосновании требований о необходимости обеспечения постоянного соответствия между свойствами новых материалов, применяемых в машиностроении, и все более жесткими условиями их работы.

Результаты исследований. Установлено и обосновано методики проверки качества готовой продукции согласно стандарта, что позволяет проверку не по всем параметрам, а по комплексам с нескольких параметров в каждой группе. В этом случае нужны разные метрологические средства. Обосновано материально-техническое обеспечение метрологической лаборатории, которая проверяет зубчатые колеса с меоб соответствия результатов ДСТУ.

Научная новизна. Предложены методики по определению накопленной погрешности окружного шага зубчатых колес с применением лабораторного оборудования и случайного отобранных образцов продукции, которые могут быть адаптированы для широкой номенклатуры производственных позиций.

Практическое значение. Представленные методики позволяют оценить качество готовой продукции и соответственно проводить мониторинг и настройка производственной линии с целью поддержания заданного уровня точности по контролируемым параметрам.

Ключевые слова: компетентность, показатели качества, зубчатое зацепление, погрешность шага.

ABSTRACT

The purpose of the work is to substantiate the need to use in the training of a specialist in materials science, that will allow performing the task of quality management of industrial production. As a result of successful mastering of methods and rules of metrological examination the student receives

professional qualities in the field of production and technological activity, allowing to carry out development and examination of new technical regulations, national standards, standards of organizations and other normative documentation. work and analysis of the causes of shortages and violations of technology, to ensure the adaptation of regulatory and technical documentation to modernization, unification of products and the functioning of the enterprise.

The research methodology is to substantiate the requirements for the need to ensure constant compliance between the properties of new materials used in mechanical engineering, and increasingly stringent working conditions.

Research results. Methods of checking the quality of finished products according to the Standard have been established and substantiated, which allows checking not on all parameters, but on complexes of several parameters in each group. In this case, various metrological tools are required. The material and technical support of the metrological laboratory, which checks the gears for compliance with the results of DSTU, is substantiated.

Scientific novelty. Methods for determining the accumulated error of the circumferential pitch of gears with the use of laboratory equipment and randomly selected product samples are proposed. The methods can be adapted to a wide range of production items.

Practical meaning. The presented methods allow to assess the quality of finished products and, accordingly, to monitor and adjust the production line in order to maintain a given level of accuracy for controlled parameters. As a result, the quality of production can be controlled by enrolling the developed mathematical models.

Keywords: *competence, quality indicators, gearing, step error.*