

## ВИЗНАЧЕННЯ ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ КРИТЕРІАЛЬНИХ ЗА РОЗМІРАМИ

*Представлено огляд розрахунків довговічності за критерієм втомної міцності деталей, для яких неможливо забезпечити необхідні запаси міцності зміною геометричних параметрів небезпечного перерізу. Обґрунтовується залежно від стадії проектування вибір розрахунків в детермінованій та ймовірнісній постановці.*

*Ключові слова: проектування, розрахунки, довговічність, панчішно-шкарпетковий автомат.*

L. M. BEREZIN

Kyiv national university of technologies and design, Ukraine

### DETERMINATION OF FATIGUE DURABILITY OF DETAILS CRITERION BY SIZE

*Abstract – The purpose of the article is a ground of choice of the determined or probabilistic raising at the calculations of longevity after the criterion of fatigue strength of details a criterion after sizes depending on the stage of planning. Resulted advantages and lacks of the determined calculations of reliability on fatigue strength in relation to knitting needles and selectors after the coefficient of supply of longevity, after equalization of Veler, after the curve of fatigue, which is built as a result of power analysis and calculation of number of cycles of loading to destruction. The simplified transition is offered from median longevity in cycles to destruction to the probabilistic values with the use of conditional the coefficient of margin of safety. The simplified transition is offered from median longevity in cycles to destruction to the probabilistic values with the use of conditional the coefficient of margin of safety. Underline, that at the use of considerable volume of initial information and previous calculations, probabilistic calculations on fatigue strength are expedient to execute as a specifying on the last stages planning. Positions of the article can be used for modernization operating and planning of perspective models of hosiery automats.*

*Keywords: designing, calculation, longevity, hosiery automat.*

### Вступ

Перехід до серійного випуску обладнання залежить від ступеня проробки його конструкції за надійністю. Надійність виробу закладається при розробці та аналізу технічного завдання та повинна контролюватися на всіх етапах його проектування. Враховуючи співвідношення тривалості та витрат до точності отриманого результату, доцільно приймати конструктивні та технологічні рішення по забезпеченню заданого рівня довговічності попередньо на основі розрахункових рекомендацій. Стаття присвячена огляду вузьких питань детермінованих та ймовірнісних розрахунків втомливої довговічності деталей складних форм та без надлишку запасів міцності, для яких неможливий традиційний розв'язок.

### Основний розділ

Розрахунок голко-платинних виробів панчішно-шкарпеткових автоматів на довговічність за критерієм втомної міцності передують встановлення номенклатури деталей, для яких такі розрахунки доцільні, оскільки більшість з них є стандартизовані і уніфіковані та наперед надійні. До таких відносять штовхачі автоматів, відмови яких в експлуатації не зафіксовані. Для платин характерним є руйнування, яке відносять до зношення, причому їх середній ресурс набагато перевищує тривалість міжремонтного циклу, що дає можливість при плановому ремонті повністю змінювати комплект платин.

До петлетвірних елементів, які лімітують надійність всього обладнання, та розміри яких не можуть бути збільшені через технологічні вимоги переробки пряжі певного тексту (визначає клас автомату), належать в'язальні голки та селектори, які призначені для відбору голок при утворенні рисунку на виробі. В розрахунках на міцність такі деталі називають критеріальними за розмірами і саме для них першочергово використовують розрахунки на довговічність, оскільки забезпечення необхідних запасів міцності збільшенням геометричних параметрів небезпечного поперечного перерізу унеможливлено.

Голки та селектори як стержневі елементи (надалі – СЕ) є рухомими відносно голкового циліндру (голочниці), технологічні траєкторії їх задаються набором клинів, які називають петлетвірною системою в'язального механізму автомату. Незважаючи на відмінність конструкцій та місць розміщення небезпечних перерізів, причини та фактори впливу на домінуючий вид втомливого руйнування, СЕ мають спільні закономірності.

Можливими комбінаціями вимог до удосконалення петлетвірної системи без зміни об'єкту дослідження СЕ є підвищення їх ресурсу при сталій частоті обертання голкового циліндру; інтенсифікація швидкісного режиму при збереженні заданого ресурсу; одночасне підвищення ресурсу та швидкості. Всі три випадки об'єднують одне – діюча навантаженість СЕ не повинна перевищувати допустиму, яку встановлюють за еквівалентними напруженнями в небезпечному перерізі елементу та відповідним числом циклів навантаження до руйнування. Практично умова досягається можливим зменшенням ударних навантажень СЕ при взаємодії з клинами за рахунок зміни умов їх взаємодії.

Залежно від етапу проектування петлетвірних систем використовують розрахунки довговічності СЕ за міцністю в традиційній (детермінованій) або ймовірнісній постановках. Перші базуються на ретроспективній інформації про надійність діючого обладнання, в основі других закладено статистичні

характеристики навантаженості деталі в експлуатації та кореговану лінійну гіпотезу накопичення втомних пошкоджень для кривих втомленості з правою, менш нахиленою ділянкою.

Зручними на етапі розробки технічного завдання стосовно СЕ як для однотипних конструктивних елементів, є розрахунки за коефіцієнтом запасу довговічності, в яких відношення граничного ресурсу СЕ в експлуатації за втомною довговічністю до нормативного (допустимого) не повинно перевищувати заданий коефіцієнт запасу довговічності. Наявність статистичної інформації про довговічність СЕ на автоматах-прототипах спрощує розрахунки на практиці, проте не характеризує рівень надійності в явному вигляді, оскільки не відображає умови навантаження (статичні чи втомні, співвідношення діючих і граничних напружень та число циклів навантаження), геометрію і технологію виготовлення деталі тощо. Зміна будь-якого фактору впливу кожного разу примушує уточнювати значення коефіцієнту запасу, що унеможливило його застосування як нормативної характеристики. Диференційоване визначення коефіцієнту запасу довговічності як добутку коефіцієнтів, що враховують окремий фактор, стосовно СЕ на практиці не виправдано, оскільки довільне варіювання значень кожного з множників призводить до зміни сумарного коефіцієнту в не виправдано широких межах. Тому використання розрахунків за коефіцієнтом запасу довговічності обмежене та можливе насамперед при індивідуальному або дрібносерійному удосконаленні існуючих петлетвірних систем.

Застосування класичного методу розрахунку втомної довговічності деталей в циклах навантажень до руйнування [1] за границею втомленості деталі та параметрами кривої втомленості обмежено через складність визначення коефіцієнту, який враховує вплив конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів на опір втомленості деталі. Типові методики [2, 3] експериментального або аналітичного його визначення мало пристосовані через складність форм СЕ, несталість факторів впливу або значної тривалості стендових випробувань при руйнуванні на гегациклової ділянці кривої втомленості з числом циклів навантаження більшим за  $10^7$  циклів.

Для удосконалення діючих петлетвірних систем або при проектуванні перспективних з спадковістю конструкції за заданим ресурсом за критерієм втомної міцності пропонуються загальні положення розрахунку [4], який базується на рівнянні Велера. Розв'язок виконують за залежністю еквівалентних напружень в небезпечному перерізі СЕ від відповідних розрахункових чисел циклів навантаження його клинами замкової системи до руйнування. Звичайно такий підхід реалізується при наявності значної накопиченої емпірики про ресурс СЕ (можливе використання хронометражних даних експлуатаційних спостережень в виробничих умовах) та аналітики (положень по визначенню ударного навантаження, еквівалентних напружень при реальному ступінчастому навантаженні з вираженою закономірністю чергування різних рівнів за цикл тощо). Використання розрахунків розширюють можливості конструктора та дозволяють при проектуванні аналізувати і приймати обґрунтовані конструктивні рішення, передусім зміну кутів нахилу робочих поверхонь клинів при різних комбінаціях проектних вимог до швидкості та довговічності, а також оцінити заходи при зміні кількості клинів в системах, жорсткісних та інерційних параметрів СЕ та клинів. Певні удосконалення петлетвірних систем автоматів за встановленою довговічністю СЕ на основі проектних розрахунків реалізовані при модернізації автоматів ОЗДСУ та проектуванні автоматів серії ГАМА. Такі розрахунки також доцільні на стадії ескізної компоновки при порівнянні різних варіантів нових конструкцій петлетвірної системи, оскільки дають можливість оперативної оцінки ефективності заходів, які спрямовані на підвищення довговічності СЕ. Звичайно важливою практичною задачею реалізації розрахунків є накопичення достовірної інформації про відмови СЕ.

Перелічені детерміновані розрахунки довговічності за критерієм опору втомленості дають тільки загальні висновки про безвідмовність функціонування об'єкту за розрахунковий ресурс без її кількісної оцінки, тобто відносяться до розрахунків надійності тільки умовно. Обчислене значення еквівалентного напруження в небезпечному перерізі СЕ відповідає 50-відсотковій ймовірності його руйнування при певному числі циклів навантаження до руйнування. Для обчислення еквівалентного напруження з наперед заданою ймовірністю руйнування рекомендується вводити в розрахунок умовний коефіцієнт запасу міцності [5], який враховує середнє квадратичне відхилення логарифму середньої довговічності в циклах навантаження (можливо обчислювати за даними стендових випробувань або експлуатаційних спостережень) та квантиль нормального розподілу.

Невизначеність або відсутність вихідної інформації для розрахунку статистичних характеристик опору втомного натурних деталей, зокрема СЕ в'язального механізму автомату – основна причина, що гальмує використання розрахунків на втомну довговічності. Автором запропоновано розрахунково-експериментальний метод визначення довговічності СЕ за кривою втомленості, яку побудовано за результатами силового аналізу та накопичених статистичних даних про ресурс до руйнування, отриманих при спостереженнях автоматів в експлуатації. Розрахунок включає наступні дії: визначення максимальних навантажень в системі «клин – СЕ – паз циліндру», обчислення еквівалентного напруження та відповідного числа циклів за аналізом навантаженості СЕ за строк служби до руйнування, побудову правої пологої гігациклової вітки кривої втомленості елементу, яка характеризує його границі обмеженої втомленості при відповідних числах циклів навантаження.

Для ймовірнісної оцінки навантаженості СЕ ударне навантаження представляли у виді поліному, який отримували чисельно-аналітичним методом з використанням обчислювального експерименту. При

встановленні закону розподілу навантаження за випадкову величину приймали силу опору руху голки в пазу голечниці, величина якої змінюється в широких межах (зумовлено різним згином стержнів елементів, їх приробкою, зносом пазів голечниці та робочих поверхонь клинів, інтенсивністю змащення тощо).

Важливою ланкою в розрахунках довговічності за критерієм втомної міцності деталей є обчислення параметрів їх навантаженості в ймовірнісному аспекті. Визначення еквівалентного числа циклів навантаження полягало в систематизації спектру експлуатаційних навантажень, які діють на СЕ та заміні фактичного режиму нестационарних навантажень на режим з сталим розрахунковим навантаженням. Обмежені границі втомленості СЕ в небезпечному перерізі визначали для числа циклів навантаження, які відповідають наробіткам до відмови за корегованою лінійною гіпотезою додавання втомних руйнувань. Криву втомленості медіанної довговічності СЕ, яка виражена числом блоків до руйнування, будували за обчисленими парами значень навантаженості СЕ різних позицій, які мають різні умови навантаження.

Результати розрахунків на довговічність характеризуються високою достовірністю, оскільки їх значення потрапляють в границі області при заданій ймовірності не руйнування  $P=0,95$ . Наведений метод раціонально використовувати передусім при створенні петлетвірних систем принципово нових конструкцій.

Прогресивним підходом до оцінки довговічності деталей є застосування розрахунків в ймовірнісному аспекті, що дозволяє підвищити їх точність в порівнянні з детермінованими методами. Виконують їх переважно після завершення конструктивної компоновки петлетвірної системи як уточнений розрахунок для прийняття остаточних технічних рішень при серійному виробництві автоматів.

Стосовно СЕ алгоритм розрахунку функції розподілу довговічності представлено в [6] на прикладі селекторів. Для виконання ймовірнісного розрахунку обмеженої довговічності СЕ необхідно мати закон зміни та число навантажень, а також параметри втомленості СЕ, які відповідають умовам їх роботи. З метою визначення середніх значень і коефіцієнтів варіації параметрів втомного руйнування, які необхідні при розрахунку, виконували стендові випробування селекторів на втомленість. При схематизації навантаження селекторів використовували максимальні амплітуди, які вимірювали методом тензометрування та розраховували. Розбіжність експериментальних і аналітичних значень на різних рівнях навантаження не перевищувала 7% і зменшувалася при зростанні навантаження. Тому при відсутності експериментальних даних про навантаження можливе застосування результатів розрахунків, що йде в запас міцності.

Реальне навантаження замінювали блочним, еквівалентним по ступені накопичення втомних пошкоджень. У відповідності до сучасних уявлень про втомні пошкодження [7] враховували доволі малі напруження, які більші за 0,5 від границі втомленості селектору. Числа циклів навантаження деталей до втомного руйнування задовільно описуються логарифмічно нормальним розподілом. За отриманими характеристиками навантаженості склали рівнянням емпіричних ймовірнісних значень обмеженої довговічності при в залежності від еквівалентного напруження.

Отримання функції розподілу довговічності СЕ за критерієм втомної міцності при різних значеннях коефіцієнта варіації навантаження дозволяє на етапі проектування визначати їх медіанну довговічність в циклах навантаження і гама-відсотковий ресурс та особливо ретельно оцінити конструктивні і технологічні рішення петлетвірної системи, що впливають на довговічність СЕ. При незмінності конструкції СЕ за функцією розподілу їх довговічності можливо розв'язувати обернену задачу з визначення проектних швидкостей та навантажень для заданого проектного рівня довговічності СЕ.

В роботі [8] для обчислення характеристик напруженості та обмеженої довговічності СЕ довготривалі та витратні стендові випробування пропонується замінювати експлуатаційними спостереженнями СЕ в в'язальних механізмах автоматів в умовах виробництва.

Очевидно, що розрахунки на довговічність в ймовірнісному аспекті, які потребують використання ймовірнісних критеріїв та отримання додаткової вихідної інформації, що значно ускладнює та подовжує проектування, необхідно використовувати на заключній стадії проектування та не виключають контроль заданої довговічності при заводських випробуваннях дослідних зразків та вибіркового, але систематичних спостережень серійних зразків на виробництві.

### Висновки

Наведений огляд методів розрахунку довговічності за критерієм втомної міцності з урахуванням специфіки та припущень стосовно СЕ сприяє вибору та математичній підтримці прийняття конструкторських рішень, суттєвому скороченню термінів та підвищенню якості проектування петлетвірних систем на різних стадіях проектування панчішно-шкарпеткових автоматів. В перспективі можливе використання представлених матеріалів для створення банку даних та керівних документів єдиної інформаційної системи про надійність, узагальненої методики розрахунків довговічності стосовно петлетвірних систем для в'язальних машин з СЕ, які рухомі відносно голечниці.

### Література

1. Трошенко В.Т. Прочность металлов при переменных нагрузках / Трошенко В.Т. – К. : Наук. думка, 1978. – 174 с.
2. Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений: (Графики и формулы для расчета конструктивных элементов на прочность) / Петерсон Р.– М. : Мир, 1977. – 302 с.
3. Чечулин Б.Б. Масштабный фактор и статистическая природа прочности металлов / Чечулин Б.Б. –

М. : Металлургия, 1978. – 120 с.

4. Березін Л.М. Удосконалення трикотажного обладнання на основі розрахунків довговічності деталей в'язального механізму / Л.М. Березін // Вісник КДУТД, 2001. – № 1. – С. 70–73.

5. Шульгинов Б.С. Определение запасов прочности при переменных напряжениях на основе уточненной диаграммы предельных напряжений / Б.С. Шульгинов // Пробл. прочности. – 1984. – № 11. – С. 54–57.

6. Березін Л.М. Імовірнісний розрахунок довговічності селекторів по критерію втомленісної міцності / Л.М. Березін // Вісник КНУТД. – 2006. – № 3. – Т. 29. – С. 35–41.

7. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения / Фролов К.В. – М. : Машиностроение, 1984. – 224 с.

8. Березін Л.М. До розрахунку довговічності селекторів панчішно-шкарпеткових автоматів по критерію втомленісної міцності / Л.М. Березін, С.В. Барилко // Вісник КНУТД, 2007. – № 5. – Т.37. – С. 32–35.

#### References

1. Troshchenko V.T. Prochnost metallov pry peremennykh nahruzkakh. Kyiv, Nauk. dumka, 1978, 174p.
2. Peterson R. Koeffitsyenty konsratsyyu napryazheny: (Hrafyky y formuly dlia rascheta konstruktivny'kh elementov na prochnost'). Moskva, Myr, 1977, 302p.
3. Chechulyn B.B. Masshtabnyj faktor y statystycheskaya pryroda prochnosti metallov. Moskva, Metallurhiya, 1978, 120p.
4. Berezin L.M. Udokonalennya trykotazhnogo obladnannya na osnovi rozrakhunkiv dovhovichnosti detaley v'iazal'nogo mekhanizmu/ Visnyk KDUTD, 2001, No.1, pp.70-73.
5. Shulhynov B.S. Opredelenye zapasov prochnosti pry peremennykh napryazheniyakh na osnove utochnennoy dyahrammy predelnykh napryazheniy/ Problemy prochnosti. 1984, No.11, pp.54 - 57.
6. Berezin L.M. Imovirnisnyy rozrakhunok dovhovichnosti selektoriv po kryteriyu vtomlenisnoi mitsnosti/ Visnyk KNUТD, 2006, Vol.29, No. 3, pp.35 – 41.
7. Frolov K.V. Metody sovershenstvovaniya mashyn y sovremennye problemy mashynovedeniya. Moskva, Mashynostroeniye, 1984, 224p.
8. Berezin L.M., Barylko S.V. Do rozrakhunku dovhovichnosti selektoriv panchishno-shkarpetkovykh avtomativ po kryteriyu vtomlenisnoyi mitsnosti/ Visnyk KNUТD, 2007, Vol.37, No. 5, pp.32 – 35.

Рецензія/Peer review : 1.3.2013 р. Надрукована/Printed :20.4.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф., проф. кафедри метрології, стандартизації і сертифікації Київського національного університету технологій та дизайну Зенкін М.А.