

## КОНТРОЛЬ МОМЕНТУ ЗАГВИНЧУВАННЯ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ ВУЗЛІВ ТА АГРЕГАТІВ МАШИН І ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*У статті представлено процес загвинчування та відгвинчування нарізних з'єднань вузлів та агрегатів машин і засобів механізації сільськогосподарського виробництва. Запропоновано спосіб контролю моменту загвинчування нарізного з'єднання.*

### ВСТУП

Недостатня надійність існуючої сільськогосподарської техніки спричиняє зниження її продуктивності, значної втрати продукції, збільшення непродуктивного часу і коштів на забезпечення її працездатності [1].

У конструкціях машин нарізні з'єднання складають 15–25 % від загальної кількості з'єднань і понад 60 % деталей мають нарізання [1]. Найчастіше застосовуються малі розміри нарізі М6–М16, рідше – великі розміри до М30. Провідну роль в процесі складання нарізних з'єднань займають операції по їх загвинчуванню.

Надійність нарізного з'єднання визначається точністю реалізації розрахункового зусилля загвинчування, стабільністю зусилля в період експлуатації, рівномірністю розподілу зусиль загвинчування в груповому різьбовому з'єднанні. Для надійного і герметичного з'єднання вузла головною умовою при складанні нарізних з'єднань є забезпечення точності і рівномірності розподілу розрахункового зусилля попереднього загвинчування. Попереднє загвинчування створює певне контактне напруження на стику деталей, що з'єднуються, яке повинно забезпечити необхідну щільність і герметичність стику при дії зовнішнього (робочого) навантаження на з'єднання, що виникає в процесі роботи вузла. Величина розрахункового зусилля загвинчування визначається в процесі проектування вузла конструктором, а точність реалізації цього зусилля і рівномірність розподілу зусиль загвинчування забезпечується в процесі складання різними методами.

За даними випробувань сільськогосподарської техніки, що випускається вітчизняними виробниками, неточне складання становить 10–20 % всіх відмов. Середнє напруження на відмову тракторів сільськогосподарського призначення в 3 рази нижче нормативного показника, бо в перші місяці експлуатації у більшості з них спостерігається деформація і руйнування деталей, що утворюють з'єднання, порушення міцності кріплення, герметичності стику і т. д. [2].

Аналіз стану різьбових з'єднань, виконаний авторами, показав, що в перший період експлуатації машин сільськогосподарського призначення переважають виробничі відмови. Такі висновки узгоджуються з результатами інших дослідників [3]. Виробничі відмови є наслідком недосконалості технології складання нарізних з'єднань як при виготовленні на машинобудівних заводах, так і при виконанні операцій технічного обслуговування в процесі експлуатації машин і при їх ремонті в умовах сільськогосподарського виробництва.

При виробництві машин причиною неточності складання нарізних з'єднань є великий інтервал допустимої (рекомендованої) величини моменту загвинчування [4], що не виключає відхилення від розрахункового зусилля загвинчування, що забезпечує щільність стику.

При технічному обслуговуванні машин, що мають певне напруження, точність складання не забезпечується через зміни стану поверхні нарізів і коефіцієнтів тертя в нарізних з'єднаннях в процесі експлуатації. Відхилення від розрахункового зусилля загвинчування в меншу або більшу сторону є причиною виникнення нерівномірності розподілу зусиль загвинчування в процесі складання групових нарізних з'єднань.

В результаті неточного і нерівномірного загвинчування, стабільність нарізних з'єднань в процесі роботи машини не забезпечується. Неточне загвинчування може стати причиною відмов при експлуатації у вигляді підвищеної вібрації, розгерметизації стиків вузлів, інтенсивного зносу і руйнування нарізних з'єднань, деформації деталей. Така неточність складання призводить до подальшого трудомісткого ремонту.

Тому зусилля загвинчування нарізних з'єднань повинно контролюватися [5] з певною точністю як на стадії виробництва, так і при технічному обслуговуванні машин.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

При загвинчуванні нарізного з'єднання за допомогою ключа, до гайки або головки болта прикладається момент загвинчування  $T_3$ , який створюється силою  $P_{кл}$  на ключі довжиною  $l_{кл}$  (рис. 1) [7, 8]. Величина моменту загвинчування  $T_3 = P_{кл} l_{кл}$ . У нарізному з'єднанні момент затяжки  $T_3$ , витрачається на подолання тертя торця гайки (головки болта) об нерухому опорну поверхню деталей, що з'єднуються (момент  $T_T$ ), і на подолання тертя в нарізному з'єднанні «болт-гайка» (момент  $T_P$ ). Якщо припустити, що при цьому болт навантажується осьовою силою  $F$ , то для будь-яких гвинтових пар (болтів, гвинтів, шпильок і гвинтових механізмів) будуть справедливі розрахункова схема, представлена на рис. 1, і така рівність [6–10]:

$$T_3 = T_T + T_P. \quad (1)$$

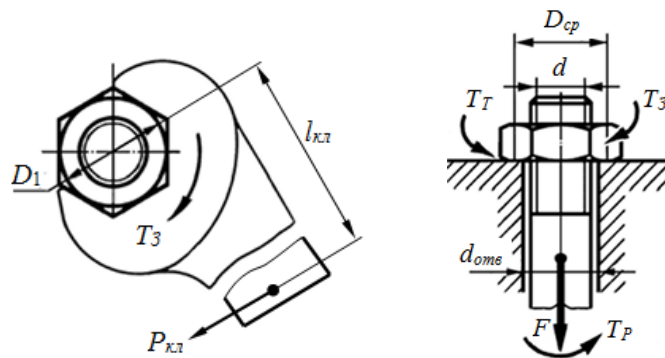


Рисунок 1 – Схема для визначення основних параметрів та сил в гвинтовій парі

Рівність (1), так само як і наступні залежності, справедливі для будь-яких гвинтових пар.

Не допускаючи значних похибок, вважаємо приведені радіуси сил тертя на опорному торці гайки рівним середньому радіусу цього торця, або  $D_{cp}/2$ . При цьому

$$T_T = Ff(D_{cp}/2), \quad (2)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя на опорному торці гайки, який рівний коефіцієнту тертя фрикційної пари металів, з яких виготовлені гайка і деталь, що приєднується;  $D_{cp} = (D_1 + d_{омс})/2$  – приведений діаметр сил тертя на опорному торці гайки;  $D_1$  – зовнішній діаметр опорного торця гайки;  $d_{омс}$  – діаметр отвору під гвинт.

Момент сил тертя в нарізі визначимо, розглядаючи гайку як повзун, який підіймається по витках нарізів, як по похилій площині (рис. 2). З відомої теореми [11] механіки, враховуючи сили тертя, повзун знаходиться в стані рівноваги, якщо рівнодійна  $F_n$  системи зовнішніх сил відхилена від нормалі  $n$  –  $n$  на кут тертя  $\varphi$ . В нашому випадку зовнішніми є осьова сила  $F$  та окружна сила  $F_t = 2T_P/d_2$  (де  $d_2$  – середній діаметр різьби).

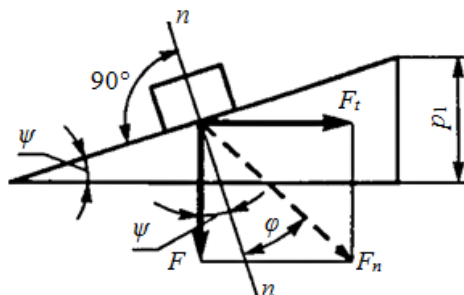


Рисунок 2 – Схема дії сил в гвинтовій парі при загвинчуванні

Далі (див. рис. 2)  $F_t = F \operatorname{tg}(\psi + \varphi)$  або

$$T_P = 0,5 F d_2 \operatorname{tg}(\psi + \varphi), \quad (3)$$

де  $\psi$  – кут підйому різьби,  $\psi = p_1/\pi d_2 = nP/\pi d_2$  (де  $p_1$  – хід різьби;  $P$  – крок різьби;  $n$  – кількість заходів);  $\varphi = \operatorname{arctg} f_{np}$  – приведений кут тертя в різьбі;  $f_{np} = f/\cos(\alpha/2)$  – приведений коефіцієнт тертя в різьбі;  $\alpha$  – кут профілю нарізів.

Перетворивши вираз (3) отримаємо:

$$T_P = 0,5 F d_2 \operatorname{tg}(f_{np} + nP/(\pi d_2)), \quad (4)$$

Підставивши в рівність (1) значення моментів  $T_T$  і  $T_P$ , отримаємо

$$T_3 = 0,5 F d_2 [(D_{cp}/d_2)f + \operatorname{tg}(\psi + \varphi)] = 0,5 F d_2 [(D_{cp}/d_2)f + f_{np}] + FP/(2\pi). \quad (5)$$

Метричні нарізи різних діаметрів без істотних похибок можна вважати геометрично подібними. Використовуючи цю властивість момент загвинчування  $T_3$  нарізного з'єднання можна визначити по більш простому співвідношенню.

Прийmemo в якості параметрів рівняння (5) їх середні значення:

- відповідно до ГОСТ 24705-2004 і ГОСТ 8724-2002 [12, 13] кут підйому для великих нарізів М8-М48 знаходиться в межах  $\psi \approx 2^\circ 04' - 3^\circ 08'$  (середнє значення  $\psi \approx 2^\circ 30'$ ), для дрібних нарізів М8-М48 з мінімальним кроком  $\psi \approx 0^\circ 40' - 2^\circ 50'$  (середнє значення  $\psi \approx 2^\circ$ );

- середній діаметр  $d_2$  для великих нарізів знаходиться в межах  $d_2 \approx (0,92 - 0,94)d$  (середнє значення  $d_2 \approx 0,93d$ , де  $d$  – зовнішній діаметр нарізів), для дрібних нарізів М8-М48 з мінімальним кроком  $d_2 \approx (0,96 - 0,98)d$  (середнє значення  $d_2 \approx 0,97d$ );

- середній діаметр сил тертя  $D_{cp}$  для низьких і високих шестигранних гайок класу точності А (ГОСТ 5929-70 і ГОСТ 5931-70) знаходиться в межах  $D_{cp} \approx (1,27 - 1,33)d$  (середнє значення  $D_{cp} \approx 1,3d$ );

- коефіцієнт тертя в нормальному метричному нарізі без покриття і без мастильного матеріалу  $f_{np} = 0,3$  (при цьому кут тертя  $\varphi = 16^\circ 40'$ ), при наявності мастила  $f_{np} = 0,15$  (при цьому кут тертя  $\varphi = 8^\circ 30'$ );

- коефіцієнт тертя опорного торця гайки без мащення  $f = 0,26$  (при цьому кут тертя  $\varphi = 14^\circ 40'$ ), при наявності мастила коефіцієнт тертя  $f = 0,10$  (при цьому кут тертя  $\varphi = 5^\circ 50'$ ).

Після проведення необхідних перетворень отримаємо такі прості залежності для визначення моменту загвинчування  $T_3$  нарізних з'єднань з метричним нарізом, використовуючи всього два параметри:

- для з'єднань з великим нарізом без покриття і мастильного матеріалу

$$T_3 \approx 0,331 F d; \quad (6.1)$$

- для з'єднань з великим нарізом без покриття при наявності мастильного матеріалу

$$T_3 \approx 0,152 F d; \quad (6.2)$$

- для з'єднань з дрібним нарізом без покриття і мастильного матеріалу

$$T_3 \approx 0,333 F d; \quad (6.3)$$

- для з'єднань з дрібним нарізом без покриття при наявності мастильного матеріалу

$$T_3 \approx 0,155 F d. \quad (6.4)$$

При відгвинчуванні гайки обертова сила  $F_t$  і сили тертя змінюють напрямок (див. рис. 3). При цьому отримаємо

$$F_t = F \operatorname{tg}(\varphi - \psi). \quad (7)$$

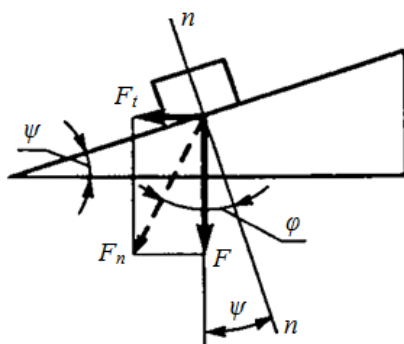


Рисунок 3 – Схема дії сил в гвинтовій парі при відгвинчуванні

Момент, необхідний для відгвинчування гайки або болта  $T_e$  (зворотний по напрямку моменту загвинчування  $T_z$ ), отримують з рівності (5), замінивши знак кута підйому нарізів  $\psi$  на від'ємний:

$$T_e = 0,5 F d_2 [(D_{cp}/d_2)f + \operatorname{tg}(\varphi - \psi)] = 0,5 F d_2 [(D_{cp}/d_2)f + f_{np}] - FP/(2\pi). \quad (8)$$

При відсутності тертя на опорному торці гайки, другий член рівняння (8) вилучається.

Для середніх значень параметрів рівняння (8), зазначених вище, можна отримати прості залежності для розрахунку моменту відгвинчування  $T_e$  нарізних з'єднань:

- для з'єднань з великим нарізом без покриття і мастильного матеріалу

$$T_e \approx 0,278Fd; \quad (9.1)$$

- для з'єднань з великим нарізом без покриття при наявності мастильного матеріалу

$$T_e \approx 0,114Fd; \quad (9.2)$$

- для з'єднань з дрібним нарізом без покриття і мастильного матеріалу

$$T_e \approx 0,285Fd; \quad (9.3)$$

- для з'єднань з дрібним нарізом без покриття при наявності мастильного матеріалу

$$T_e \approx 0,120Fd; \quad (9.4)$$

Аналіз залежностей (9.1–9.4) показує, що відношення моменту загвинчування  $T_z$  без мащення з'єднання до моменту загвинчування  $T_z$  з мащенням з'єднання практично однакові для великих і дрібних нарізів і становить відповідно 2,17 і 2,15. Застосування мастила значно полегшує монтаж нарізних з'єднань, скорочує час складання. При розбиранні нарізних з'єднань ця тенденція зберігається і навіть збільшується до 2,52 і 2,46 рази відповідно для великих і дрібних нарізів. Відношення моменту загвинчування  $T_z$  без змащення з'єднання до моменту відгвинчування  $T_e$  практично однакові для великих та дрібних нарізів і становить відповідно 1,15 і 1,13. Це ж відношення моменту для змащеного з'єднання для великих і дрібних нарізів становить відповідно 1,34 і 1,29.

Моменти загвинчування  $T_3$  нарізних з'єднань з дрібним нарізом і моменти загвинчування нарізних з'єднань з великим нарізом без змащення та зі змащенням практично дорівнюють одиниці (їх відношення рівні 1,01 і 1,02 відповідно). При розбиранні нарізних з'єднань ця тенденція зберігається як для великих, так і дрібних нарізів (їх відношення рівні 1,03 і 1,06 відповідно). Відношення моменту загвинчування  $T_3$  з'єднань з дрібним нарізом і без змащення до моменту відгвинчування  $T_6$  з'єднань з великим нарізом і також без змащення становить 1,16. Це ж відношення для змащеного з'єднання складає 1,36. Відношення моменту відгвинчування  $T_6$  з'єднань з дрібним нарізом до моменту загвинчування  $T_3$  з'єднань з великим нарізом і без змащення становить 0,90. Це ж відношення для змащеного з'єднання становить 0,79.

Для нарізних з'єднань сільськогосподарських машин і устаткування, що тривалий час працюють в несприятливих експлуатаційних умовах (висока вологість, наявність агресивних речовин, забрудненість і корозія нарізів), момент відгвинчування  $T_6$  може збільшуватися до 1,5 і більше разів в порівнянні з новими з'єднаннями. Тому для нарізних з'єднань сільськогосподарських машин і устаткування, експлуатація яких тривала досить довго, будуть справедливими такі залежності для розрахунку моменту відгвинчування  $T_6$ :

- для з'єднань з великим нарізом без покриття і змащення

$$T_6 \approx 0,431Fd; \quad (10.1)$$

- для з'єднань з великим нарізом без покриття при наявності мастильного матеріалу

$$T_6 \approx 0,171Fd; \quad (10.2)$$

- для з'єднань з дрібним нарізом без покриття і мастильного матеріалу

$$T_6 \approx 0,428Fd; \quad (10.3)$$

- для з'єднань з дрібним нарізом без покриття при наявності мастильного матеріалу

$$T_6 \approx 0,150Fd. \quad (10.4)$$

Відомо, що всі нарізи при статичних навантаженнях мають властивості самогальмування, тобто при дії на нарізне з'єднання розтягувального навантаження гайка не повертається навколо своєї осі і не переміщається по нарізу, а, отже, не зміщується в осьовому напрямку. Тому з часом нарізне з'єднання не послаблюється, стик деталей, що з'єднуються, залишається затягнутим.

Самовідгвинчуванню гайки перешкоджають діючі моменти сил тертя в нарізах  $T_p \approx F \frac{d_2}{2} f_{np}$  і сил

тертя на опорному торці гайки  $T_T = F \frac{D_{op}}{2} f$ . В загальному випадку сума цих моментів перевищує величину моменту відгвинчування  $T_6$ , який можна визначити з такого виразу [8] (без урахування сил тертя в нарізах):

$$T_6 = F \frac{d_2}{2} \operatorname{tg} \psi. \quad (11)$$

Однак при систематичних або випадкових вібраціях, що спричиняють взаємне зміщення деталей, зазначені вище співвідношення порушуються: коефіцієнти тертя в нарізах і на торці гайки істотно зменшуються (відповідно на 70–85 % і 75–80 %) [8]. При значенні коефіцієнтів тертя нижче 0,02 для нарізів М10 порушується самогальмування між болтом і гайкою, що спричиняє розгвинчування нарізного з'єднання.

При вібраціях, що носять випадковий або систематичний характер і пов'язані в більшості випадків з перекосом опорних поверхонь (при монтажі або експлуатації), можуть бути короточасні

періоди, коли гайка стає майже вільною від осьових сил. В результаті навіть незначні бічні сили можуть викликати її поворот.

При дії зовнішніх сил в площині стику розгвинчування може відбуватися при наявності залишкової сили загвинчування, наприклад, коли момент, що передається тертям на головку болта більший за момент розгвинчування в різьбі, і менший за момент загвинчування. Аналогічний результат виходить при зміщенні деталей, що з'єднуються, який можна розглядати як обертальний рух навколо осі болта (наприклад, в з'єднанні маховика і колінчастого вала двигуна внутрішнього згоряння, в з'єднанні муфт та ін.).

В процесі експлуатації машин і устаткування нарізні з'єднання вузлів схильні до механічного зносу, дії на них корозії. Поверхня нарізів забруднюється та піддається корозії, змінюється шорсткість робочих поверхонь нарізів, профіль нарізів деформується і зношується. Під впливом вібрацій і змінних навантажень в нарізних з'єднаннях виникають відносні мікропереміщення робочих поверхонь нарізів, що є причиною їх зносу в умовах фретинг-корозії [14]. В результаті коефіцієнти тертя розсіюються в широкому діапазоні від 0,05 до 0,5. Це є головним недоліком контролю зусилля загвинчування по моменту.

Варто зазначити, що відновлення робочої поверхні нарізних з'єднань різними способами також вплине на залежність моменту від зусилля загвинчування. У таких випадках для забезпечення розрахункового зусилля, моменти загвинчування повинні бути заново розраховані з урахуванням зміни відповідних складових залежності (5).

На основі вищевикладеного можна сказати, що загвинчування нарізних з'єднань вузлів машин, що мають певне напруження, з рекомендованим моментом не забезпечить розрахункового (необхідного для надійного з'єднання) зусилля, а також рівномірності розподілу зусиль в групових нарізних з'єднаннях.

Для реалізації розрахункового зусилля загвинчування необхідно визначити новий момент  $T_{кл}$ , з урахуванням фактичного стану нарізів і коефіцієнтів тертя, що є досить трудомістким прийомом. В такому випадку залежність між моментом на ключі і зусиллям загвинчування можна встановити по відношенню моментів відгвинчування і загвинчування, без урахування коефіцієнтів тертя.

Розв'язуючи спільно рівняння (5) і (8), отримуємо:

$$T_{кл} = \frac{FP}{\pi \left(1 - \frac{T_6}{T_3}\right)}. \quad (12)$$

Вираз (12) являє собою залежність моменту на ключі від розрахункового (заданого) зусилля загвинчування і кроку нарізів з урахуванням фактичного стану нарізів і коефіцієнтів тертя, які характеризуються відношенням  $T_6/T_3$ .

Знаючи розрахункове зусилля загвинчування, крок нарізів, рекомендований момент загвинчування  $T_3$ , а також визначивши частку від відношення  $T_6/T_3$ , можна встановити необхідний (достатній для надійного з'єднання) момент на ключі для конкретного нарізного з'єднання.

Якщо величина розрахункового зусилля на конкретну групу нарізних з'єднань вузла невідома, то для того, щоб визначити необхідний момент на ключі, величина зусилля затяжки  $F$  може бути встановлена, виходячи з умови [15] збереження щільності стику,

$$F = (1 - \chi) \nu F_{зов}, \quad (13)$$

де  $\chi$  – коефіцієнт основного навантаження (показує частку зовнішнього навантаження, що сприймається нарізним з'єднанням в загвинченому стані);  $\nu$  – коефіцієнт запасу щільності стику (залежить від виду зовнішнього навантаження);  $F_{зов}$  – зовнішнє навантаження, що діє на нарізну групу вузла.

В основному коефіцієнт основного навантаження приймають:

- для з'єднань сталевих і чавунних деталей без ущільнюючого елемента  $\chi = 0,2 \dots 0,3$ ;
- для з'єднань сталевих і чавунних деталей з ущільнюючим елементом (азбест, пароніт, гума та ін.)  $\chi = 0,4 \dots 0,5$ .

При постійних навантаженнях  $\nu = 1,25 \dots 2$ , при змінних  $\nu = 2,5 \dots 4$ .

Однак такий прийом вимагає встановлення величини зовнішнього навантаження  $F_{306}$ , що діє на різну групу вузла. При цьому повинна виконуватися умова [15]:

$$\sigma_F = F / A_B \leq 0,8\sigma_T, \quad (14)$$

де  $\sigma_F$  – допустиме напруження загвинчування, Н/мм<sup>2</sup>;  $A_B$  – площа поперечного перерізу болта (шпильки), мм<sup>2</sup>;  $\sigma_T$  – границя текучості матеріалу болта (шпильки), Н/мм<sup>2</sup>.

Тоді вираз (12) набуде вигляду

$$T_{кл} = \frac{(1-\chi) \nu F_{306} P}{\pi \left(1 - \frac{T_6}{T_3}\right)}. \quad (15)$$

У разі, коли величину зовнішнього навантаження встановити неможливо, розрахункове зусилля  $F$  можна прийняти, виходячи з практики призначення зусиль загвинчування нарізних з'єднань.

Напряга загвинчування болтів (шпильок) [15] з легованої сталі становить:

$$\sigma_F = (0,5 \dots 0,6) \sigma_T. \quad (16)$$

Напряга загвинчування болтів (шпильок) з вуглецевої сталі складає:

$$\sigma_F = (0,6 \dots 0,7) \sigma_T. \quad (17)$$

Момент на ключі в такому випадку визначається:

$$T_{кл} = \frac{0,25 d_1^2 K \sigma_T P}{\left(1 - \frac{T_6}{T_3}\right)}, \quad (18)$$

де  $d_1 = d - 1,0825P$  – внутрішній діаметр нарізів болта (шпильки), мм;  $K$  – коефіцієнт, що залежить від виду сталі болта: легована сталь (0,5...0,6), вуглецева сталь (0,6...0,7).

За допомогою залежностей (12), (15), і (18) можна реалізувати точність і рівномірність розподілу зусиль загвинчування при складанні групових різьбових з'єднань методом прикладання крутного моменту в процесі ремонту і технічного обслуговування машин, тим самим забезпечити стабільність з'єднань в процесі експлуатації і підвищити надійність як вузла, так і машини в цілому.

## ВИСНОВКИ

При наявності корозії, забруднення та мікропошкоджень нарізів, опір в нарізі та на опорній поверхні головки болта збільшується, а кут повороту болта при затягуванні зменшується.

Ці явища підтверджують можливість утворення нерівномірності розподілу зусиль при загвинчуванні групових з'єднань вузлів машин, які мають значне напручування.

Практика показала, що при змінному навантаженні нарізні з'єднання надійно працюють тільки в застопореному стані. Елементи застопорення нарізних з'єднань в найнесприятливішому випадку повинні компенсувати момент відгвинчування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Корнилович С. А. Повышение качества технологического процесса ремонта сельскохозяйственной техники на основе анализа его точности и стабильности : дис. ... доктора техн. наук : 05.20.03 / Станислав Антонович Корнилович. – СПб., 2000. – 405 с.
2. Жукова О. И. Повысить качество техники, поставляемой селу / О. И. Жукова // АПК: экономика и управление. – 2009. – № 7. – С. 2.
3. Курчаткин В. В. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин [и др.] ; под ред. В. В. Курчаткина. – М. : Колос, 2000. – 776 с.

4. ОСТ 37.001.050-73. Затыажка резьбовых соединений. Нормы затыажки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// exkavator.ru/other/files/gost/ost37.001.050-73.pdf](http://exkavator.ru/other/files/gost/ost37.001.050-73.pdf).
5. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. – 5-е изд. – М. : Машиностроение, 1980. – 592 с.
6. Иосилевич Г. Б. Прикладная механика / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Г. С. Маслов. – М. : Высшая школа, 1989. – 351 с.
7. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер, Б. Ф. Шор, Г. Б. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.
8. Иосилевич Г. Б. Затыажка и стопорение резьбовых соединений / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Ю. В. Шарловский. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.
9. Левицкий Д. А. Эксплуатация и ремонт механического оборудования агломерационных фабрик / Д. А. Левицкий. – М. : Государственное научно-техническое изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1963. – 252 с.
10. Семенча П. В. Редукторы горных машин / П. В. Семенча, Ю. А. Зислин. – М. : Недра, 1990. – 237 с.
11. Иванов М. Н. Детали машин : учебник для машиностроительных специальностей вузов / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 13-е изд. перераб. – М. : Высш. шк., 2010. – 408 с.
12. ГОСТ 24705-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ntcexpert.ru/documents/docs/normativs/gost-24705-2004.pdf](http://www.ntcexpert.ru/documents/docs/normativs/gost-24705-2004.pdf).
13. ГОСТ 8724-2002. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Диаметры и шаги. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.joinflex.ru/file\\_archive/GOST/8724-2002.pdf](http://www.joinflex.ru/file_archive/GOST/8724-2002.pdf).
14. Измайлов В. В. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования / В. В. Измайлов. – Тверь : ТГТУ, 2011. – 144 с.
15. Куклин Н. Г. Детали машин / Н. Г. Куклин, Г. С. Куклина. – М. : Высшая школа, 1987. – 383 с.

#### REFERENCES

1. Kornilovich S. A. Povysheniye kachestva tekhnologicheskogo protsessa remonta sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na osnove analiza yego tochnosti i stabil'nosti: dis. ... doktora tekhn. nauk : 05.20.03 / Stanislav Antonovich Kornilovich. – SPb., 2000. – 405 s.
2. Zhukova O. I. Povyisit' kachestvo tekhniki, postavlyayemoy selu / O. I. Zhukova // APK: ekonomika i upravleniye. – 2009. – № 7. – S. 2.
3. Kurchatkin V. V. Nadezhnost' i remont mashin / V. V. Kurchatkin [i dr.] ; pod red. V. V. Kurchatkina. – М. : Kolos, 2000. – 776 s.
4. OST 37.001.050-73. Zatyazhka rez'bovykh soyedineniy. Nor-my zatyazhki. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: [http:// exkavator.ru/other/files/gost/ost37.001.050-73.pdf](http://exkavator.ru/other/files/gost/ost37.001.050-73.pdf).
5. Novikov M. P. Osnovy tekhnologii sborki mashin i mekhanizmov / M. P. Novikov. – 5-ye izd. – М. : Mashinostroyeniye, 1980. – 592 s.
6. Iosilevich G. B. Prikladnaya mekhanika / G. B. Iosilevich, G. B. Stroganov, G. S. Maslov. – М. : Vysshaya shkola, 1989. – 351 s.
7. Birger I. A. Raschet na prochnost' detaley mashin / I. A. Birger, B. F. Shor, G. B. Iosilevich. – М. : Mashinostroyeniye, 1993. – 640 s.
8. Iosilevich G. B. Zatyazhka i stoporeniye rez'bovykh soyedineniy / G. B. Iosilevich, G. B. Stroganov, YU. V. Sharlovskiy. – М. : Mashinostroyeniye, 1985. – 224 s.
9. Levitskiy D. A. Ekspluatatsiya i remont mekhanicheskogo oborudovaniya aglomeratsionnykh fabrik / D. A. Levitskiy. – М. : Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izd-vo literatury po chernoy i tsvetnoy metallurgii, 1963. – 252 s.
10. Semench P. V. Reduktory gornyx mashin / P. V. Semench, YU. A. Zislin. – М. : Nedra, 1990. – 237 s.
10. Ivanov M. N. Detali mashin: uchebnik dlya mashinostroitel'nykh spetsial'nostey vuzov / M. N. Ivanov, V. A. Finogenov. – 13-ye izd. pererab. – М. : Vyssh. shk., 2010. – 408 s.
12. GOST 24705-2004. Osnovnyye normy vzaimozamenyayemosti. Rez'ba metricheskaya. Osnovnyye razmery. [yelektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: [www.ntcexpert.ru/documents/docs/normativs/gost-24705-2004.pdf](http://www.ntcexpert.ru/documents/docs/normativs/gost-24705-2004.pdf)



13. GOST 8724-2002. Osnovnyye normy vzaimozamenyayemosti. Rez'ba metricheskaya. Diametry i shagi. [yelektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: [www.joinflex.ru/file\\_archive/GOST/8724-2002.pdf](http://www.joinflex.ru/file_archive/GOST/8724-2002.pdf)
14. Izmaylov V. V. Mekhanika i fizika protsessov na po-verkhnosti i v kontakte tverdykh tel, detaley tekhnologicheskogo i energeticheskogo oborudovaniya / V. V. Izmaylov. – Tver': TGTU, 2011. – 144 s.
15. Kuklin N. G. Detali mashin / N. G. Kuklin, G. S. Kuklina. – M. : Vysshaya shkola, 1987. – 383 s.

**В. В. Біліченко<sup>1</sup>, Д. В. Борисюк<sup>1</sup>**

## **КОНТРОЛЬ МОМЕНТУ ЗАГВИНЧУВАННЯ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ ВУЗЛІВ ТА АГРЕГАТИВ МАШИН І ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

У статті викладені основні несправності, що виникають в процесі експлуатації сільськогосподарської техніки через неточне і нерівномірне загвинчування нарізних з'єднань при складанні вузлів.

Обґрунтовано недосконалість контролю зусилля загвинчування нарізних з'єднань за обертальним моментом, наведено теоретичну залежність моменту на ключі від зусилля загвинчування.

Запропоновано спосіб підвищення точності контролю зусилля загвинчування нарізних з'єднань за обертальним моментом.

**Ключові слова:** нарізь, нарізне з'єднання, момент загвинчування, коефіцієнт тертя, експлуатація, ремонт, технічне обслуговування.

*Біліченко Віктор Вікторович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [bilichenko\\_v@mail.ru](mailto:bilichenko_v@mail.ru)

*Борисюк Дмитро Вікторович*, інженер кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [bddv@mail.ru](mailto:bddv@mail.ru)

**V. Bilichenko<sup>1</sup>, D. Borysyuk<sup>1</sup>**

## **CONTROL MAKEUP TORQUE THREADED CONNECTION OF COMPONENTS AND ASSEMBLIES OF MACHINES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION**

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

The article describes the main faults that occur during the operation of agricultural machinery due to inaccurate and uneven screwing threaded connections in the assembly sites.

Grounded imperfect control efforts screwing threaded connections in torque, given are theoretical dependence on key moment of screwing effort.

A method of improving the accuracy of control efforts screwing the threaded connections of torque is provided.

**Key words:** thread, screw connections, screwing torque, coefficient of friction, operation, repair, maintenance.

*Bilichenko Victor*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of automobiles and transport management, Vinnitsia National Technical University, e-mail: [bilichenko\\_v@mail.ru](mailto:bilichenko_v@mail.ru)

*Borysyuk Dmytro*, engineer of the department of automobiles and transport management, Vinnitsia National Technical University, e-mail: [bddv@mail.ru](mailto:bddv@mail.ru)

## КОНТРОЛЬ МОМЕНТА ЗАВИНЧИВАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ МАШИН И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

В статье изложены основные неисправности, возникающие в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники из-за неточного и неравномерного завинчивания резьбовых соединений при сборке узлов.

Обоснованно несовершенство контроля усилия завинчивания резьбовых соединений по крутящему моменту, приведена теоретическая зависимость момента на ключе от усилия завинчивания.

Предложен способ повышения точности контроля усилия завинчивания резьбовых соединений по крутящему моменту.

**Ключевые слова:** резьба, резьбовые соединения, момент завинчивания, коэффициент трения, эксплуатация, ремонт, техническое обслуживание.

*Биличенко Виктор Викторович*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобилей и транспортного менеджмента, Винницкий национальный технический университет, e-mail: bilichenko\_v@mail.ru

*Борисюк Дмитрий Викторович*, инженер кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, Винницкий национальный технический университет, e-mail: bddv@mail.ru