

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



*Одеська державна академія
технічного регулювання та якості*

ISSN 2412 – 5288 (Print)
ISSN 2414 – 9780 (Online)

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

1(12) 2018

ОДЕСА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ
Випуск 1(12) 2018

Заснований у 2012 р.

Засновник: Одеська державна академія технічного регулювання та якості

65020, м. Одеса вул. Кузнечна, 15

Телефон: (048)726-68-92, факс: (048)726-76-95

E-mail: odatry@gmail.com

Сайти: www.kachestvo.od.ua, odatrya.org.ua.

Редакційна колегія

Голова редакційної колегії

Коломієць Леонід Володимирович (д.т.н., професор)

Заступник голови редакційної колегії

Братченко Геннадій Дмитрович (д.т.н., професор)

Аніскін Олексій (к.т.н., н.с., Республіка Хорватія)

Боряк Костянтин Федорович (д.т.н., доцент)

Ваганов Олександр Іванович (д.т.н., професор)

Величко Олег Миколайович (д.т.н., професор)

Волков Сергій Леонідович (к.т.н., доцент)

Гасанов Юсиф Надир огли (д.т.н., професор, Азербайджанська Республіка)

Гордієнко Тетяна Богданівна (д.т.н., с.н.с., доцент)

Діденко Віктор Дмитрович (д.ф.-м.н., професор)

Зборовська Ірина Адамівна (к.т.н., доцент)

Квасніков Володимир Павлович (д.т.н., професор)

Клещов Геннадій Михайлович (к.т.н., доцент)

Корсун Валерій Іванович (д.т.н., професор)

Кучерук Володимир Юрійович (д.т.н., професор)

Ленков Сергій Васильович (д.т.н., професор)

Мілковіч Марін (к.т.н., професор, Республіка Хорватія)

Мілованов Валерій Іванович (д.т.н., професор)

Новіков Володимир Миколайович (д.ф.-м.н., професор)

Салсеану Александру (д.т.н., професор, Румунія)

Семенова Алла Василівна (д.пед.н., професор)

Скачков Валерій Вікторович (д.т.н., професор)

Солдо Божо (д.т.н., професор, Республіка Хорватія)

Чундева-Блаєр Марія (д.т.н., професор, Республіка Македонія)

Янковський Олег Георгійович (к.т.н., доцент)

Відповідальний секретар Братченко Геннадій Дмитрович

Внесений наказом Міністерства освіти і науки України від 15.04.2014 р. № 455 до «Переліку наукових фахових видань України» за № 37 (технічні науки).

Затверджений до друку і розповсюдження через мережу Інтернет Вченою Радою Одеської державної академії технічного регулювання та якості (протокол № 10 від 24.05.2018 р.).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 18770-7570Р від 30.01.2012 р.

ЗМІСТ

ПРИВІТАННЯ З ЮВІЛЕЄМ ВЕЛИЧКА О. М.	4
Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості	6
В. С. Кравчук, к.т.н., О. Ф. Дашенко д.т.н., Л. В. Коломієць, д.т.н., О. М. Лимаренко, к.т.н. ОПЕРАТИВНА ОЦІНКА ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗМІЩЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	7
С. Л. Волков, к.т.н., К. С. Волков ФУНКЦІЯ І ШКАЛА ЕНТРОПІЙНОЇ ОЦІНКИ ЯКІСНОГО СТАНУ ДАТЧИКА.....	12
Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення	18
О. М. Velychko, DSc, V. V. Isaiev INVESTIGATING THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF AC/DC TRANSFER STANDARD.....	19
Л. В. Коломієць, д.т.н., К. О. Подостроєць, к.т.н. ПОВІРКА АБО КАЛІБРУВАННЯ ТАХЕОМЕТРІВ?.....	29
К. Ф. Боряк, д.т.н., М. К. Боряк, М. О. Манзарук ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИПРОБУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОДЕМПФЕРІВ НА ВИПРОБУВАЛЬНОМУ СТЕНДІ ИГК-90.1.....	37
В. П. Квасніков, д.т.н., Р. М. Запоточний, к.т.н. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ НАТЯГУ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	43
Інформаційно-вимірювальні системи і технології	51
В. П. Квасніков, д.т.н., А. С. Дуднік, к.т.н. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ОБ'ЄКТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН.....	52
В. В. Кузавков, д.т.н., П. В. Хусаїнов, к.т.н., О. Г. Янковський, к.т.н. МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОДНОТИПНИХ ПРОГРАМНО- АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ.....	59
А. М. Лимаренко, к.т.н. КОМП'ЮТЕРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ В ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ.....	66
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	72
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	73

ПРИВІТАННЯ З ЮВІЛЕЄМ



12 червня 2018 року виповнюється 60 років **Величку Олегу Миколайовичу**, директору науково-виробничого інституту Державного підприємства «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), доктору технічних наук, професору, заслуженому діячу науки і техніки України.

За плечима Олега Миколайовича – багаторічний науковий досвід і визнання у сфері метрології та стандартизації. Закінчивши Харківський інститут радіоелектроніки за спеціальністю радіотехніка в 1980 р., Олег Миколайович у 1990 р. захистив кандидатську дисертацію з питань прецизійних вимірювань електричних сигналів в Інституті електродинаміки Академії наук України (м. Київ). У 1998 р. ВАК України присвоїв йому вчене звання старшого наукового співробітника зі спеціальності «Стандартизація та сертифікація». У 2007 р. Олег Миколайович успішно захистив докторську дисертацію з питань теорії та практики оптимізації багаторівневої системи стандартизації національного рівня в галузі метрології за спеціальністю «Стандартизація та сертифікація» у Спеціалізованій вченій раді при Одеській державній академії технічного регулювання та якості (ОДАТРЯ), а у 2012 р. Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

присвоїло йому вчене звання професора кафедри вимірювальної техніки ОДАТРЯ.

Майже увесь трудовий шлях Олега Миколайовича пов'язаний з діяльністю у сфері метрології та технічного регулювання. Він був практично одним із перших співробітників новоствореного у 1992 р. після розпаду СРСР Українського НДІ стандартизації, сертифікації та інформатики (УкрНДІССІ) Держстандарту України. Завдяки творчому ентузіазму та професіоналізму Олег Миколайович з 1996 р. на посаді заступника голови з питань метрології Держстандарту України був і залишається ініціатором та активним учасником розроблення законодавчих, нормативно-правових, організаційно-методичних документів з питань метрології. З 2003 р. Величко О. М. працює в ДП «Укрметртестстандарт» на посаді директора Науково-виробничого інституту метрологічного забезпечення вимірювань електромагнітних величин, очолює технічний комітет стандартизації України ТК 90 «Засоби вимірювання електричних і магнітних величин» та є технічним експертом у ТК 85 «Вимірювальне обладнання для електричних і магнітних величин» Міжнародної електротехнічної комісії (IEC).

З 2008 р. Олег Миколайович працює за сумісництвом завідувачем кафедри та професором у ОДАТРЯ. Колектив знає його як людину, в якій гармонійно поєднані мудрість, вимогливість керівника та принциповість, а колеги в Україні і закордоном – як творчу людину, професіонала своєї справи і видатного вченого. На науковій ниві Величка Олега Миколайовича багатий «врожай» – понад 520 наукових праць, 60 з яких індексуються у науково-метричних базах даних «Scopus» і «Web of Science», 65 підручників, навчальних посібників, монографій (більшість яких видана в ОДАТРЯ) з питань стандартизації, метрології, контролю якості продукції, екологічного управління, моніторингу довкілля. Майже 130 його робіт надруковано у провідних наукових виданнях 35 зарубіжних країн. Ним розроблені та опубліковані навчально-методичні матеріали з питань метрології та стандартизації для викладання в ОДАТРЯ та інших вишах України, зокрема у Харківській державній академії залізничного транспорту, Ужгородському державному університеті і Київському національному університеті технологій та дизайну (КНУТД).

Олег Миколайович не зупиняється на досягнутому, постійно бере участь у міжнародних та національних конференціях, симпозіумах, семінарах, розробляє нові напрямки перепідготовки та підвищення кваліфікації. Його про-

фесіоналізм, багаторічна самовіддана, послідовна та наполеглива праця внесли вагомий внесок у розвиток вищої освіти і забезпечили повагу та беззаперечний авторитет серед колег. А оптимізм та енергійність довели, що напрямок особистої діяльності Олега Миколайовича спрямований на успішний розвиток академії, забезпечення їй високого рейтингу серед закладів вищої освіти України, розширення міжнародного співробітництва.

З 2008 р. Олег Миколайович є членом Спеціалізованих вчених рад із захисту докторських і кандидатських дисертацій за спеціальністю «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» при ОДАТРЯ і КНУТД. Підготував і продовжує готувати кандидатів технічних наук. У 1996–1999 рр. і з 2004 р. – член редакційної колегії науково-технічного журналу «Український метрологічний журнал», з 2010 р. – член редакційної колегії науково-виробничого журналу «Метрологія та прилади», а з 2012 р. – член редакційної колегії «Збірника наукових

праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості».

Багатогранна діяльність Олега Миколайовича знайшла відповідну оцінку: його нагороджено у 1999 р. нагрудним знаком Держстандарту України «За заслуги в стандартизації, метрології, сертифікації та акредитації», у 2008 р. – Почесним знаком Міждержавної ради з питань стандартизації, метрології та сертифікації «За заслуги», у 2008 р. – Почесною грамотою Кабінету Міністрів України, у 2013 р. – Грамотою Верховної Ради України. У 2008 р. йому присвоєно почесні звання «Заслужений діяч науки і техніки України» та «Заслужений метролог КОOMET». Завдяки активній життєвій позиції, професіоналізму та організаторським здібностям він здобув високий авторитет серед своїх колег не тільки в Україні, але і за її межами.

Колектив ОДАТРЯ щиро вітає Олега Миколайовича з 60-річчям і бажає йому міцного здоров'я, щастя, злагоди й насаги для нових трудових звершень.

РОЗДІЛ 1

Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості

В. С. Кравчук¹, к.т.н., О. Ф. Дашенко¹, д.т.н., Л. В. Коломієць², д.т.н., О. М. Лимаренко¹, к.т.н.¹Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса**ОПЕРАТИВНА ОЦІНКА ЦИКЛІЧНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗМІЦНЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Розглянуто особливості оцінки циклічної довговічності деталей машин. Показана можливість диференційованого врахування ефекту зміцнення для визначення циклічної довговічності зміцнених деталей. Запропоновано графоаналітичний метод визначення циклічної довговічності, який дає змогу на стадії проектування та доведення дослідного зразка машини суттєво зменшити затрати часу для виконання інженерних розрахунків несучої здатності зміцнених деталей при повторно-змінних напруженнях.

Ключові слова: деталі машин, поверхневе зміцнення, циклічна довговічність, графоаналітичний метод.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-7-11

Постановка проблеми

Досвід експлуатації та аналіз руйнувань поверхнево зміцнених деталей машин показує, що одним із основних напрямів запобігання руйнувань елементів конструкцій є їх проектування та виготовлення з відповідними значеннями несучої здатності. Це може бути досягнуто удосконаленням розрахункових методів на міцність та довговічність.

Основні принципи оцінки міцності поверхнево зміцнених деталей машин розроблені в [1–3]. Якщо конструктор в розрахунках на міцність може застосувати рекомендовані аналітичні методи визначення границі витривалості поверхнево зміцнених деталей машин, то в розрахунках довговічності у нього виникають труднощі через відсутність даних про розташування нахилу ділянки кривої втомленості. Побудова кривих втомленості для кожного конкретного випадку експериментальним шляхом класичним методом є громіздкою та затратною, а, частіше всього, це неможливо та неприйнятно. Але, щоб побудувати криві втомленості апіорно або з застосуванням мінімальної кількості експериментів, необхідно мати певну математичну модель та рекомендації щодо вибору або визначення її параметрів.

Аналіз останніх досягнень і публікацій
Прийнято [4–5], що для не зміцнених деталей машин з границею міцності $\sigma_B < 1200$ МПа рівняння кривої втомленості (прямі лінії в подвійних логарифмічних координатах) записується у вигляді

$$\sigma^m N = \sigma_R^m N_G \quad \text{при } \sigma > \sigma_R; N = \infty \text{ при } \sigma \leq \sigma_R \quad (1)$$

або

$$\sigma^m N = \sigma_R^m N_G = 10^C \text{ при } N \leq N_G; \\ N = \infty \text{ при } N > N_G, \quad (2)$$

де σ – поточне напруження (границя обмеженої витривалості деталі), що відповідає числу циклів до руйнування N ; σ_R – границя витривалості деталі; N_G – число циклів, що відповідає точці перелому кривої втомленості, обумовлює перехід похилої ділянки в горизонтальну з рівнянням $\sigma = \sigma_R$; m і C – параметри похилої ділянки кривої втомленості.

Із виразів (1) і (2) видно, що положення похилої ділянки кривої втомленості деталей залежить від тих же факторів, що і положення горизонтальної ділянки, яка відповідає границі витривалості деталі.

Для розрахункової побудови похилої ділянки кривої втомленості за відомим значенням границі витривалості необхідні залежності для визначення параметрів m і C . Запропоновано використати такі залежності [1]:

$$m = (1 + 2,3 \lg K_V^2) (0,027 \sigma_R + 1,4); \quad (3)$$

$$C = 0,997 [(1 + 2,3 \lg K_V^2) (0,027 \sigma_R + 1,4) + 1] \lg(K_V \sigma_R) + 4, \quad (4)$$

де K_V – коефіцієнт технологічного зміцнення; σ_R – границя витривалості не зміцненої деталі.

При наявності залежностей (3) і (4) можна робити оцінку довговічності зміцнених деталей до руйнування [6–8]. Довговічність зміцненої деталі з границею витривалості σ_R до зміцнення і коефіцієнтом технологічного зміцнення K_V при

напруженні $\sigma > K_V \sigma_R$ з урахуванням виразів (2)–(4) визначається залежністю

$$N = \frac{10^{0,997[(1+2,3\lg K_V^2) \cdot (0,027\sigma_R + 1) \cdot \lg(K_V \sigma_R) + 4]}{\sigma^{(1+2,3\lg K_V^2) \cdot (0,027\sigma_R + 4)}} \quad (5)$$

Наявність функціональної залежності (5) для визначення циклічної довговічності від границі витривалості і коефіцієнта зміцнення дає змогу диференційовано враховувати особливості проєктованої деталі [9]. Такий підхід потребує побудови індивідуальної кривої втомленості для конкретного режиму зміцнення деталі. Крім того, при оптимізації режимів зміцнення по циклічній довговічності кількість кривих втомленості може бути значною. На практиці такої кількості кривих втомленості конструктор не має [10]. До того ж одержання індивідуальних характеристик довговічності поверхнево зміцнених деталей за рівнянням (5) громіздко. У зв'язку з цим проводять наближену оцінку N , в результаті чого має місце неповне використання несучої здатності поверхнево зміцнених деталей, що веде до перевитрачання матеріалу.

Мета роботи

Розробити прискорений метод для оперативної оцінки циклічної довговічності зміцнених деталей машин.

Викладення основного матеріалу

Для вирішення цієї задачі запишемо (2) у вигляді

$$\lg N = C - m \lg \sigma; \quad (6)$$

$$\lg N_G = C - m \lg \sigma_{RY}, \quad (7)$$

де $\sigma_{RY} = K_V \sigma_R$ – границя витривалості зміцненої деталі.

Із виразу (6) одержимо

$$\lg \sigma = (C - \lg N)/m. \quad (8)$$

В зоні багатоциклової втомленості матеріалів напруження σ в залежності (8) завжди більше границі витривалості σ_{RY} . Із виразу (8) віднімо $\lg \sigma_{RY}$, маємо

$$\lg \sigma - \lg \sigma_{RY} = (C - \lg N)/m - \lg \sigma_{RY}. \quad (9)$$

Різниця $\lg \sigma - \lg \sigma_{RY} = \lg(\sigma/\sigma_{RY})$ дає змогу оцінити логарифм відносного збільшення змінних напружень поверхнево зміцненої деталі.

Для циклічної довговічності $N = 10^4$ циклів вираз (9) можна записати

$$\lg \frac{\sigma}{\sigma_{RY}} = \frac{C - 4}{m} - \lg \sigma_{RY} \quad (10)$$

З метою полегшення наступних викладок введемо такі спрощення:

$$A = C - m \lg \sigma_{RY}; \quad (11)$$

$$B = \frac{C - 4}{m} - \lg \sigma_{RY}. \quad (12)$$

Вираз (12) з урахуванням (11) приймає вигляд

$$B = (A - 4)/m. \quad (13)$$

Якщо сумістити початок координат

$$\lg \frac{\sigma}{\sigma_{RY}} \sim \lg N \quad \text{з} \quad \lg \frac{\sigma}{\sigma_{RY}} = 0$$

$$(\sigma = \sigma_{RY} = K_V \sigma_R) \quad \text{і} \quad \lg N = 4,$$

то параметри A і B однозначно є відповідно початковою абсцисою (точкою перелому) і початковою ординатою кривої втомленості. Отже, параметри A і B однозначно визначають положення похилої ділянки кривої втомленості в прийнятій системі координат.

Залежності (8), (11) та (13) використані для побудови узагальненої номограми (рис. 1), яка дає змогу оперативно визначити циклічну довговічність N поверхнево зміцнених деталей.

Номограмою користуються у такій послідовності. При наявності даних про теоретичний коефіцієнт концентрації напружень α_σ обґрунтовано вибирають відносну товщину поверхнево зміцненого шару Δ (для деталі круглої форми $\Delta = 2\Delta_d/d_d$; Δ_d – товщина зміцненого шару, d_d – діаметр деталі).

Вибране значення Δ наносять на вісь абсцис в координатах $\Delta \sim K_V$, проводять вертикальну лінію. Одержують значення K_V для точки перетину прямої з кривою лінією, що відповідає вихідному значенню теоретичного коефіцієнта концентрації напружень α_σ . Потім за допомогою діаграми, використовуючи зв'язки між величинами A і K_V , B і K_V , знаходять відповідно початкову абсцису N_G і початкову ординату σ/σ_{RY} . Одержані таким чином на координатних осях точки з'єднують відрізком. Одержують похилу ділянку кривої втомленості поверхнево зміцненої деталі для вибраного режиму зміцнення. По заданому значенню границі витривалості σ_R не зміцненої деталі та знайденому за допомогою номограми значенню коефіцієнта технологічного зміцнення K_V обчислюють границю витривалості поверхнево зміцненої деталі $\sigma_{RY} = K_V \sigma_R$. Обґрунтовано назначають величину амплітудного напруження σ , після чого визначають співвідношення σ/σ_{RY} . Значення σ/σ_{RY} відкладають на осі ординат в координатах $\lg N \sim \lg(\sigma/\sigma_{RY})$. Через

одержану точку проводять горизонтальну пряму до перетину з похилою прямою. Точка перетину цих двох прямих ліній визначає значення циклі-

чної довговічності поверхнево зміцненої деталі. Послідовність визначення величин показана на номограмі стрілками.

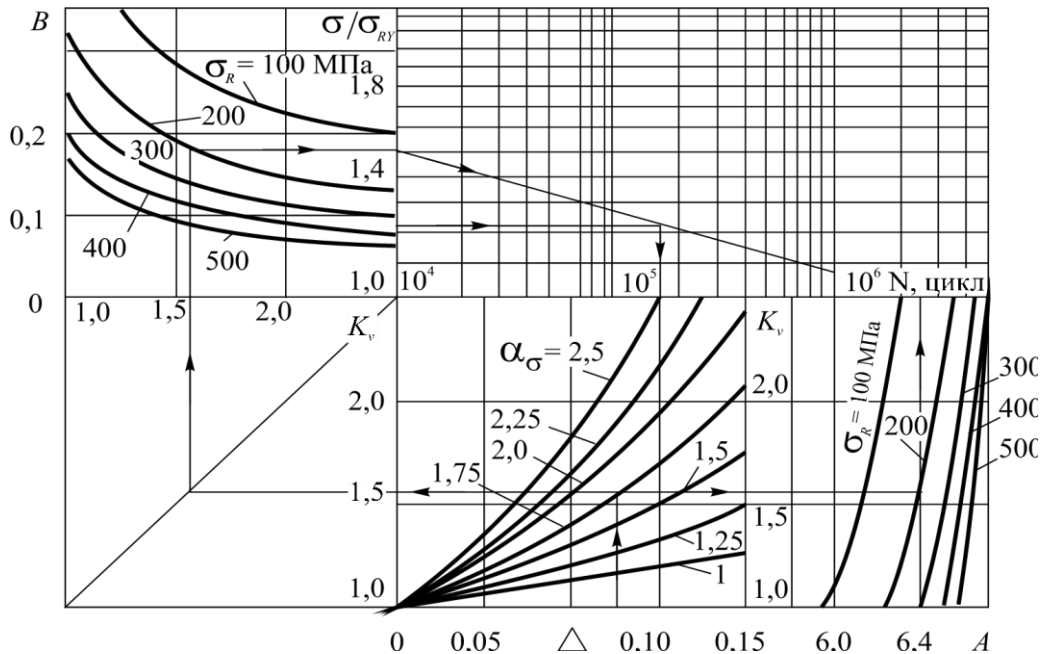


Рисунок 1 – Номограма для визначення циклічної довговічності зі зміцненим поверхневим шаром деталей машин

Висновки

Прискорений метод визначення циклічної довговічності поверхнево зміцнених деталей машин дає змогу в процесі проектування та доведення дослідного зразка машини обґрунтовано вибрати конструкційний матеріал (через границю витривалості матеріалу σ_R), оптимізувати вибір способів і режимів зміцнення поверхневого шару (через коефіцієнт технологічного зміцнення K_v) та оцінити циклічну довговічність зміцнених деталей на цій стадії, суттєво зменшити затрати часу для виконання інженерних розрахунків несучої здатності зміцнених деталей при дії повторно-змінних напружень.

Список використаних джерел

1. Лимаренко А. М. Экспериментальные методы исследования в механике / А. М. Лимаренко, Г. А. Оборский, Н. Г. Сурьянинов – Одесса: Астропринт, 2011. – 548 с.
2. Оробей В. Ф. Применение численных методов к расчету элементов судовых конструкций / В. Ф. Оробей, А. О. Немчук, А. М. Лимаренко // Вісн. Одес. нац. морського ун-ту. – 2009. – № 26. – С. 85–90.
3. Limarenko A. M. The optimization of car engine piston-rod by numerical method / A. M. Limarenko, V. V. Khamray, A. A. Druzhynin

// Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – 2015. – Вип. 60. – С. 440–443.

4. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes [Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8 (89). – P. 4–11.

5. Orobey V. Stability of structural elements of special lifting mechanisms in the form of circular arches [Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 2/7 (92). – P. 4–10.

6. Дашенко О. Ф. Розрахунок напружено-деформованого стану станини потужного гідропреса / О. Ф. Дашенко, В. Д. Ковальов, О. М. Лимаренко // Праці Одеського політехнічного університету. – 2012. – № 2(39). – С. 35–44.

7. Кравчук В. С. Графоаналитический метод определения эффекта упрочнения поверхностно упрочненных деталей машин / В. С. Кравчук, А. Ф. Дашенко, А. М. Лимаренко // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса, 2016. – Вип. 1(8). – С. 79–82.

8. Кравчук В. С. Об оценке циклической прочности поверхностно упрочненных деталей машин / В. С. Кравчук, А. Ф. Дашенко, Л. В. Ко-

ломиец, А. М. Лимаренко // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса, 2017. – Вип. 1(10). – С. 50–53.

9. Дашченко А. Ф. Чисельно-аналітичний метод граничних елементів / А. Ф. Дашченко, Л. В. Коломієць, В. Ф. Оробей, Н. Г. Сур'янінов. – Одеса: БМВ, 2010. – У 2 т. – Т. 1. – 416 с. – Т. 2. – 512 с.

10. Оробей В. Ф. Методи визначення напружень і деформацій в інженерних спорудах / В. Ф. Оробей, О. Ф. Дашченко, Л. В. Коломієць, О. М. Лимаренко. – Одеса: ФОП Бондаренко, 2016. – 240 с.

References

1. Limarenko A. M. E'ksperimental'nye metody issledovaniya v mexanike / A. M. Limarenko, G. A. Oborskij, N. G. Sur'yaninov – Odessa: Astroprint, 2011. – 548 s.

2. Orobej V. F. Primenenie chislennykh metodov k raschetu e'lementov sudovykh konstrukcij / V. F. Orobej, A. O. Nemchuk, A. M. Limarenko // Visn. Odes. nats. morskoho un-tu. – 2009. – # 26. – S. 85–90.

3. Limarenko A. M. The optimization of car engine piston-rod by numerical method / A. M. Limarenko, V. V. Khamray, A. A. Druzhynin // Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva i arkhitektury. – 2015. – Vyp. 60. – С. 440–443.

4. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes [Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8 (89). – P. 4–11.

5. Orobey V. Stability of structural elements of

special lifting mechanisms in the form of circular arches [Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 2/7 (92). – P. 4–10.

6. Dashchenko O. F. Rozrakhunok napruzhenno-deformovanoho stanu stanyny potuzhnogo hidropresa / O. F. Dashchenko, V. D. Kovalov, O. M. Lymarenko // Pratsi Odeskoho politekhnichnogo universytetu. – 2012. – # 2(39). – S. 35–44.

7. Kravchuk V. S. Grafoanaliticheskij metod opredeleniya e'ffekta uprochneniya poverxnostno uprochnennykh detalej mashin / V. S. Kravchuk, A. F. Dashhenko, A. M. Limarenko // Zbirnik naukovih prac' Odes'koi derzhavnoi akademii tehničnogo reguluvannâ ta âkosti. – Odessa, 2016. – Vyp. 1(8). – S. 79–82.

8. Kravchuk V. S. Ob ocenke ciklicheskoj prochnosti poverxnostno uprochnennykh detalej mashin / V. S. Kravchuk, A. F. Dashhenko, L. V. Kolomiec, A. M. Limarenko // Zbirnik naukovih prac' Odes'koi derzhavnoi akademii tehničnogo reguluvannâ ta âkosti. – Odessa, 2017. – Vyp. 1(10). – S. 50–53.

9. Dashchenko A. F. Chyselno-analitychnyi metod hranychnykh elementiv / A. F. Dashchenko, L. V. Kolomiets, V. F. Orobei, N. H. Surianinov. – Odessa: VMV, 2010. – У 2 т. – Т. 1. – 416 с. – Т. 2. – 512 с.

10. Orobei V. F. Metody vyznachennia napruzhen i deformatsii v inzhenernykh sporudakh / V. F. Orobei, O. F. Dashchenko, L. V. Kolomiets, O. M. Lymarenko. – Odessa: FOP Bondarenko, 2016. – 240 s.

Надійшла до редакції 16.05.2018.

В. С. Кравчук, к.т.н., А. Ф. Дашченко, д.т.н., Л. В. Коломієць, д.т.н., А. М. Лимаренко, к.т.н.

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Опыт эксплуатации и анализ разрушений поверхностно упрочненных деталей машин показывает, что одним из основных направлений предотвращения разрушений элементов конструкций является их проектирование и изготовление с соответствующими значениями несущей способности. Это может быть достигнуто совершенствованием расчетных методов на прочность и долговечность. Если конструктор в расчетах на прочность может применить рекомендованные аналитические методы определения предела выносливости поверхностно упрочненных деталей машин, то в расчетах долговечности у него возникают трудности из-за отсутствия данных о расположении наклона участка кривой усталости. Построение кривых усталости для каждого конкретного случая экспериментальным путем классическим методом является громоздкой и затратной, а чаще всего это невозможно и неприемлемо.

Рассмотрены особенности оценки циклической долговечности деталей машин. Показана возможность дифференцированного учета эффекта упрочнения для определения циклической долговечности упрочненных деталей. Предложен графоаналитический метод определения циклической дол-

говечности, который позволяет на стадии проектирования и доводки опытного образца машины существенно сократить время для выполнения расчетов несущей способности упрочненных деталей при напряжениях, переменных во времени.

Показано, что ускоренный метод определения циклической долговечности поверхностно упрочненных деталей машин позволяет оптимизировать выбор способов и режимов упрочнения поверхностного слоя используя коэффициент технологического укрепления K_V и оценить циклическую долговечность усиленных деталей на этой стадии, существенно уменьшив затраты времени для выполнения инженерных расчетов несущей способности усиленных.

Ключевые слова: детали машин, поверхностное упрочнение, циклическая долговечность, графоаналитический метод.

V. S. Kravchuk, PhD, A. F. Dashchenko, DSc, L. V. Kolomiyets, DSc, A. M. Limarenko, PhD

OPERATIONAL EVALUATION OF CYCLIC DURABILITY OF HARDENED PARTS OF MACHINES

Operational experience and analysis of the destruction of surface hardened parts of machines shows that one of the main directions of preventing the destruction of structural elements is their design and manufacturing with the corresponding values of bearing capacity. This can be achieved by improving the calculation methods for strength and durability. If the constructor in the strength calculations can apply the recommended analytical methods for determining the endurance end of the surface-hardened parts of machines, then in his lifetime calculations he faces difficulties due to the lack of data on the location of the inclination of the section of the fatigue curve. The construction of the fatigue curves for each particular case experimentally by the classical method is cumbersome and costly, and most often it is impossible and unacceptable.

Features of the assessment of the cyclic durability of machine parts are considered. The possibility of differentiating the effect of hardening to determine the cyclic durability of reinforced parts is shown. A graphoanalytical method for determining the cyclic durability is proposed, which allows, at the design stage and the development stage of the prototype machine, to significantly shorten the time to perform calculations of the load-bearing capacity of reinforced parts at stresses variable in time.

It has been shown that the accelerated method for determining the cyclic durability of surface hardened parts of machines allows optimizing the choice of methods and modes of hardening of the surface layer using the coefficient of technological reinforcement K_V and estimating the cyclic durability of reinforced parts at this stage, significantly reducing the time costs for carrying out engineering calculations of the bearing strength of the reinforced ones.

Accelerated method for determining the cyclic durability of surface-hardened machine parts makes it possible to reasonably choose constructional material, optimize the choice of method and mode of hardening the surface layer of the part to achieve the required cyclic durability.

Keywords: machine parts, surface hardening, cyclic durability, graphoanalytical method.

С. Л. Волков¹, к.т.н., К. С. Волков²¹Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса²Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса**ФУНКЦІЯ І ШКАЛА ЕНТРОПІЙНОЇ ОЦІНКИ ЯКІСНОГО СТАНУ ДАТЧИКА**

У статті запропоновано функцію і шкалу ентропійної оцінки якості поточного стану датчиків технічної системи, яка відповідає вимогам універсальності та максимальної незалежності від людського фактору. Доведено відповідність запропонованої функції вимогам до функцій оцінки якості. На відміну від існуючих психофізичних шкал, пропонується шкала ентропійної оцінки якості має динамічний діапазон оцінювання, тобто межі піддіапазонів будуть автоматично змінюватися в залежності від нормативно-технічних вимог до стану досліджуваного датчика. Запропонована шкала адаптується під конкретні вимоги, що дозволяє більш достовірно оцінити якісний стан досліджуваного об'єкта. Наведено результати моделювання якісного стану датчика. Можливим практичним застосуванням запропонованої функції і шкали є використання в системах моніторингу і діагностики, для визначення поточного якісного стану досліджуваної технічної системи.

Ключові слова: функція і шкала ентропійної оцінки, якість поточного стану датчиків, технічна система, динамічний діапазон оцінювання, моделювання якісного стану датчика.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-12-17

Вступ. Кваліметрична оцінка якості досліджуваних об'єктів, тобто кількісне визначення показників якості, як правило, здійснюється на основі теорії нечіткої логіки із застосуванням психофізичних шкал. Основним недоліком такого підходу є суб'єктивний характер відношення експертом результатів функції вимірювання до прийнятої шкали якості. Найбільш відомою і застосованою для оцінки якості є функція і відповідна шкала бажаності Харрінгтона, яка була розроблена з метою оцінки контролю якості масової продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час функція Харрінгтона застосовується як універсальна від оцінки якості окремих товарів та послуг до оцінки якості технічних, економічних і соціальних систем, і це викликає деяку настороженість, оскільки функція і шкала були розроблені Харрінгтоном на базі емпіричних досліджень експертних висновків тільки для товарів масового виробництва і коректність їх застосування для інших об'єктів ніхто не довів [1–7].

Завданням дослідження є розробка функції і шкали оцінки якісного стану датчиків технічної системи, які задовольняють вимогам універсальності та максимальної незалежності від впливу людського фактору.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначимо основні вимоги до методу і функції оцінки якості стосовно технічних систем:

- універсальність, тобто можливість застосування для оцінки якості будь якої технічної

системи і її складової;

- максимальна незалежність від людського фактору, тобто суб'єктивного рішення експерта.

З метою визначення функції оцінки якості звернемося до [8], де були сформульовані принципи єдиного (універсального) підходу до ідентифікації поточного інформаційного стану кіберфізичної (технічної) системи заснованого на визначенні стану її сенсорної інфраструктури (СИ), та роботи [9] де було визначено, що будь-яку інформацію про об'єкт дослідження, суб'єкт отримує на основі даних про стан датчиків за результатами вимірювання.

Приймемо за інформаційний стан довільного датчика СИ технічної системи (ТС) кількість власної інформації [10] його поточного стану отриманого в результаті вимірювання:

$$I(s_{meas}) = -\log p(s_{meas}), \quad (1)$$

де $(s_{meas} \in S)$ – результат вимірювання, S – алфавіт станів датчика, $p(s_{meas})$ – ймовірність прийняття датчиком стану $(S \sim s_{meas})$.

Для кожного експлуатаційного вимірювання, в залежності від стадії технологічного (технічного, програмного) процесу існує очікуваний (апріорний) стан датчика $(S \sim s_{exp} | s_{exp} \in S)$ отриманий в результаті аналітичних розрахунків або шляхом моделювання відповідного процесу. Апріорна ймовірність такого стану для даного

вимірювання відповідає максимальному значенню $(p(s_{exp}) \rightarrow \max | s_{exp} = M_0)$ прийнятого ймовірнісного розподілу, де M_0 – мода розподілу. Кількість очікуваної власної інформації апіорного стану датчика:

$$I(s_{exp}) = -\log p(s_{exp}). \quad (2)$$

Відносне значення власної інформації стану датчика, у відповідності до (1, 2) може бути представлено виразом:

$$I_S^\Delta = \frac{I(s_{meas})}{I(s_{exp})} = \frac{\log p(s_{meas})}{\log p(s_{exp})}. \quad (3)$$

У відповідності до стандарту ISO 25021 [11], елементом показника якості (ЕПЯ) є показник, визначений у термінах властивості і методу вимірювання для кількісного визначення цієї властивості, а показник якості – це показник отриманий як функція вимірювання не менш ніж двох показників. Таким чином, прийнявши за один ЕПЯ результат вимірювання (кількість власної інформації поточного стану датчика) $I(s_{meas})$, а за другий кількість власної інформації очікуваного стану датчика $I(s_{exp})$, у відповідності до (3) визначимо простий показник якості (ППЯ) як функцію ЕПЯ, яка дорівнює зворотному значенню відносного значення власної інформації стану датчика:

$$SQM = \frac{1}{I_S^\Delta} = \frac{I(s_{exp})}{I(s_{meas})} = \frac{\log p(s_{exp})}{\log p(s_{meas})}. \quad (4)$$

Загалом функція оцінки якості повинна відповідати наступним вимогам: область значень $0 \leq f_{quality} \leq 1$, безперервність, монотонність, гладкість [2]. Розглянемо вираз (4) щодо відповідності зазначеним вимогам.

Оскільки очікуване значення повідомлення s_{exp} має максимальну ймовірність, його власна інформація буде мінімальною $I(s_{exp}) \rightarrow \min | p(s_{exp}) \rightarrow \max$, тобто $I(s_{exp}) \leq I(s_{meas})$, причому рівняння буде тільки у випадку, коли очікуване значення дорівнює вимірюваному ($s_{exp} = s_{meas}$). Звідси маємо

$$\frac{1}{I_S^\Delta} = \frac{I(s_{exp})}{I(s_{meas})} \leq 1.$$

Розглянемо випадок, коли розподіл ймовірності випадкової величини ($s \in S$) відноситься до абсолютно безперервних розподілів. В виразі (4) прийемо, що $p(s_{exp}) \neq 1$, а функція $p(s_{meas})$ диференційована на всій множині визначення $S = \{s_{min} : s_{max}\}$, зростає на проміжку $[s_{min} : s_{exp}]$, спадає на проміжку $[s_{exp} : s_{max}]$, з чого слідує, що $p'(s_{meas}) \geq 0$ на $[s_{min} : s_{exp}]$ і $p'(s_{meas}) \leq 0$ на $[s_{exp} : s_{max}]$. Якщо для деякого s_{meas} , $p(s_{meas}) = 0$, то маємо

$$SQM(s_{meas}) = \lim_{p(s_{meas}) \rightarrow 0} \frac{\ln(p(s_{exp}))}{\ln(p(s_{meas}))} = \left[\frac{const}{\infty} \right] = 0,$$

доповнюючи значення функції граничним значенням, що забезпечує неперервність функції у цій точці. В інших точках $s_{meas} \in S$ функція неперервна як відношення неперервних, знаменник якого не дорівнює нулю ($\ln(p(s_{meas})) \neq 0$) (знаменник і числівник неперервні як композиція неперервних). В усіх точках $s_{meas} \in S | p(s_{meas}) \neq 0$ функція диференційована як відношення диференційованих, знаменник якого не дорівнює нулю (числівник і знаменник диференційовані як композиція диференційованих), а похідна функції

$$SQM'(s_{meas}) = \frac{-\ln(p(s_{exp}))}{\ln^2(p(s_{meas})) p(s_{meas})} p'(s_{meas}),$$

з чого слідує, що знак SQM' визначається знаком p' . Функція ймовірності, а значить і функція SQM може приймати значення нуль тільки в деякій околиці точок s_{min} та s_{max} , в усіх інших точках SQM диференційована, а значить її монотонність визначається монотонністю функції ймовірності. Тепер враховуючи, що $SQM \geq 0$ остаточно маємо, що SQM зростає на $[s_{min} : s_{exp}]$ та спадає на $[s_{exp} : s_{max}]$.

Розглянемо тепер випадок, коли розподіл ймовірності $p(s)$ відноситься до дискретних розподілів випадкової величини $s \in S = \{s_1, \dots, s_M, \dots, s_m\}$, де $s_M = M_0$ – мода роз-

поділу. Вважаємо, що
$$\begin{cases} p(s_j) \leq p(s_{j+1}) | \forall j < M \\ p(s_{j-1}) \geq p(s_j) | \forall j > M \end{cases}$$
.

Застосовуючи Ермітову інтерполяцію задамо на $[s_1 : s_m]$ поліном $g(s)$ ступеня $2m-1$ так, що $g'(s_j) \geq 0 | \forall j < M$, $g'(s_j) \leq 0 | \forall j > M$, $g'(s_j) = 0 | j = M$. Тоді функція $g(s)$ в околицях точок дискретного розподілу $p(s)$ буде поводитися як безперервна і до неї можна застосувати аналіз для безперервних розподілів з попереднього абзацу.

Таким чином, запропонована функція оцінки якості (4) задовольняє всім висунутим вище вимогам.

Кількісне значення ППЯ, отримане за виразом (4) не несе інформації про якісний стан об'єкта (датчика). Процес оцінки якості полягає в оцінці приналежності отриманого значення до деякої шкали оцінювання. Існує досить велика множина запропонованих шкал, однак всі вони відносяться до психофізичних і їх основний недолік це суб'єктивізм відображення «значення $\rightarrow$ шкала» [1], [4].

Згідно зазначених вище вимог до методу і функції оцінки якості, пропонується шкала яка заснована на нормативно-технічних (проектних, конструкторських) вимогах щодо оцінюваного об'єкта (датчика). За основу побудови шкали взяті принципи технічного регулювання, визначення станів технічних об'єктів в стандартах та вимоги до шкали якості [4], [12–15].

Шкала ентропійної оцінки якості L^A (рис. 1), у відповідності до області значень функції ентропійної оцінки якості простого показника SQM , має діапазон $0 \leq L^A \leq 1$ ($SQM = 1$ відповідає максимальному, а $SQM = 0$ – мінімальному значенню якості), який розбивається на три піддіапазони:

1. Справний стан (good state) – стан об'єкта, при якому він відповідає всім нормативно-технічним (проектним, конструкторським) вимогам.

2. Працездатний стан (up state) – стан об'єкта, при якому від здатен виконувати потрібну функцію (можливість експлуатації), але стійка робота і потрібна продуктивність не гарантується.

3. Непрацездатний стан (down state) – стан об'єкта, при якому він не здатний виконувати потрібну функцію.

Приналежність до піддіапазонів шкали визначається наступними виразами:

- Справний стан, якщо

$$SQM(s_{exp}, s_{meas}) \in [SQM(s_{exp}, x)],$$

де $(s_{exp} - b \leq x \leq s_{exp} + a)$, (a, b) – допустиме максимальне і мінімальне відхилення від очікуваного значення, відповідно.

1	Справний стан $SQM(s_{exp}, s_{meas}) \in [SQM(s_{exp}, x)]$
	Працездатний стан $SQM(s_{exp}, s_{meas}) \in [SQM(s_{exp}, y)]$
	Непрацездатний стан $SQM(s_{exp}, s_{meas}) \notin \{[SQM(s_{exp}, x)] \cup [SQM(s_{exp}, y)]\}$
0	

Рисунок 1 – Шкала ентропійної оцінки якості простого показника

- Працездатний стан, якщо

$$SQM(s_{exp}, s_{meas}) \in [SQM(s_{exp}, y)],$$

де $\begin{cases} s_{exp} + a < y \leq s_{exp} + a + c \\ s_{exp} - b - d \leq y < s_{exp} - b \end{cases}$, (c, d) – максимальне і мінімальне відхилення від допустимих значень відхилень (a, b) , відповідно.

- Непрацездатний стан

$$SQM(s_{exp}, s_{meas}) \notin \{[SQM(s_{exp}, x)] \cup [SQM(s_{exp}, y)]\}$$

в інших випадках.

На рис. 2 (а, б, в) наведено результати моделювання якісного стану датчика з алфавітом S , розподілом $N(3, 2)$ та нормативно-технічними вимогами:

- Справний стан:

$$0 \leq \text{значення алфавіту } S \leq 5.$$

- Працездатний стан:

$$\begin{cases} -5 \leq \text{значення алфавіту } S < 0 \\ 5 < \text{значення алфавіту } S \leq 10 \end{cases}$$

- Непрацездатний стан:

$$\begin{cases} \text{значення алфавіту } S < -5 \\ \text{значення алфавіту } S > 10 \end{cases}$$

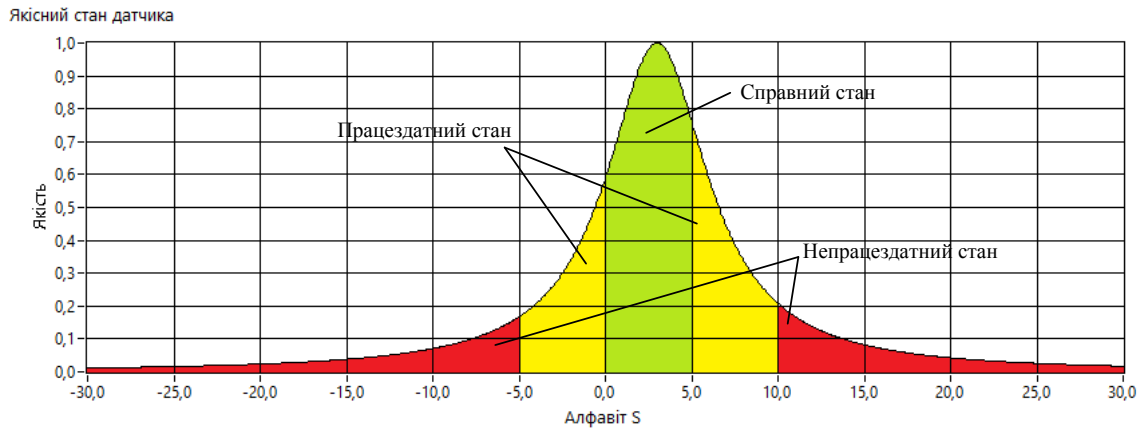
Висновки

У статті запропоновано функцію і шкалу ентропійної оцінки якості поточного стану датчиків технічної системи, яка відповідає вимогам універсальності та максимальної незалежності від людського фактору. Доведено відповідність запропонованої функції вимогам до функцій

оцінки якості. На відміну від існуючих психофізичних шкал пропонується шкала ентропійної оцінки якості має динамічний діапазон оцінювання, тобто межі піддіапазонів будуть автоматично змінюватися в залежності від нормативно-технічних вимог до стану досліджуваного датчика. Можна сказати, що шкала адаптується під конкретні вимоги, що дозволяє більш достовірно

оцінити якісний стан об'єкта. Наведено результати моделювання якісного стану датчика.

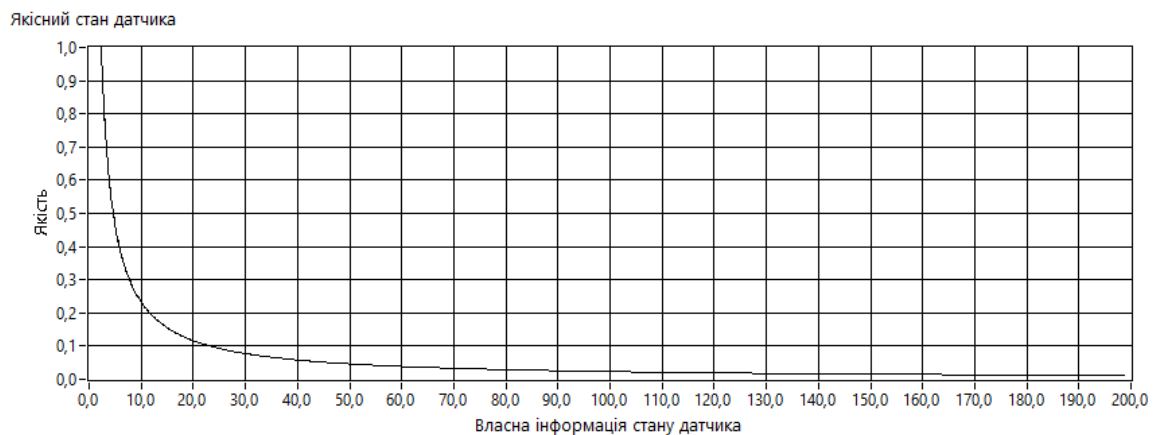
Можливим практичним застосуванням запропонованої функції і шкали є використання в системах моніторингу і діагностики, для визначення поточного якісного стану досліджуваної технічної системи.



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Візуалізація результатів моделювання якісного стану датчика:

- а) якісний стан датчика відносно значень алфавіту S датчика;
- б) якісний стан датчика відносно ймовірності прийняття датчиком стану s_j з алфавіту S ;
- в) якісний стан датчика відносно власної інформації стану датчика

Список використаних джерел

1. Волков К. С. Удосконалення розрахунків показників якості за функцією бажаності Харрінгтона / К. С. Волков, С. Л. Волков, Н. Ф. Казакова // Сучасний захист інформації. – 2017. – № 1. – С. 103–108.
2. Пичкалев А. В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств / А. В. Пичкалев // Исследования наукограда. – 2012. – № 1. – С. 25–28.
3. Шутяк Ю. В. Використання функції бажаності для оцінки економічної безпеки підприємства / Ю. В. Шутяк // Наукові студії. – 2010. – Випуск 7. – С. 147–154.
4. Бубнов Е. А. Шкалирование входной информации / Е. А. Бубнов, Д. А. Скороходов // Портал : Изд-во Гринда. URL: <http://grinda.info/control/skalir/skalir.htm>.
5. Harrington Edwin C., Jr. The Desirability Function / Industrial Quality Control. – 1965, April. – P. 494–498.
6. Величко О. М. Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості: підручник: у 5 т. – Т. 4: Забезпечення якості та системи управління, за заг. ред. О. М. Величка. – Одеса: БМВ, 2014. – 508 с.
7. Куць В. Р. Кваліметрія / В. Р. Куць, П. Г. Столярчук, В. М. Друзюк. – Л.: Вид-во Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2012. – 256 с.
8. Volkov S. Set-theoretic model of the information state of the industrial cyberphysical system / S. Volkov // Scientific journal of the Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University. – 2018. – № 1(89). – P. 132–138.
9. Волков С. Л. Філософський аспект інформаційного стану штучних систем / С. Л. Волков, О. І. Кисельова // Метрологія та прилади. – 2017. – № 5. – С. 119–122.
10. Кудряшов Б. Д. Теория вероятностей: учеб. для вузов / Б. Д. Кудряшов. – СПб.: Питер, 2009. – 320 с.
11. ДСТУ ISO/IEC 25021:2016 Інженерія програмних засобів і систем. Вимоги щодо якості та оцінювання систем і програмного продукту (SQuaRE). Елементи показника якості (ISO/IEC 25021:2012, IDT).
12. Величко О. М. Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості: підручник у 5 т. – Т. 2: Технічне регулювання / за заг. ред. О. М. Величка. – Одеса: БМВ, 2014. – 509 с.
13. Кириллов В. И. Кваліметрія и системный анализ: учебн. пособие / В. И. Кириллов. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. – 440 с.
14. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике.

Основные понятия. Термины и определения.

15. IEC 60050 (191):1990-12 «Dependability and quality of service», NEQ.

References

1. Volkov K. S. Udoskonalennia rozrakhunkiv pokaznykiv yakosti za funktsiieiu bazhanosti Khar-rinhntona / K. S. Volkov, S. L. Volkov, N. F. Kazakova // Suchasnyi zakhyst informatsii. – 2017. – # 1. – S. 103–108.
2. Pichkalev A. V. Obobshhennaya funkciya zhelatel'nosti Xarringtona dlya sravnitel'nogo analiza texnicheskix sredstv / A. V. Pichkalev // Issledovaniya naukograda. – 2012. – № 1. – S. 25–28.
3. Shutiaik Yu. V. Vykorystannia funktsii bazhanosti dlia otsinky ekonomichnoi bezpeky pidpriemstva / Yu. V. Shutiaik // Naukovi studii. – 2010. – Vypusk 7. – S. 147–154.
4. Bubnov E. A. Shkalirovanie vxodnoj informacii / E. A. Bubnov, D. A. Skorokhodov // Portal : Izd-vo Grinda. URL: <http://grinda.info/control/skalir/skalir.htm>.
5. Harrington Edwin C., Jr. The Desirability Function / Industrial Quality Control. – 1965, April. – P. 494–498.
6. Velychko O. M. Metrolohiia, tekhnichne rehuliuвання ta zabezpechennia yakosti: pidruchnyk: u 5 t. – T. 4: Zabezpechennia yakosti ta systemy upravlinnia, za zah. red. O. M. Velychka. – Odesa: VMV, 2014. – 508 s.
7. Kuts V. R. Kvalimetriia / V. R. Kuts, P. H. Stoliarchuk, V. M. Druziuk. – L.: Vyd-vo Nats. un-t «Lviv. politekhnik», 2012. – 256 s.
8. Volkov S. Set-theoretic model of the information state of the industrial cyberphysical system / S. Volkov // Scientific journal of the Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University. – 2018. – № 1(89). – P. 132–138.
9. Volkov S. L. Filosofskyi aspekt informatsiinoho stanu shtuchnykh system / S. L. Volkov, O. I. Kyselova // Metrolohiia ta prylady. – 2017. – # 5. – S. 119–122.
10. Kudryashov B. D. Teoriya veroyatnostej: ucheb. dlya vuzov / B. D. Kudryashov. – SPb.: Piter, 2009. – 320 s.
11. DSTU ISO/IEC 25021:2016 Inzheneriia prohramnykh zasobiv i system. Vymohy shchodo yakosti ta otsiniuvannia system i prohramnoho produktu (SQuaRE). Elementy pokaznyka yakosti

(ISO/IEC 25021:2012, IDT).

12. Velychko O. M. Metrolohiia, tekhnichne rehuliuвання ta zabezpechennia yakosti: pidruchnyk u 5 t. – T. 2: Tekhnichne rehuliuвання / za zah. red. O. M. Velychka. – Odesa: VMV, 2014. – 509 s.

13. Kirillov V. I. Kvalimetriya i sistemnyj analiz: uchebn. posobie / V. I. Kirillov. – Minsk: Novoe

znanie; M.: INFRA-M, 2011. – 440 s.

14. GOST 27.002-89 Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya.

15. IEC 60050 (191):1990-12 «Dependability and quality of service», NEQ.

Надійшла до редакції 21.05.2018

С. Л. Волков, к.т.н., К. С. Волков

ФУНКЦИЯ И ШКАЛА ЭНТРОПИЙНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДАТЧИКА

В статье предложена функция и шкала энтропийной оценки качества текущего состояния датчиков технической системы, соответствующей требованиям универсальности и максимальной независимости от человеческого фактора. Доказано соответствие предложенной функции требованиям к функциям оценки качества. Предлагаемая шкала имеет динамический диапазон оценки, что обеспечивает ее адаптацию под конкретные требования и позволяет более достоверно оценить качественное состояние объекта. Возможным практическим применением является использование в системах мониторинга и диагностики, для определения текущего качественного состояния исследуемой технической системы.

Ключевые слова: функция и шкала энтропийной оценки, качество текущего состояния датчиков, техническая система, динамический диапазон оценки, моделирование качественного состояния датчика.

S. L. Volkov, PhD, K. S. Volkov

FUNCTION AND SCALE FOR THE ENTROPY EVALUATION OF THE CURRENT STATE OF SENSORS QUALITY

In the article the function and the scale for the entropy evaluation of the current state of sensors quality in the technical system which fits the requirements of universality and maximal independency from the human factor are offered. It is highlighted that the available methods of the determination of the quality of the technical systems have essential flaws which consist in both subjectivism because the dominant role in the evaluation belongs to experts and legitimacy of providing them properties of universality which was proved by nobody.

The offered function of the quality evaluation, the parameter of which is the quantity of own information of the explored sensor, provides the declared universality approach according to the principles of the information theory. The conformity to all requirements for the functions of the evaluation of the quality: continuity, monotonicity and smoothness over the whole range of definition regardless of the probability distribution function, which is measured by the random value sensor was proved. The conformity to all requirements for the functions of the quality evaluation: continuity, monotonicity and smoothness over the whole range of definition regardless of the probability distribution function, which is measured by the random value sensor is proved.

The proposed scale of the entropy evaluation of the quality fits to standard settings of the diagnostic of the technical systems and has three subranges which determine the state of the sensors: good state, up state, and down state. Unlike the existing psychophysical scales the offered scale has dynamic range of the evaluation so the limits of the subranges will automatically change depending on the regulatory and technical requirements for the state of the explored sensor. Such approach provides adaptation of the scale to specific requirements which gives a chance to evaluate the qualitative state of the object more reliably. The results of modeling of the qualitative state of the sensor are given. The possible practical application of the offered function and scale is usage in the systems of monitoring and diagnostic for determination of the current qualitative state of the explored technical system.

Keywords: the function and the scale of the entropy evaluation, the quality of the current state of the sensors, technical system, dynamic range of the evaluation, modeling of the qualitative state of the sensor.

РОЗДІЛ 2

Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення

O. M. Velychko, DSc, V. V. Isaiev*State Enterprise «All-Ukrainian state scientific and production center for standardization, metrology, certification and consumer rights protection», Kyiv***INVESTIGATING THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF AC/DC TRANSFER STANDARD**

The two rounds of investigating the dependence of measurement results of the AC/DC transfer difference on a temperature are yielded during the work. This is one of the important metrological characteristics of precise AC/DC transfer standard Fluke 792A that was varied in a heat chamber in the range of temperature from 15 to 25 °C. The first round has consisted 5 observation cycles which were executed for every point at every defined temperature. There were selected nine observation points depending on frequency and voltage level, and six points depending on measuring temperature. The second round clarifies the dubious results obtained in the first one. As a result of the work, the measurement procedure is described, the uncertainty budget is made up and the temperature dependence of the metrological characteristic under study is determined.

Keywords: AC/DC transfer difference; temperature dependence; thermocomparator Fluke 792A; measurement procedure; uncertainty.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-19-28

Introduction

The State primary standard of the AC electric voltage from 0.1 to 1000 V is developed and operated in the frequency range from 10 Hz to 1 MHz (DETU 08-07-02) for today in Ukraine. DETU 08-07-02 is intended for the metrological support of precision measuring instruments (MI) in the area of AC voltage measurement, participated in two international comparisons and assigned as the guarantor of the unity of measurements in the state in this direction since the comparison results are linked on the results of comparisons national standards of the leading national metrological institutes of the world [1]. DETU 08-07-02 is a complex of precise MI for measuring, reproducing and converting DC and AC voltages. One of the key elements of this complex is the precision thermoelectric comparator Fluke 792A, which is designed to compare the true RMS value of AC voltage with the equivalent value of DC voltage.

The main metrological characteristic of Fluke 792A is the AC/DC transfer difference (TD) which reflects the relative difference between the values of AC and DC voltages at the input of this MI (the condition is that its output signals are equal at the time of measuring the input signals). The manufacturer's specification of this instrument specifies two temperature ranges for which the acceptable limits of TD are indicated as well as related expanded uncertainty [2]. The temperature ranges are ± 5 °C and ± 12 °C from the calibration temperature which is usually 23 °C. The narrower limits of the measurement uncertainty (UM) values are set for the first range of temperatures, while an

insignificantly wider are for the second one. But there is no information about the temperature coefficient of MI in this document. So the question about the temperature dependence of TD of Fluke 792A arises.

Overview of publications

One of the works devoted to the study of temperature instability of reference MIs is the illumination of the features of the use of a precision electric power comparator which is a part of the State primary standard of the electric power and power factor DETU 08-08-02 [3]. Also, the study of the temperature coefficient of AC/DC transfer current shunts was performed for wideband power applications in the temperature range from 20 to 30 °C [4].

The investigation of long-term instability DETU 08-07-02 should be illuminated among the papers concerning to Fluke 792A. The main operation in the method of the research is determining the TD of precision thermoconverter relative to Fluke 792A [5]. It is interesting to study the method of disseminating the unit of volt from DETU 08-07-02 to precision thermoconverters in the part influencing UM with variation of the dynamic characteristics of the measurement process with help of Fluke 792A [6].

With regard to the study of the temperature dependence of Fluke 792A, the website of the International Bureau of Measures and Weights BIPM [7] gives out a technical protocol of key comparison CCEM-K11 and CCEM-K11.1 of voltage transfer difference at low voltages under the auspices of the International Committee of Measures

and Weights CIPM [8]. There is information in this document, in the section «The travelling standard...», about the temperature coefficient of Fluke 792A that is frequency dependent. The values of this coefficient are given, in particular, for the range of input voltages up to 220 mV like 0 , $1 \cdot 10^{-6}$ and $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ for frequencies up to 20, 100 and 1000 kHz, respectively. The expanded uncertainty with this is reported like $1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ for frequencies up to 100 kHz and $4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ for a frequency of 1000 kHz. However, the procedure for processing the measurement results (RM) and UM is not covered in this source. The authors did not find the information on the temperature dependence of the TD for the higher input voltage ranges. It follows from the available information [8] that is a lack of temperature dependence of TD for frequencies up to 20 kHz and the presence of a small temperature component of the investigated metrological characteristic at a frequency of 100 kHz relative to the expanded uncertainty at this frequency within 1 K. The additional contribution to the expanded uncertainty will be less than 0.5 % in the case of non-consideration of temperature correction.

Setting goals

For a better understanding of the subject, the technological features of the Fluke 792A working must be considered. For this purpose, Fig. 1 shows four variants of the interrelations of input and output quantities.

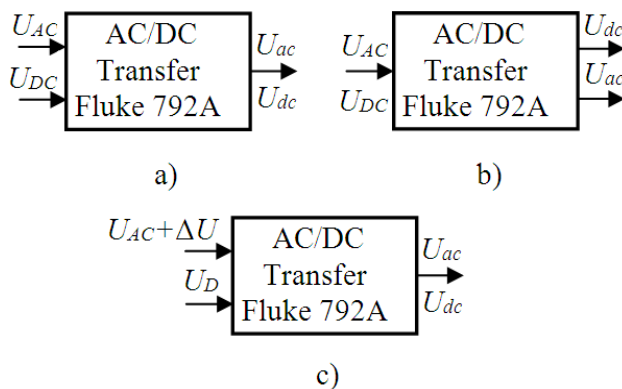


Figure 1 – Interrelations between input and output signals

Variant (a) represents a combination of signals of the investigated thermocomparator when the output signals of the alternating U_{ac} and the direct U_{dc} voltage are equal at the stages of the application of the input alternating U_{AC} and direct U_{DC} voltage, while the condition for determining the TD of the MI is achieved [9].

Variant (b) represents the inverse case when the values of the input voltages coincide, and then it is possible to determine the TD with the opposite sign,

taking into account the quasi-linearity of the transmission function of this MI. Such an approach to the definition of this metrological characteristic is realized in the calibration procedure developed by SE «Ukrmetrteststandard» [10] and in the national standard [11].

If the interrelation of input signals is taken off from the state of equality, adding a displacement of the alternating voltage (see variant (c) on Fig. 1), then you can find such value of this input quantity when the output signals will be equal again.

It is worth considering in more detail the process of obtaining information about the actual value of TD of Fluke 792A for the understanding of some nuances.

There is a proportional DC signal at the output of the investigated MI when applying a direct voltage at its input. According to available information [2], it is formed in the measuring path consisting of an input amplifying or dividing unit of electronic components, a measuring unit with an RMS-sensor, an output signal formation unit.

Obviously, the output signal should change as a result of the change in the internal temperature of each element of the measuring path. However, the output signal for applied input AC voltage is formed through the same measuring circuit with the difference that the additional reactive components of the circuit which were in the passive state during the application of input DC voltage. According to the above, the output signal at this operation should also change by approximately the same magnitude, since the difference in the measuring path is only present at the stage before the AC/DC transformation of the signal. The results of the observations set out in [8] indicate a change in the difference between the magnitudes of the output signal at the two specified operations at about 1 uV/V at a frequency of 100 kHz, most likely due to changes in the characteristics of the reactive components.

The effect of temperature on RM of calibration using this standard should be investigated in a wide range of input voltage values to support high-quality precision measurements of the alternating voltage because of Fluke 792A is a part of the DETU 08-07-02. Particularly relevant, this question becomes in the context of the accreditation of the state standards laboratory by international auditors under the auspices of the regional metrological organization COOMET, since the DETU 08-07-02 must be operated in the temperature range from 21 to 23 °C and the temperature of the calibration of Fluke 792A is usually 23 °C.

The above aspects of Fluke 792A application which is a part of DETU 08-07-02 allow to focus an attention on the relevance of the investigation of the temperature dependence of TD of Fluke 792A over a

wider range of voltage and to understand the features of the following measurement procedure.

Thus, the purpose of the work is highlighting the measurement procedure, making up the uncertainty budget and determining the temperature dependence of TD of Fluke 792A for taking into account the effect of temperature on the results of disseminating the AC voltage unit to a less accurate MI.

Research method

The basis of research is an assumption about invariability or negligible variation of actual values of deviation Δ_{5720} of output signal of the calibrator Fluke 5720A and deviation of multimeter Agilent 3458A (that is included in total deviation Δ_{Σ}) from the conventional true values of electric voltage in these points on condition of constant connection leads and parameters of surrounding air (first of all, temperature). Furthermore, it is necessary to remember that Fluke 792A converts input signal with some transmission ratio K . An additional condition is an invariability or negligible variation of the internal temperature of mentioned MIs. The last requirement could be satisfied with help of the conditioner (we succeeded to retain a temperature in the range from 22,15 to 22,66 °C during six hours, that is average velocity of temperature variation did not exceed 0,1 °C in one hour).

There was used heat chamber Memmert ICP400 for the creation of necessary temperature level which surrounds investigated MI for determination of temperature dependence of TD of Fluke 792A. The thermocomparator was placed in the determined temperature conditions with adjusting accuracy ± 0.1 °C during two hours. There was placed thermohygrometer Testo 608-H1 in a middle of this chamber, in order to avoid the displaying of the heat chamber which was calibrated previously. It is interesting to define the dependence of TD of investigated thermocomparator on the surrounding temperature variation in a range from 15 to 25 °C for the scientific and production necessities of the research department of the electric measurements. An interval was selected in two degrees for change fixing of investigated metrological characteristic, that is the determination of TD was executed in six points of one frequency of one magnitude alternating voltage (for research was select frequencies 20 Hz, 1 and 100 kHz in all).

It is possible to research the temperature dependence of TD of investigated thermocomparator using a measuring scheme that is represented in Fig. 2.

The multimeter Agilent 3458A has a function of displaying the value of internal temperature that allows to obtain information about this parameter of MI and to surmise about the internal state of

Fluke 5720A. The observation on the time of obtaining the stable temperature inside chassis of multimeter Agilent 3458A in the laboratory of SE «Ukrmetrteststandard» with the volume of air about 65 cubic meters allowed to get conclusion about passing to the quasi-stable internal temperature state during about four hours continuous work, when variation velocity of this parameter does not exceed 0.1 °C and probably, depends on the temperature of surrounding air. The judgment about internal temperature of Fluke 5720A can be formed leaning on state information of multimeter Agilent 3458A, as there is no analogical possibility for the first MI. Then we could assume the possibility of temperature equilibrium achievement approximately in the same temporal borders for both MIs.

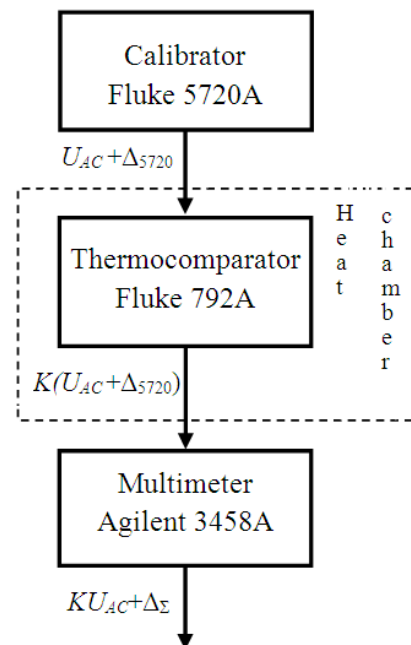


Figure 2 – A measuring scheme for investigating the temperature dependence

The involved MIs were warmed up for at least 150 minutes and Fluke 792A was been in the given temperature conditions for two hours. After that, the output signal of Fluke 792A was measured with the help of multimeter Agilent 3458A when the voltage of the determined value and frequency was applied to the input of the MI. The readout of the multimeter was fixed ten times and, after that, the DC voltage of the positive polarity of the equivalent magnitude was applied to the input of Fluke 792A in the second stage. The readout of the multimeter was fixed ten times and, after that, the voltage polarity was changed to negative and output signal of MI was again recorded 10 times in the third stage. Such manipulations were performed five times for each observation point. Thus, the full information about

the TD at any point consisted of 50 observation results of the alternating voltage, 50 observation results of the direct positive and 50 observation results of the direct negative voltage.

Further processing of the measurement data array was carried out according to the formula

$$\bar{U}_j = \frac{\sum_{i=1}^{50} U_{ji}}{50}, \quad (1)$$

where j is a number of observation stage (from 1 to 3);

i is a number of observation result U_j .

The final RM was determined by the formula

$$\delta_{5720} = \frac{2 \cdot \bar{U}_1}{\bar{U}_2 + \bar{U}_3} - 1, \quad (2)$$

where $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3$ are the average arithmetic values of the multimeter readouts at the measurement of the electrical voltage at the first, second and third stages, respectively, which were calculated by the formula (1).

It should be noted that RM by expression (2) is proportional to the deviation of the RMS value of input AC voltage at the investigated point from the equivalent value of DC voltage without excluding the TD of Fluke 792A itself.

The generally accepted definition of TD requires the application of AC and DC voltages at the input of the thermocomparator when the corresponding output signals acquire equal values (see variant a) of Fig. 1) [9]. The Fluke 792A has a quasi-linear transmission characteristic [2] and consequently, the TD definition will be valid for the same formula with only the opposite sign when the outputs are used instead of the inputs (the condition is that the input signals are equal during the measurements, like in variant b) of Fig. 1), i.e.

$$\delta_{792} = 1 - \frac{2 \cdot U_{ac}}{U_{pdc} + U_{ndc}}, \quad (3)$$

where U_{ac} is the value of the output signal of Fluke 792A when AC voltage is applied to its input;

U_{pdc}, U_{ndc} are the values of the output signals of Fluke 792A when equivalent DC voltages of positive and negative polarity, respectively are applied to its input.

Taking into account the relative deviations of the multimeter Agilent 3458A readouts from the reference values of the standard during calibration, the expression (2) is converted to

$$\delta_{5720} = \frac{2 \cdot (1 + \delta_1) \cdot U_{s1}}{(1 + \delta_2) \cdot U_{s2} + (1 + \delta_3) \cdot U_{s3}} - 1, \quad (4)$$

where U_{s1}, U_{s2}, U_{s3} are conventional true values of voltage for multimeter indications;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ are relative deviations of multimeter indications.

The relative deviations of the multimeter Agilent 3458A from the conventional true values are going to be neglected, taking into account the negligibly small difference between its indications in the first, second and third stages which allows equating these deviations.

The arithmetic mean of the output signal in the first stage can be divided into two components in the expression (2): the value of the voltage which can be equated to U_{ac} and proportional to the deviation of Fluke 5720A's output signal ΔU_{ac} and thus

$$\bar{U}_1 = U_{ac} + \Delta U_{ac}. \quad (5)$$

Using the relation (3) can be obtained

$$\bar{U}_1 = (1 - \delta_{792}) \cdot \frac{U_{pdc} + U_{ndc}}{2} + \Delta U_{ac}. \quad (6)$$

When the temperature of the ambient air around Fluke 792A is fixed equal to the temperature of its calibration, then the ratio

$$U_{pdc} + U_{ndc} = U_{s2} + U_{s3} \quad (7)$$

is right.

In this case, the relation (2), taking into account the expression (4), can be converted to

$$\delta_{5720} = \frac{\Delta U_{ac}}{U_{s2} + U_{s3}} - \delta_{792}. \quad (8)$$

Consequently, taking $\Delta U_{ac} = \text{const}$, we obtain the direct dependence of RM on TD of investigated Fluke 792A by the formula (2). We can do the conclusion about changing the TD of the investigated MI by varying the temperature of the heat chamber inner air, calculating RM difference using formula (2).

Evaluating the measurement uncertainty

In order to properly evaluate UM in determining the temperature dependence of TD of Fluke 792A one must find the difference of RM by equation (2) at adjacent points 1 and 2, transforming the expression

$$\delta_{792}(T) = \frac{\frac{2 \cdot U_{12}}{U_{22} + U_{32}} - \frac{2 \cdot U_{11}}{U_{21} + U_{31}}}{T_1 - T_2}, \quad (8)$$

where T_1 , T_2 are the temperature values in the heat chamber at the measuring points.

The sensitivity coefficients for each input quantity of the functional relationship (8) must be defined as the first partial derivatives in accordance with the Guide to the expression of UM [12].

The absolute value of the sensitivity coefficient for the voltages measured in the first stage is equal to

$$c_1 = \frac{\partial \delta_{792}(T)}{\partial U_{1k}} = \frac{2}{(T_1 - T_2) \cdot (U_{22} + U_{32})}, \quad (9)$$

where k is a notation of the measuring point.

The absolute value of the sensitivity coefficient for the voltages measured at the second and third stages is equal to

$$c_l = \frac{\partial \delta_{792}(T)}{\partial U_{lk}} = \frac{2 \cdot U_{1k}}{(T_1 - T_2) \cdot (U_{2k} + U_{3k})^2}, \quad (10)$$

where l is a notation of the second or third stages.

The absolute value of the sensitivity coefficient for the heat chamber inner temperature is equal to

$$c_T = \frac{\partial \delta_{792}(T)}{\partial T_k} = \frac{\frac{2 \cdot U_{12}}{U_{22} + U_{32}} - \frac{2 \cdot U_{11}}{U_{21} + U_{31}}}{(T_1 - T_2)^2}. \quad (11)$$

The uncertainty budget is presented in Table 1.

Table 1 – Uncertainty budget when determining the temperature dependence

m	Input quantity	Estimate of input quantity	Standard uncertainty u_m	Contribution to combined uncertainty
1	U_{11}	$\bar{U}_{11}$	u_{11}	$c_1 \cdot u_{11}$
2	U_{12}	$\bar{U}_{12}$	u_{12}	$c_1 \cdot u_{12}$
3	U_{21}	$\bar{U}_{21}$	u_{21}	$c_2 \cdot u_{21}$
4	U_{22}	$\bar{U}_{22}$	u_{22}	$c_2 \cdot u_{22}$
5	U_{31}	$\bar{U}_{31}$	u_{31}	$c_3 \cdot u_{31}$
6	U_{32}	$\bar{U}_{32}$	u_{32}	$c_3 \cdot u_{32}$
7	T_1	$\bar{\bar{O}}_1; \Delta_1$	$u_{T1}; u_T$	$c_T \cdot u_{T1}; c_T \cdot u_T$
8	T_2	$\bar{\bar{O}}_2; \Delta_2$	$u_{T2}; u_T$	$c_T \cdot u_{T2}; c_T \cdot u_T$
Output quantity		Measurement result	Combined standard uncertainty	Expanded uncertainty
$\delta_{792}(T)$		Equation (8)	u_{2comb}	$k \cdot u_{2comb}$ ($k \approx 2$)

There is used the symbol u in Table 1. In general, it is the type A uncertainty for the corresponding input quantity, but also it notes the type B uncer-

tainty for the correction of the thermohygrometer indication when it is used the subscript T .

Combined standard uncertainty is determined by the formula

$$u_{2comb} = \sqrt{\sum_{m=1}^8 c_m^2 \cdot u_m^2}. \quad (12)$$

Measurement results and uncertainty of defining the temperature dependence

The measurements were made to determine the temperature dependence when the electrical voltage of 0.2, 2 and 5 V at a frequency of 20 Hz, 1 and 100 kHz were applied. As noted above, the temperature points of measurement were chosen 15, 17, 19, 21, 23 and 25 °C.

The determination of temperature dependence took place in two rounds. In the first round, a complete cycle of measurements was carried out at all points starting at a temperature of 15 °C.

In the second round, a clarification of the dubious RMs was made. The results that had values significantly different from the overall consecutive RM were attributed as the dubious RMs.

RM of the first round of the study is presented in Tables 2-4.

Table 2 – Average values of measured input quantities and RM for voltage 0.2 V

T, °C	Output signal value, V, depending on the input voltage			RM, uV/V
	alternating	positive direct	negative direct	
at frequency 20 Hz				
15	1.795153	1.795197	1.795220	-30.9
17	1.795089	1.795142	1.795151	-32.0
19	1.795038	1.795097	1.795089	-30.6
21	1.795003	1.795075	1.795034	-28.7
23	1.794910	1.794986	1.794947	-31.5
25	1.794858	1.794951	1.794885	-33.4
at frequency 1 kHz				
15	1.795202	1.795189	1.795214	0.3
17	1.795140	1.795139	1.795146	-1.4
19	1.795088	1.795093	1.795086	-0.8
21	1.795025	1.795049	1.795010	-2.5
23	1.794977	1.795000	1.794962	-2.2
25	1.794910	1.794944	1.794883	-1.9
at frequency 100 kHz				
15	1.795184	1.795186	1.795213	-8.6
17	1.795123	1.795133	1.795145	-8.9
19	1.795082	1.795099	1.795092	-7.5
21	1.795010	1.795044	1.795006	-8.4
23	1.794962	1.794995	1.794958	-8.1
25	1.794897	1.794941	1.794880	-7.5

In general, the dependencies of RM on temperature which were obtained in the first round of the study seems to have close to the direct lines with peak emissions at some points.

The results of the investigation at a voltage of 0.2 V for a better visual perception are converted to a graphical form in Fig. 3.

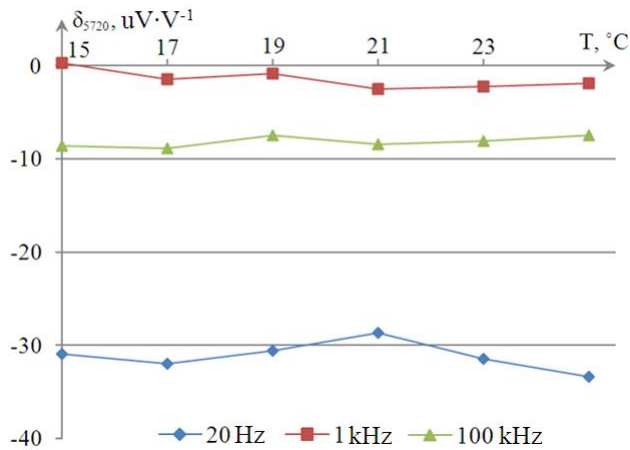


Figure 3 – RM dependence for input voltage 0.2 V

The results of the study on voltage 2 V for Table 3 have been converted to a graphical form in Fig. 4.

Table 3 – Average values of measured input quantities and RM for voltage 2 V

T, °C	Output signal value, V, depending on the input voltage			RM, uV/V
	alternating	positive direct	negative direct	
at frequency 20 Hz				
15	1.694307	1.694362	1.694373	-35.7
17	1.694305	1.694300	1.694312	-0.6
19	1.694212	1.694264	1.694274	-33.6
21	1.694109	1.694162	1.694174	-34.8
23	1.693996	1.694051	1.694061	-35.4
25	1.693914	1.693967	1.693973	-33.1
at frequency 1 kHz				
15	1.694384	1.694362	1.694371	10.3
17	1.694322	1.694299	1.694311	10.0
19	1.694283	1.694261	1.694272	9.7
21	1.694210	1.694188	1.694200	9.4
23	1.694158	1.694135	1.694147	10.0
25	1.694070	1.694048	1.694057	10.3
at frequency 100 kHz				
15	1.694204	1.694363	1.694374	-97.1
17	1.694342	1.694300	1.694312	21.2
19	1.694101	1.694260	1.694271	-97.1
21	1.694029	1.694188	1.694200	-97.4
23	1.693977	1.694134	1.694147	-96.5
25	1.693887	1.694046	1.694056	-96.8

The nature of the temperature dependencies shown in Fig. 3 indicates the inappropriateness of introducing a temperature correction to RM obtained with the application of the thermocomparator in the range of a given temperature.

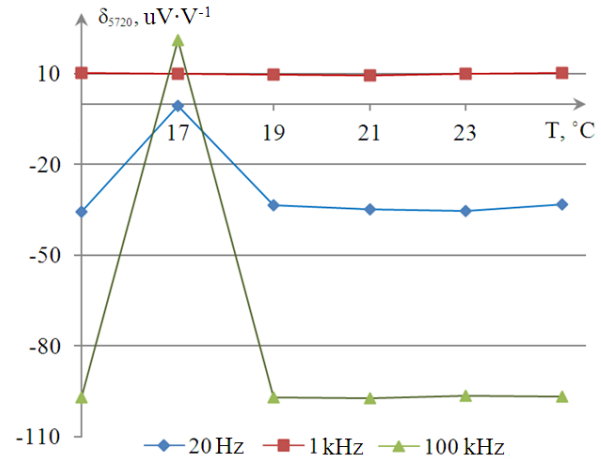


Figure 4 – RM dependence for input voltage 2 V

As can be seen in Fig. 4, during the first round of research recorded jump-off offset of RMs at a temperature of 17 °C at frequencies of 20 Hz and 100 kHz which causes distrust of these RMs.

Table 4 – Average values of measured input quantities and RM for voltage 5 V

T, °C	Output signal value, V, depending on the input voltage			RM, uV/V
	alternating	positive direct	negative direct	
at frequency 20 Hz				
15	1.426868	1.426910	1.426921	-33.3
17	1.426843	1.426877	1.426888	-27.7
19	1.426822	1.426863	1.426873	-32.2
21	1.426782	1.426825	1.426837	-34.3
23	1.426675	1.426719	1.426731	-35.0
25	1.426701	1.426750	1.426756	-36.4
at frequency 1 kHz				
15	1.426905	1.426910	1.426920	-7.0
17	1.426872	1.426877	1.426888	-7.4
19	1.426854	1.426859	1.426869	-7.0
21	1.426809	1.426814	1.426826	-7.5
23	1.426778	1.426783	1.426795	-7.7
25	1.426751	1.426756	1.426767	-7.4
at frequency 100 kHz				
15	1.426937	1.426909	1.426920	15.8
17	1.427000	1.426878	1.426888	82.0
19	1.426917	1.426858	1.426868	37.8
21	1.426756	1.426814	1.426825	-44.3
23	1.426725	1.426783	1.426794	-44.5
25	1.426692	1.426752	1.426763	-45.9

The results of the study on voltages 5 V for Table 4 have been converted to a graphical form in Fig. 5.

As can be seen from Tables 2-4, the spin-off deviations were fixed at a temperature of 17 °C at a voltage of 2 V at a frequency of 20 Hz and 100 kHz and 5 V at a frequency of 20 Hz. Another problem point was the temperature of 19 °C for a frequency of 100 kHz at a voltage of 5 V. Moreover, the displacement at all points occurred in one positive direction. RMs got to a roughly straight line on a frequency of 1 kHz at all observation points and at any given temperature.

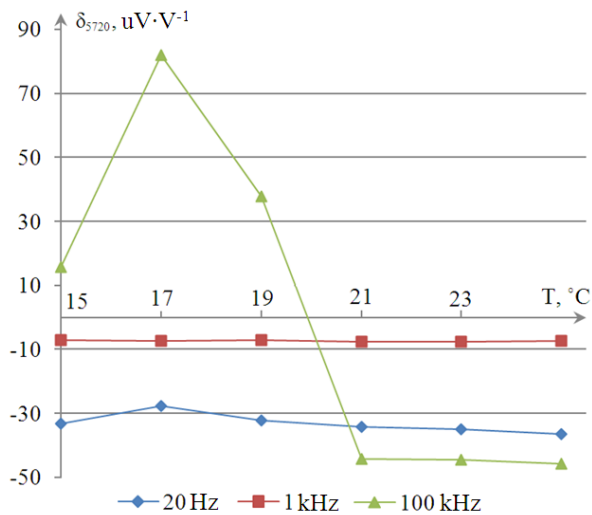


Figure 5 – RM dependence for input voltage 5 V

During the second round, a refinement of jump-off RM offset was made. The refinement was carried out for three values of temperature, two values of frequency and two values of electric voltage. The process was constructed in such a way that observation took place practically throughout the whole period of temperature change in the heat chamber. It was accidental, but the MI was maintained for two hours at a temperature of 15 °C at the beginning.

Periodic measurements were made in accordance with the expressions (1) and (2) in a random manner starting with this temperature and to a temperature different from laboratory to several degrees. It was noted that there was no repetition of previous results at a frequency of 100 kHz for both voltage values in contrast to the frequency of 1 kHz where the repetition occurred. With regard to the frequency of 20 Hz, the results of the second round indicate a straightforward temperature dependence despite the isolated cases of RM deviation.

During the second round of observations, some of the regularities of the Fluke 5720A functioning were noted. It was observed that the output signal of

said MI during the observation period took some number of certain values at a frequency of 100 kHz. There were recorded several cases of jump-off RM offset during one measurement stage and after some time the return of RM to the previous value. Since the measurement scheme involves three MIs, this state of affairs may be explained by changes in the internal parameters of some of them. The RM offset was recorded almost entirely at a frequency of 100 kHz which is the evidence of the version about the internal state change of the Fluke 5720A.

The values of RM that were periodically repeated during the first and second rounds for voltage 2 V at frequency of 100 kHz: -97.2; -39.5; -20.5; +21.3 uV/V.

The values of RM that were periodically repeated during the first and second rounds for voltage 5 V at frequency of 100 kHz: -45.6; +15.8; +38.1; +81.6 uV/V.

Throughout the time of observation, a small short-term displacement of the multimeter readings periodically arose which was noticeable at all stages of the measurement. It may have been the effect of internal noise of the Fluke 792A or the multimeter. The materials from previous experimental studies were used in order to take into account the short-term instability of Fluke 5720A [13].

Another factor influencing the RMs is the drift of the output signal of Fluke 792A whose contribution to the combined standard uncertainty has been estimated in accordance with [6] at a level lower than 0.1 uV/V. In general, this agrees with the data of the manufacturer [2].

The final results of determining the temperature dependence of Fluke 792A are presented in Table 5.

Table 5 – The temperature-related change of TD, and the corresponding UM

Temperature range	TD change, $\mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	UM, $\mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
for voltage 0.2 V and frequency 20 Hz		
15 - 17	0.55	2.62
17 - 19	-0.70	
19 - 21	-0.95	
21 - 23	1.40	
23 - 25	0.95	
Mean	0.25	
for voltage 0.2 V and frequency 1 kHz		
15 - 17	0.85	1.23
17 - 19	-0.30	
19 - 21	0.85	
21 - 23	-0.15	
23 - 25	-0.15	
Mean	0.22	

Continuation of Table 5

Temperature range	TD change, $\mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	UM, $\mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
for voltage 0.2 V and frequency 100 kHz		
15 - 17	0.15	1.12
17 - 19	-0.70	
19 - 21	0.45	
21 - 23	-0.15	
23 - 25	-0.30	
Mean	-0.11	
for voltage 2 V and frequency 20 Hz		
15 - 17	-0.75	1.97
17 - 19	-0.30	
19 - 21	0.60	
21 - 23	0.30	
for voltage 2 V and frequency 20 Hz		
23 - 25	-1.15	1.97
Mean	-0,26	
for voltage 2 V and frequency 1 kHz		
15 - 17	0.15	0.96
17 - 19	0.15	
19 - 21	0.15	
21 - 23	-0.30	
23 - 25	-0.15	
Mean	0.00	
for voltage 2 V and frequency 100 kHz		
15 - 17	-0.10	1.09
17 - 19	0.10	
19 - 21	0.15	
21 - 23	-0.45	
23 - 25	0.15	
Mean	-0.03	
for voltage 5 V and frequency 20 Hz		
15 - 17	-2.80	2.01
17 - 19	2.25	
19 - 21	1.05	
21 - 23	0.35	
23 - 25	0.70	
Mean	0.31	
for voltage 5 V and frequency 1 kHz		
15 - 17	0.20	1.28
17 - 19	-0.20	
19 - 21	0.25	
21 - 23	0.10	
23 - 25	-0.15	
Mean	0.04	
for voltage 5 V and frequency 100 kHz		
15 - 17	0.35	1.15
17 - 19	0.30	
19 - 21	-0.45	
21 - 23	0.10	
23 - 25	0.70	
Mean	0.20	

As can be seen from the table, the average values of the temperature coefficient of the investigated MI do not exceed $0.32 \mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. In view of UM values and the dispersion of RM, it can be stated that there is no temperature dependence or that it is negligibly small.

Discussions

The authors are inclined to consider the suspicious RMs obtained in the first round as a contribution of the Fluke 5720A. Another voltage source, the calibrator Fluke 5522A, was used during the work to test such an assumption. However, this instrument is considered less accurate and we felt it when it was applied. For example, the scattering of the RM of the output signal of Fluke 792A at a frequency of 100 kHz was an order of magnitude higher than the same characteristic of the initially selected source (type A uncertainty is 4-5 times greater). In addition, the value of the RM obtained in accordance with expression (2) reached $+290 \mu\text{V}/\text{V}$ at a voltage of 2 V. Also, the drift of the output direct voltage of Fluke 5522A was estimated to be three times larger than an analogic characteristic of the first voltage source. These circumstances did not allow the use of Fluke 5522A as an alternative source.

Another argument which proves in favor of the previous thesis is the absence of a similar problem phenomenon at a frequency of 1 kHz and has a less clear expression for a frequency of 20 Hz.

A disappointing disadvantage of the study is the lack of technical possibility of the application of the above methodology at a frequency of 1000 kHz since the calibrator Fluke 5720A is deprived of a repeating stable output signal of this frequency.

The authors suppose that the results of the study, in general, are considered to avow about inappropriateness to introduce a temperature correction to the treatment of RM during the transfer of the unit of AC voltage. Since the expanded uncertainty attributed to Fluke 792A during calibration has a minimum of 9 and $4 \mu\text{V}/\text{V}$ at frequencies of 20 Hz and 1 kHz, and the estimated mean values of the temperature coefficient for these frequencies for the corresponding voltage are -0.26 and $0.03 \mu\text{V}/\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$, respectively.

Conclusions

The obtained results allow us to state the absence or negligently small degree of influence of the temperature coefficient on the displacement of the TD of Fluke 792A in the temperature range of 15 to 25 °C for three variants of the configuration of the measuring path (with amplifying or dividing the input signal or without scaling).

The measurement procedure of the TD of Fluke 792A temperature dependence research has been proposed and analyzed, as well as the

uncertainty sources have been determined and the uncertainty budget has been compiled in the determination of the temperature characteristic.

A number of characteristic values of the output signal of Fluke 5720A are noted, which, obviously, is a constructive feature of specific specimen or type of MI in whole.

References

1. Velychko, Oleh. "Linking results of key and supplementary comparisons of AC/DC voltage transfer references", International Journal of Metrology and Quality Engineering 9 (2018): 4.
2. 792A. Precision comparator. Service Manual. Everett: Fluke Corporation. 2005.
3. Velychko, Oleh, and Stanislav Karpenko. "Research the temperature instability of the reference comparator of electrical power" 24th National scientific symposium with international participation "Metrology and metrological assurance 2014" (2014): 392–397. (Oleh Velychko, Stanislav Karpenko. Yssledovanye temperaturnoi nestabilnosti etalonnogo komparatora elektrycheskoi moshchnosti // 24th National scientific symposium with international participation "Metrology and metrological assurance 2014" – Sozopol, 2014. – P. 392–397, in Russian).
4. Rietveld, Gert, J. H. N. van der Beek, and Ernest Houtzager. "DC characterization of AC current shunts for wideband power applications." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 60.7 (2011): 2191–2194.
5. Velychko, O. M., and V. V. Isaiev. "The research of metrological characteristics of state primary standard of AC voltage unit." Metrology and instruments. – 5 (2017): P. 13–19. (Velychko O., Isaiev V. Doslidzhennia metrolohichnykh kharakterystyk derzhavnogo pervynnoho etalonu odyntsi zminnoi napruhy // Metrolohiia ta prylady. – 2017. – № 5 – P. 13–19, in Ukrainian).
6. Velychko, O. M., and V. V. Isaiev. "Evaluation of the influence of some dynamic characteristics during the calibration of precision thermal converters." Collection of scientific papers of Odesa state academy of technical regulation and quality 2 (2017): 39–45. (Velychko O., Isaiev V. Otsiniuvannia vplyvu deiakykh dynamichnykh kharakterystyk pry kalibruvanni pretsyziinykh termoperetvoriuvachiv // Zbirnik naukovih prac' Odes'koï derzhavnoï akademii tehničnogo reguluvannâ ta âkosti. – 2017. – № 2 – P. 39–45, in Ukrainian).
7. "BIPM - BIPM." Bipm.org. N.p., 2018. Web. 7 May 2018.
8. Rydler, Karl-Erik, and Valter Tarasso. CIPM Key Comparison CCEM-K11 And CCEM-K11.1 of AC/DC Voltage Transfer Difference At Low Voltages. BORÅS: SP Technical Research Institute of Sweden, 2007. Web. 7 May 2018.
9. Grzenik, Michal, and Marian Kampik. "Calculable AC voltage standards for 10 kHz–1 MHz frequency range." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 66.6 (2017): 1372–1378.
10. MKV 060-29/08-2011. Metrology. Voltage measuring converters. Calibration method. Kyiv: State Enterprise "Ukrmetrteststandard". 2011. (MKU 060-29/08-2011 Metrolohiia. Yzmyertelnye preobrazovately napriazheniya. Metodyka kalybrovki. [Tekst]. – Kyev: HP "Ukrmetrteststandart", 2011. – 23 s., in Russian).
11. DSTU 7231:2011. Thermoelectrical reference converters and comparators. Verification method (calibration). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. 2011. (DSTU 7231:2011 Metrolohiia. Peretvoriuvachi ta komparatory termoelektrychni etalonn. Metodyka povirky (kalibruvannia). [Tekst]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2011. – 14 s., in Ukrainian).
12. JCGM 100:2008 (GUM 1995). Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. 2008.
13. Tuz, Yu. M., and M. V. Dobroliubova. "The methods for a short-time instability determination for the output signal of precision references" Information Processing Systems 1 (2011): 143–147. (Tuz Yu. M. Metodyky vyznachennia korotkochasovoi nestabilnosti vykhidnogo syhnalu pretsyziinykh dzherel napruhy / Yu. M. Tuz, M. V. Dobroliubova // Systemy obrobky informatsii. – Kharkiv, 2011. – №1(91). – S. 143–147, in Ukrainian).

Надійшла до редакції 11.05.2018

О. М. Величко, д.т.н., В. В. Ісаєв

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕТАЛОНУ АС/ДС ПЕРЕХОДУ

У складі Державного первинного еталону одиниці електричної змінної напруги є прецизійний термокомпаратор Fluke 792A. Цей прецизійний засіб вимірювальної техніки призначений для різночасового компарування діючого значення змінної напруги з еквівалентним значенням постійної напруги. Найбільше впливає на сумарну невизначеність зазначеного державного еталону Fluke 792A, тобто стандартна невизначеність при вимірюванні його похибки компарування напруги.

У технічній документації цього термокомпаратору відсутня інформація про температурну залежність метрологічних характеристик, що призводить до виникнення додаткових запитань щодо невизначеності за температури, відмінної від температури калібрування. Головною проблемою, що вирішується в дослідженні, є підтвердження метрологічної простежуваності результатів вимірювання змінної напруги при калібруванні прецизійних засобів вимірювальної техніки відносно державного еталону одиниці цієї фізичної величини в діапазоні температури застосування.

Робота з дослідження залежності результатів вимірювання похибки компарування напруги від температури виконувалася у два раунди. Ця важлива метрологічна характеристика термокомпаратору Fluke 792A варіювалася в діапазоні температур від 15 до 25 °C у тепловій камері. Перший раунд складався з 5 циклів спостереження, які виконувалися для кожної точки за кожної визначеної температури. Кожен цикл спостереження складався з трьох етапів почергового подання напруги різного роду чи полярності на вхід термокомпаратору Fluke 792A.

Похибка компарування напруги визначалась опосередковано через змінення відхилення вихідного сигналу змінної напруги високоточного калібратору Fluke 5720A від його ж еквівалентного сигналу постійної напруги. Було обрано дев'ять точок спостереження залежно від частоти та рівня напруги та шість точок залежно від температури при вимірюванні. Другий раунд уточнює сумнівні результати, отримані в першому.

На етапі планування дослідження було розроблено метод та описана процедура вимірювання. За результатами аналізу чинників, котрі впливають на точність вимірювання, був складений бюджет невизначеності. Після виконання експериментальних робіт визначена температурна залежність досліджуваної метрологічної характеристики.

Ключові слова: похибка компарування; температурна залежність; термокомпаратор Fluke 792A; методика вимірювання; невизначеність.

О. Н. Величко, д.т.н., В. В. Исаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭТАЛОНА АС/DC ПЕРЕХОДА

Работа по исследованию зависимости результатов измерений погрешности компарирования от температуры выполнялась в два раунда. Одна из важных метрологических характеристик высокоточного эталона АС/DC преобразования Fluke 792A варьировалась в диапазоне температур от 15 до 25 °C в тепловой камере. Первый раунд состоял из 5 циклов наблюдения, которые выполнялись для каждой точки при каждой определенной температуре. Были выбраны девять точек наблюдения в зависимости от частоты и уровня напряжения и шесть точек в зависимости от температуры при измерении. Второй раунд уточняет сомнительные результаты, полученные в первом. Результатами работы является описанная процедура измерения, составленный бюджет неопределенности и определенная температурная зависимость исследуемой метрологической характеристики.

Ключевые слова: погрешность компарирования; температурная зависимость; термокомпаратор Fluke 792A; методика измерения; неопределенность.

ПОВІРКА АБО КАЛІБРУВАННЯ ТАХЕОМЕТРІВ?

Представлено аналіз процедур метрологічного контролю тахеометрів. Наведені константи та поправки, що контролюються під час калібрування тахеометрів. Перелічені похибки кутомірної та віддалемірної частин тахеометрів. Розглянуті параметри тахеометрів, що необхідно контролювати під час повірки. Докладно розглянуті варіації застосування різних технічних засобів та методів вимірювання при калібруванні. Представлено альтернативні методи розрахунку середньої квадратичної похибки вимірювання відстаней тахеометрами. Проаналізовано міжнародний підхід до проведення ремонту, повірки та калібрування тахеометрів. Запропоновано розробити нормативно-правовий акт, що визначає критерії компетенції проведення робіт з ремонту, умови та правила проведення ремонту засобів вимірювальної техніки.

Ключові слова: тахеометри, повірка, калібрування, ремонт.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-29-36

Вступ

Точність визначення великих лінійних розмірів є важливою задачею сучасної науки і техніки. Точність лінійних вимірювань у значній мірі залежить від кваліфікації спеціалістів, що проводять вимірювання та засобів вимірювання. Засоби вимірювання, у свою чергу, потребують вчасного та якісного метрологічного забезпечення. В даний час для здійснення вимірювань великих лінійних розмірів широко застосовуються світловіддалеміри та електронні тахеометри, іноді GNSS приймачі. Вказані засоби вимірювань підлягають контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У відповідності з частиною 1, статті 17 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, підлягають періодичній повірці та повірці після ремонту. Перелік категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці, встановлюється постановою Кабінету міністрів України № 374 від 4 червня 2015 р. «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці». У відповідності з цією постановою, та статтею 3 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» тахеометри, що використовуються в топографо-геодезичних, картографічних, гідрометеорологічних роботах, роботах із землеустрою, роботах, пов'язаних з визначенням параметрів будівель, споруд і території забудови обов'язково підлягають періодичній повірці [1, 2].

Разом з тим, тахеометри, що використовуються в якості еталонів повинні бути калібровані, а їх простежуваність повинна бути документально підтверджена сертифікатами калібрування [3–5].

Аналізуючи міжнародний підхід в сфері технічного регулювання відносно тахеометрів можна виділити дві основні процедури контролю їх точнісних характеристик: калібрування та верифікація (повірка) [6, 7]. Калібрування тахеометрів здебільшого стосується вимірювання значень різноманітних констант та поправок з встановленою невизначеністю, в той час як верифікація (повірка) стосується порівняння показів тахеометру з еталонами, що мають відповідну метрологічну простежуваність [8].

Калібрування передбачає запис моделі роботи тахеометра та визначення характеристик кожного її елемента. Верифікація (повірка), навпаки, не ставить за мету дослідження елементів моделі, а передбачає оцінку середньої квадратичної похибки вимірювання тахеометру. Такий підхід не вимагає дослідження принципів роботи тахеометра та його елементів. Також, тахеометри, як і інші засоби вимірювальної техніки можуть піддаватися процедурі ремонту або регулювання – зміні параметрів приладу з метою усунення систематичних похибок.

Більшість сучасних тахеометрів працюють за принципом вимірювання кількості цілих довжин хвиль генерованого сигналу та будь-якої частини довжини хвилі, що залишилася, на відстані між тахеометром та відбивачем. Вимірювання досягається шляхом відбиття сигналу назад на приймач тахеометра, де в більшості випа-

дків здійснюється вимірювання різниці фаз [9, 10]. У деяких тахеометрах використовуються альтернативні методи: зміна частоти для отримання нульової фази, а також використання імпульсного методу.

Беручи до уваги складність конструкції геодезичних приладів треба зазначити, що на жаль в Україні відсутні вимоги щодо правил виконання ремонту, наявності персоналу та робочих місць [11].

Аналізуючи конструкції сучасних тахеометрів та світовий досвід підвищення точності геодезичних вимірювань, можна виділити наступні параметри тахеометрів, що вимірюються під час калібрування.

Постановка завдання

Зараз серед користувачів тахеометрів існує деяка плутанина щодо вибору процедури контролю геодезичних засобів вимірювання. Необхідно визначити які геодезичні засоби вимірювання підлягають періодичній повірці, а які калібруванню. Які саме похибки, константи та поправки необхідно знати для проведення вимірювань з необхідною точністю.

Похибки кутимірної частини тахеометрів.

До параметрів, що підлягають контролю відносять: значення колімаційної похибки, горизонтальні напрямки, приведені до початкового, а також місце зеніту і зенітні відстані, неперпендикулярність осі обертання зорової труби до осі обертання аліади, середня квадратична похибка вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, а також остаточний вплив ексцентриситету вертикального кола на вимірюваний вертикальний кут і ексцентриситету аліади на вимірюваний горизонтальний кут.

Середня квадратична похибка вимірювань горизонтального напрямку одним повним прийомом визначається за формулою [4]

$$S_N = \gamma \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{n-1} (N_{ij} - N_{ie})^2}{v}}, \quad (1)$$

де N_{ij} – горизонтальні напрямки виміряні одним повним прийомом;

N_{ie} – еталонні значення горизонтальних напрямків;

$v = (n-1) \cdot p$ – кількість ступенів свободи;

n – кількість виміряних горизонтальних напрямків;

p – кількість повних прийомів вимірювань горизонтальних напрямків,

γ – коефіцієнт, множенням на який встановлюється верхня границя довірчого інтервалу для $\tilde{\sigma}$ та обчислюється за формулою

$$\gamma = \sqrt{\frac{v}{\chi_{1-\alpha}^2(v)}}, \quad (2)$$

де $\chi_{1-\alpha}^2(v)$ – коефіцієнт χ^2 -розподілу, що вибирається з ISO 17123-1.

Сучасні тахеометри не мають пристроїв, що дозволяють обертати лімб при нерухомому трегері і аліаді, тому вони не можуть мати ексцентриситет лімба горизонтального кола, проте мають двосторонню систему зчитування, що дозволяє практично виключити вплив ексцентриситету аліади на вимірюваний горизонтальний кут і вплив ексцентриситету вертикального кола на вимірюваний вертикальний кут.

Постійні віддалеміра тахеометра та відбивача.

Відбивачем лазерного променя зазвичай служить призматичний відбивач з пристроєм, що дозволяє встановлювати його в певній точці і орієнтувати в потрібному напрямку. Вказаний відбивач може використовуватись в комплекті з тахеометрами для вимірювання відстані до певної точки. Спеціалісту, що працює з тахеометром, перед початком вимірювань необхідно ввести з клавіатури тахеометра значення постійної відбивача, під якою слід розуміти поправку, що коректує визначення відстані (вісь тахеометра – вісь відбивача) та представляє собою довжину відрізка від осі обертання відбивача до точки відбиття променю.

Оскільки віртуальний електрооптичний початок або центр віддалеміра, що входить до складу тахеометра, як правило, не розташований на одній вертикальній осі з тахеометром, для правильного визначення відстані від вертикальної осі тахеометра повинна бути введена поправка в усі результати вимірювання відстаней. Ця поправка зазвичай називається постійною віддалеміра, що компенсує різницю між механічними і електрооптичними центрами інструменту. Частина шляху вимірювальний сигнал проходить в електронних компонентах, а також в середовищі відбивача, показники заломлення яких відрізняються від показників заломлення атмосфери, а отже і відрізняються швидкості поширення сигналу. Постійна тахеометра встановлюється виробником при його виробництві та вводиться в програму для автоматичного врахування.

Шкала віддалеміра тахеометра.

Похибки, що пропорційні довжині вимірюваної лінії можуть виникати з причин варіації

частоти модуляції. Їх ще називають похибками масштабу. Для контролю цих параметрів використовують частотоміри та інше обладнання для порівняння вихідної частоти з опорною. Масштабна похибка у віддалемірних тахеометрів викликана перш за все дією генераторів, а також передавальних та приймальних діодів. Основним джерелом складової похибки поза межами тахеометру є неправильна поправка на швидкість проходження променю в атмосфері. Найбільш значною складовою похибки генератора є його залежність від температури. Частота генератора залежить від того, скільки часу віддалемір знаходиться в експлуатації. Під час роботи, робоча температура віддалеміра зростає, що викликає розігрівання генератора, а це в свою чергу викликає зміну частоти. Виробники тахеометрів, при їх виробництві, визначають частоту при різних температурах за допомогою кліматичних камер.

Циклічні похибки віддалеміра тахеометра.

Циклічна похибка проявляється на основній частоті при старінні компонентів віддалеміра та проникненні електромагнітних або оптичних перешкод у приймаючому каналі. Їх ще називають короткими періодичними похибками. Циклічна похибка обумовлена не лінійністю амплітудної модуляції фазової і несучої вимірюваної хвилі. Ця циклічна похибка змінюється через модульовану довжину хвилі. Циклічна похибка зазвичай має синусоїдальний характер з довжиною хвилі, рівною «одиниці довжини» блоку віддалеміра тахеометра. Знак і розмір похибки залежать від того, чи знаходиться вимірювана величина в діапазоні «одиниці довжини» блоку віддалеміра тахеометра. «Одиниця довжини» блоку віддалеміра дорівнює половині довжини хвилі модуляції. Сучасні тахеометри мають зазвичай мінімізовані циклічні похибки, але вони можуть змінюватись з часом.

Калібрування тахеометрів можливе в декількох варіаціях застосування різних технічних засобів та методів вимірювання:

1) лабораторні автоколімаційні установки + базисні лінійні геодезичні полігони;

2) лабораторні автоколімаційні установки + лабораторні базисні лінійні стенди для контролю постійних віддалемірів + стенди для контролю частоти віддалемірів + базисні лінійні геодезичні полігони;

3) модернізовані лабораторні автоколімаційні установки (з непрямыми відстанями) + тахеометри вищої точності [6].

Перший варіант – найбільш поширений серед метрологічних лабораторій, що займаються повіркою та калібруванням засобів вимірюваль-

ної техніки геодезичного призначення.

Конструкція та правила створення базисних лінійних геодезичних полігонів дають можливість визначення всіх необхідних типів похибок і констант для калібрування віддалемірної частини тахеометрів з необхідною точністю. Рекомендовані довжини базисів є 24, 48, 72, 96, 192, 288, 384, 480, 984, 1488, 2016, 3000 метрів. Загальний ухил траси не повинен перевищувати 1/20.

Зазвичай, при наявності базисних лінійних геодезичних полігонів, за допомогою різних методик вимірювання базисів можливо визначити величину циклічної похибки, похибки шкали та постійної віддалеміра. Вимірювання коротких відстаней допомагають визначати постійну віддалеміра, а вимірювання великих – похибку шкали. Однією з цілей конструкції та правил створення базисних лінійних геодезичних полігонів є забезпечення того, щоб постійна віддалеміра та похибка шкали визначалися незалежно від будь-яких внесків циклічної похибки.

При калібруванні на базисних лінійних геодезичних полігонах тахеометр завжди повинен бути захищений парасолькою та витриманий при зовнішніх умовах на протязі однієї години. За допомогою введення в меню тахеометра значення температури та тиску на рівні таких, які виробник заклав як «стандартні», треба досягти нульової атмосферної поправки 0 ppm (виключенням є тахеометри, віддалемір яких є імпульсним або «одиниця довжини» блоку віддалеміра дорівнює нулю). Значення висоти тахеометра та відбивача повинні бути занесені до меню тахеометра. Вимірювання температури та тиску необхідно здійснювати за допомогою термометрів та барометрів, що встановлені біля тахеометру та відбивача до, під час та після проведення вимірювань.

Кожна контрольована еталонна відстань підлягає десятикратному вимірюванню. За необхідності, після кожного виміру здійснюється повторне наведення на ціль. В результаті вимірювання потрібно вводити поправки відповідно атмосферних умов, що були зафіксовані під час спостережень.

Чим точніше необхідно провести дослідження тахеометра, тим більшу кількість комбінацій вимірювань на базисних лінійних геодезичних полігонах необхідно провести. Наприклад, від точки T0 послідовно провести вимірювання до точки T1, T2, T3 і т.д. Потім, від точки T1 до точок T0, T2, T3 і т.д. до останньої. Комбінації вимірювань, що застосовуються для проведення калібрування зазвичай регулюються значенням «одиниці довжини» блоку віддалеміра тахеометра (пов'язано з визначенням циклічної похибки) та доступними еталонними базисами.

Другий варіант – поширений серед метрологічних лабораторій виробників, а також деяких офіційних авторизованих дилерів, що займаються продажем, гарантійним та післягарантійним обслуговуванням засобів вимірювальної техніки геодезичного призначення.

Наприклад, акредитована лабораторія фірми Leica Geosystems, Швейцарія видає сертифікати калібрування відповідно міжнародного стандарту ISO/IEC 17025 за чотирма рівнями калібрування [7].

Сертифікат «gold» передбачає, що вимірювання під час калібрування тахеометру були проведені за допомогою еталонів, що мають простежуваність до національних еталонів з зазначенням притаманних невизначеностей вимірювань. Такі сертифікати необхідні для підтвердження певного технічного забезпечення у сферах законодавчо регульованої метрології. До переліку процедур, що виконуються під час такого рівня калібрування входить контроль констант та поправок у межах лабораторії (кутомірні вимірювання і вимірювання відстаней до 122 м), на базисному лінійному геодезичному полігоні, вимірювання частоти модуляції у кліматичній камері.

Сертифікати «silver» та «bronze» передбачають, що під час калібрування визначена середня квадратична похибка вимірювання, з зазначенням деякої інформації про результати вимірювання. Вимірювання проводяться в обмеженій кількості в умовах лабораторії.

Сертифікат «blue» не передбачає зазначення будь якої інформації про якісні показники вимірювань, а лише підтверджує відповідність тахеометра технічним вимогам за методикою, що затверджена виробником. Такі сертифікати необхідні для підтвердження формальних можливостей власника, наприклад при тендерних процедурах.

Зазначені два варіанти, як правило, передбачають залучення мінімум двох спеціалістів для проведення робіт з калібрування блоку віддалеміра тахеометра. Більш того, при проектуванні базисних лінійних геодезичних полігонів необхідно враховувати наступні фактори:

- топографічні та геоморфологічні особливості місцевості;
- ґрунтово-рослинний покрив (перевагу слід віддавати ділянкам з трав'яним покриттям);
- відсутність, по можливості, контакту з гідрографією і сільськогосподарськими угіддями;
- стійкість регіону в сейсмічному відношенні, відсутність явищ техногенного характеру;
- висоту проходження променя візування уздовж траси;
- відсутність перешкод для вимірювань;

- транспортну доступність;
- відсутність чергувань тіньових і яскраво освітлених ділянок.

Всі вказані фактори, у сукупності з необхідністю оренди земельної ділянки, особливостями застосування базисних лінійних геодезичних полігонів ставлять задачу об'єднання еталонних засобів для контролю кутомірної і віддалемірної частини в єдиний вимірювальний комплекс, зведенні до мінімуму впливу зовнішніх факторів на весь процес контролю та повного виключення всіх проблем пов'язаних з проектуванням, побудовою і застосуванням геодезичних полігонів [9].

Третій варіант дозволяє залучати до робіт з калібрування лише одного спеціаліста, при цьому підвищити швидкість проведення робіт.

Оцінювання невизначеності вимірювання постійної віддалеміра тахеометра проводять за допомогою контролю зигзагоподібних відстаней, відтворюваних оптичною системою, або за допомогою оптичного волокна в умовах лабораторії в наступній послідовності:

- приводять тахеометр вищої точності до нульової атмосферної поправки, фіксують умови навколишнього середовища в лабораторії та заносять їх в протокол,
- згідно вимог експлуатаційної документації встановлюють тахеометр вищої точності на нульовій точці (якщо використовуються зигзагоподібні відстані - висота відбивача та тахеометра повинні співпадати),
- спрямовують візир на відображення центра відбивача, розташованого наприкінці відтворюваних відстаней,
- за еталонне значення відтворюваної відстані приймають середнє значення серед десяти вимірювань тахеометром вищої точності (з урахуванням атмосферної поправки), знімають тахеометр з нульової точки,
- приводять тахеометр, що досліджується до нульової атмосферної поправки, фіксують умови навколишнього середовища в лабораторії та заносять їх в протокол,
- згідно вимог експлуатаційної документації встановлюють тахеометр, що досліджується на нульовій точці (якщо використовуються зигзагоподібні відстані – висота встановлення, повинна співпадати з висотою тахеометра вищої точності, що був встановлений раніше),
- спрямовують візир на відображення центра відбивача, розташованого наприкінці відтворюваних відстаней,
- проводять десять вимірювань відтворюваної відстані та вносять атмосферну поправку у результати вимірювань,
- повторюють вимірювання на різних дов-

жинах відтворених відстаней.

Обчислюють значення постійної віддалеміра тахеометра за встановленою методикою [8].

Результати калібрування на базисних лінійних геодезичних полігонах, лабораторних автоколімаційних установках, стендах для контролю частоти віддалемірів, лабораторних установках з притаманними невизначеностями та значення вимірюваних констант мають бути записані в свідоцтвах про калібрування.

Верифікація (повідка) тахеометра ставить за мету оцінку середньої квадратичної похибки вимірювання. Деякі методики перевірки передбачають визначення масштабної частоти та постійної віддалеміра.

Основні характеристики, що контролюються під час перевірки тахеометрів:

- середня квадратична похибка вимірювання горизонтальних кутів,
- середня квадратична похибка вимірювання вертикальних кутів,
- середня квадратична похибка вимірювання відстаней [10].

Середня квадратична похибка вимірювання кутів здійснюється на лабораторних автоколімаційних установках шляхом багатократного вимірювання кутів.

Середня квадратична похибка вимірювання відстаней здійснюється на базисних лінійних геодезичних полігонах або модернізованих лабораторних автоколімаційних установках (з непрямыми відстанями) з тахеометрами вищої точності.

Найчастіше значення середньої квадратичної похибки вимірювання для кожної контрольованої відстані розраховується за формулою [10]

$$m_{sj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (S_{oj} - S_{ij})^2}{n_j}}, \quad (3)$$

де m_{sj} – середня квадратична похибка вимірювання j -ої лінії,

S_{oj} – еталонне значення j -ої лінії,

S_{ij} – вимірне значення j -ої лінії i -м прийомом,

n_j – кількість вимірювань j -ої лінії (зазвичай 10),

Значення середньої квадратичної похибки кожної контрольованої відстані порівнюється з допустимою величиною середньої квадратичної похибки для цієї відстані, що розраховується за формулою, наведеною виробником.

$$S_L = \tilde{a} + \tilde{b} \cdot L \cdot 10^{-6},$$

де $\tilde{a}$ – постійна складова похибки, яка розраховується за формулою

$$\tilde{a} = \gamma \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{ie})^2}{v}}, \quad (4)$$

де L_i – виміряні значення віддалей;

L_{ie} – еталонні значення віддалей довжиною до 100 м;

$v = n$ – кількість ступенів свободи.

$\tilde{b}$ – змінна складова похибки, яка змінюється в залежності від вимірюваної відстані, та розраховується за формулою

$$\tilde{b} = \max \left\{ \frac{|L_i - L_{ie}| - t_a \cdot \tilde{a}}{t_b \cdot L_{ie}} \right\} \cdot 10^6, \quad (5)$$

де L_i – виміряні значення віддалей;

L_{ie} – еталонні значення віддалей довжиною понад 100 м;

t_a, t_b – коефіцієнти розподілу Ст'юдента, що вибирається з ISO 17123-1.

Також, в світовій практиці зустрічаються досить екзотичні методи розрахунку середньої квадратичної похибки вимірювання відстаней тахеометрами. Так, наприклад Royal Institution of Chartered Surveyors, Велика Британія пропонує наступну методику [5].



Рисунок 1 – Схема базисного лінійного геодезичного полігону, що складається з 5 пунктів

- Встановлюють тахеометр на нульову точку А та приводять до нульової атмосферної поправки;

- проводять трьохкратні вимірювання кожної відстані по наступній схемі: А-В, А-С, А-Д, А-Е, вводять атмосферну поправку та обчислюють середні значення довжини кожної відстані;

- розраховують абсолютні похибки для кожної відстані ϵ ;

- обчислюють квадрати розрахованих похибок ϵ^2 ;

- розраховують середню квадратичну похибку вимірювання відстаней за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}}, \quad (6)$$

де n – кількість контрольованих відстаней.

Отримане значення похибки порівнюється з допустимою величиною середньої квадратичної похибки для максимальної відстані, що контролюється під час вимірювань. Відкритим питанням залишається коректність сумування абсолютних похибок, що притаманні різним контрольованим відстаням та використанням в формулі значення кількості контрольованих відстаней.

Зазвичай в свідоцтві про повірку тахеометрів вказують значення середніх квадратичних похибок, що були отримані під час повірки. Також, наводять допустиме значення похибок, в границях якої перебувають характеристики тахеометра, що контролюють. Іноді, в свідоцтві наводять тільки підтвердження відповідності приладу вимогам технічної документації, баз зазначення кількісних характеристик визначених похибок.

Ремонт.

У міжнародній практиці прийнято, що у випадку зміни параметрів тахеометру, з метою усунення систематичних похибок акредитованим персоналом, проводять його регулювання з обов'язковим зазначенням констант у документації до і після коригування. Історія змін повинна бути збережена на весь час експлуатації тахеометра.

Нажаль в Україні відсутня необхідна нормативна база для регулювання діяльності у сфері ремонту засобів вимірювальної техніки. Споживач захищений від потрапляння на ринок не повірених законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, завдяки тому, що суб'єкти господарювання, які випускають з ремонту законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки повинні проводити їх повірку в уповноважених організаціях. При цьому відсутні вимоги щодо персоналу, робочих місць, правил виконання ремонту і т. д. [11].

Висновки

Проаналізувавши вище зазначене, можна зробити висновки, що обов'язково підлягають періодичній повірці тахеометри, які використовуються в топографо-геодезичних, картографічних, гідрометеорологічних роботах, роботах із землеустрою, роботах, пов'язаних з визначенням параметрів будівель, споруд і території забудови.

Процедурі калібрування підлягають тахеометри, що використовуються в якості еталонів науковими метрологічними центрами, держав-

ними підприємствами, які належать до сфери управління Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та провадять метрологічну діяльність, а також повірочними лабораторіями, які уповноважені на проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки. У свідоцтвах про калібрування таких тахеометрів повинна бути наведена інформація, щодо визначених констант та поправок і невідзначеності вимірювань.

Необхідно розробити нормативно-правовий акт, що визначає критерії компетенції проведення робіт з ремонту, умови та правила проведення ремонту засобів вимірювальної техніки. Це сприятиме реалізації положень Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» щодо забезпечення єдності вимірювань, дозволяє фіксувати всі регулювання та ремонти тахеометрів, а також синхронізує роботу українських і європейських сервісних центрів з ремонту та обслуговування тахеометрів.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 5 червня 2014 року № 1314-VII // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008.
2. Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» від 4 червня 2015 р. № 374.
3. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України «Про затвердження Критеріїв, яким повинні відповідати наукові метрологічні центри, державні підприємства, які належать до сфери управління Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та провадять метрологічну діяльність, та повірочні лабораторії, які уповноважуються або уповноважені на проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації» від 23.09.2015 № 1192. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 7 жовтня 2015 р. за № 1213/27658.
4. Проект ДСТУ Метрологія. Теодоліти і тахеометри. Метрологічні та технічні вимоги. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.metrology.org.ua/files/8_DSTY_teodoli_t.doc.
5. EDM Calibration, Edition 2; (2007); Royal Institution for Chartered Surveyors (RICS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://communities.rics.org/gf2.ti/f/200194/426586.1.1/PDF/-/EDM_calibration_2nd_ed_GN_2008.pdf.

6. Коломиец Л. В. Метрологический контроль тахеометров / Л. В. Коломиец, К. А. Подостроец // Компетентность: научно-технический журнал. – 2014. – № 3/114. – С. 36–40.

7. Сертифікати калібрування Leica Geosystems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://leica-geosystems.com/nl-be/services-and-support/product-services/calibration-services/calibration-certificates>.

8. Kolomiets L. V. The evaluation of measurement uncertainty of total station spermanence / L. V. Kolomiets, K. A. Podostroets // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015. – № 6. – P. 606–610.

9. Коломієць Л. В. Метрологічне забезпечення засобів вимірювання великих лінійних розмірів / Л. В. Коломієць, К. О. Подостроець // Научно-технический и производственный журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность». – 2014. – № 4(289). – С. 102–105.

10. Подостроець К. О. Метрологічне забезпечення геодезичних вимірювань / К. О. Подостроець, Л. В. Коломієць, О. Ф. Дяченко та ін. – Одеса: Бондаренко М. О., 2017. – 208 с.

11. Коломієць Л. В. Щодо деяких питань метрологічного законодавства / Л. В. Коломієць, В. В. Горін, К. О. Подостроець, Є. С. Чистяков // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2017. – Вип. 1(10). – С. 6–9.

References

1. Zakon Ukrainy «Pro metrolohiiu ta metrolohichnu diialnist» vid 5 chervnia 2014 roku # 1314-VII // Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR), 2014, # 30, st.1008.

2. Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy «Pro zatverdzhennia pereliku katehorii zakonodavcho rehulovanykh zasobiv vymiriuvanoi tekhniki, shcho pidliahaiut periodychnii povirtsii» vid 4 chervnia 2015 r. # 374.

3. Nakaz Ministerstva ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrainy «Pro zatverdzhennia Kryte-riiv, yakym povynni vidpovidaty naukovy metrolohichni tsentry, derzhavni pidpriemstva, yaki nalezhat do sfery upravlinnia Ministerstva ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrainy ta provadiat metrolohichnu diialnist, ta povirochni laboratorii, yaki upovnovazhuiutsia abo upovnovazheni na provedennia povirky zakonodavcho rehulovanykh

zasobiv vymiriuvanoi tekhniki, shcho perebuvaiut v ekspluatatsii» vid 23.09.2015 # 1192. Zareiestrovano v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 7 zhovtnia 2015 r. za # 1213/27658.

4. Proekt DSTU Metrolohiia. Teodolity i takheometry. Metrolohichni ta tekhnichni vymohy. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://www.metrology.org.ua/files/8_DSTY_teodolit.doc.

5. EDM Calibration, Edition 2; (2007); Royal Institution for Chartered Surveyors (RICS) [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://communities.rics.org/gf2.ti/f/200194/426586.1.1/PDF/-/EDM_calibration_2nd_ed_GN_2008.pdf.

6. Kolomiec L. V. Metrologicheskij kontrol' taxеometrov / L. V. Kolomiec, K. A. Podostroec // Kompetentnost': nauchno-tekhnicheskij zhurnal. – 2014. – № 3/114. – S. 36–40.

7. Sertyfikaty kalibruvannia Leica Geosystems. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://leica-geosystems.com/nl-be/services-and-support/product-services/calibration-services/calibration-certificates>.

8. Kolomyets L. V. The evaluation of measurement uncertainty of total station spermanence / L. V. Kolomiets, K. A. Podostroets // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015. – № 6. – P. 606–610.

9. Kolomiets L. V. Metrolohichne zabezpechennia zasobiv vymiriuvannia velykykh liniinykh rozmiriv / L. V. Kolomiets, K. O. Podostroets // Nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'». – 2014. – № 4(289). – S. 102–105.

10. Podostroets K. O. Metrolohichne zabezpechennia heodezychnykh vymiriuvan / Podostroets K. O., Kolomiets L. V., Diachenko O. F. ta in. – Odesa: Bondarenko M. O., 2017. – 208 s.

11. Kolomiets L. V. Shchodo deiakykh pytan metrolohichnoho zakonodavstva / L. V. Kolomiets, V. V. Horin, K. O. Podostroets, Ye. S. Chystiakov // Zbirnik naukovih prac' Odes'koї derzhavnoї akademii tehnichnoho reguluvannâ ta âkosti. – 2017. – Vyp. 1(10). – S. 6–9.

Надійшла до редакції: 23.05.2017

Л. В. Коломиец, д.т.н., К. А. Подостроец, к.т.н.

ПОВЕРКА ИЛИ КАЛИБРОВКА ТАХЕОМЕТРОВ?

Представлен анализ процедур метрологического контроля тахеометров. Приведены константы и поправки, которые контролируют во время калибровки тахеометров. Перечислены ошибки угломерной и дальномерной частей тахеометров. Рассмотрены параметры тахеометров, которые необходимо контролировать во время поверки. Подробно рассмотрены варианты применения различных технических средств и методов измерения при калибровке. Представлены альтернативные методы расчета средней квадратичной погрешности измерения расстояний тахеометрами. Проанализирован международный подход к проведению ремонта, поверки и калибровки тахеометров. Предложено разработать нормативно-правовой акт, определяющий критерии компетенции проведения работ по ремонту, условия и правила проведения ремонта средств измерительной техники.

Ключевые слова: тахеометры, поверка, калибровка, ремонт.

L. V. Kolomiets, K. O. Podostroiets

VERIFICATION OR CALIBRATION OF TOTAL STATION?

The analysis of procedures of metrological control of total stations is presented. Specifics of total stations metrological control are considered. As an example, the Odesa reference linear basis of geodesic polygon consisting of 7 fundamental geodesic stations situated on the plain seismically safe site is presented. A number of problems concerning the use of the existing standards are stated. The concept of a new method of total stations metrological control is proposed. The purpose of the new method is to create an additional stage of metrological control to allow qualitative and efficient metrological control of total stations that had not been subject to verification procedure previously due to various reasons. Investigations in connection with the use of the new method of total stations metrological control were carried out on the existing experimental reference base. The article presents the calculation of the mean-square error in measuring distances by way of multiple measuring the reference base lines. Current instruments for measuring large linear distances as well as the existing methods of their metrological control are examined. The peculiarities of metrological control of total stations are considered and the task of its simplification by combining standard measuring instruments for metrological control of distance and angle measurements in a single measuring instrument are formulated. The peculiarities of metrological control of total stations are considered and the task of its simplification by combining standard measuring instruments for metrological control of distance and angle measurements in a single measuring instrument are formulated. Classification of geodetic measuring instruments depending on the location and conditions of their metrological control is proposed. The constants and corrections that are monitored during the calibration of total stations are given. The angle and distance parts of total station errors are listed. The parameters of total stations that need to be monitored during verification are considered. The variants of application of various technical means and methods of measurement during calibration are considered in detail. Alternative methods for calculating the mean square error of distance measurements using total stations are presented. An international approach to the repair, verification and calibration of total stations has been analyzed. It is proposed to develop a normative legal act to define the criteria for the competence of carrying out repairs, conditions and rules for repairing measuring instruments and devices.

Keywords: total station, verification, calibration, repairs.

К. Ф. Боряк, д.т.н., М. К. Боряк, М. О. Манзарук

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИПРОБУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОДЕМПФЕРІВ НА ВИПРОБУВАЛЬНОМУ СТЕНДІ ИГК-90.1

У статті розглядаються шляхи вдосконалення методу випробування і технічної діагностики гідродемпферів тягового рухомого складу, які експлуатуються в виробничих підрозділах ПАТ «Українська залізниця», на випробувальному стенді ИГК-90.1. Наведено короткий огляд сучасних випробувальних стендів і обраний тип випробувального стенду ИГК-90.1 для його подальшої модернізації. Наведено розрахунки енергоємності гідродемпферів, які лягли в основу програмного забезпечення та модернізації конструкції випробувального стенду ИГК-90.1. На зазначеному типі випробувального стенду авторами проведені експериментальні дослідження гідродемпфера типу НЦІ100, отримані графічні залежності для сили і параметра опору, а також енергоємності від швидкості переміщення поршня. Додатково отримано графік зміни температури у повздовж зовнішньої вертикальної поверхні корпусу циліндра за час випробувань. На конкретному прикладі випробувань гідродемпфера типу НЦІ100 доведена доцільність введення нового визначального технічного параметра (енергоємність) для оцінки працездатності і функціональності гідродемпферів за своїм основним призначенням.

Ключові слова: сила опору, параметр опору, енергоємність гідродемпфера, тепловий контроль вузів залізничного транспорту, оцінка працездатності гідродемпфера

[DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-37-42](https://doi.org/10.32684/2412-5288-2018-1-12-37-42)

Актуальність досліджень існуючої проблеми. Гідравлічний гасник коливань є дуже важливим елементом ходової частини кузова локомотиву чи пасажирського вагону, який призначений для гасіння коливань кузова під час руху. Враховуючи сьогодинішній технічний стан українського залізничного рухомого складу, 65 % якого вже перейшли допустимому виробником залізничного транспорту межу експлуатації (28 років для пасажирських вагонів), справні гідравлічні гасники коливань становляться головним конструктивним елементом ходової частини залізничного транспорту, який запобігає виникненню резонансного явища – розхитування у вертикальному та горизонтальному напрямку кузова на швидкості до 160 км/год [1].

Прикладна проблема, на вирішення якої спрямовані дослідження. Фізичний процес трансформації (перетворення) кінетичної енергії коливання кузова у теплову за допомогою гідродемпферів є основним призначенням цього конструктивного елементу підвіски кузова залізничного транспорту. Яка енергоємність гідродемпфера для цього потрібна, щоб виконати завдання конструкторів залізничного транспорту, скільки кінетичної енергії під час трансформації переходить в теплову? Нормоване значення енергоємності гідродемпфера можна знайти у паспорті виробника [2]. Але на практиці в умовах проведення випробувань на механічних стендах без

засобів автоматизації процесу обчислювання це зробити важко. Для цього потрібна модернізація застарілого випробувального обладнання.

У планах департаменту технічної політики ПАТ «Українські залізниці» виношується проект [3] розробки та впровадження автоматичної системи дистанційного контролю гідродемпферів (АСДК-ГД) за аналогією з автоматизованою системою дистанційного контролю букс (АСДК-Б), яка прийшла на зміну застарілого обладнання ПОНАБ-3 і ДИСК. Вперше ця ідея прозвучала в 2016 році на Шістнадцятій науково-практичній конференції «Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху на залізницях України», яка проходила в період з 31.08 по 02.09.2016 (м. Хмельник), і увійшла в рішення конференції окремим пунктом 6.4. На сьогодні досягнуто попередню домовленість з керівництвом українського підприємства ПАТ «Промжектор», виробником АСДК-Б, про доопрацювання існуючої конструкції АСДК-Б під здійснення теплового контролю гідродемпферів спільно з тепловим контролем буксових вузлів у русі транспортних засобів. Завдання виявилось складнішим, ніж з буксами, оскільки на рухомому складі експлуатується безліч типів гідродемпферів, які відрізняються як за конструкцією, так і по місцях кріплення на транспортному засобі. Крім технічних складнощів, відсутня нормативна база критичних значень нагріву корпусу

гідродемпферів в залежності від їх технічного стану. ПАТ «Українська залізниця» вимагає збільшення ресурсу гідродемпферів від виробника. Наукових досліджень в напрямку ресурсних випробувань гідродемпферів проводилося дуже мало [4]. Діагностика технічного стану гідродемпферів з використанням теплового методу контролю маловивчена область знань [5]. Для того, щоб заповнити прогалини в цій області знань необхідно провести експериментальні дослідження. Готових випробувальних стендів в Україні для проведення таких експериментів на сьогодні немає, як і методики проведення теплових вимірювань гідродемпферів на працездатність.

Про технічний стан гідравлічних гасників можна дізнатися лише через випробування на спеціальному стенді [6], іншого шляху не існує, тому дуже важливо, щоб випробувальне обладнання було сучасним і відповідало діючим державним стандартам [7]. Потрібно вдосконалити існуючі випробувальні стенди під задачі майбутньої автоматичної системи дистанційного контролю гідродемпферів (АСДК-ГД).

Аналіз останніх досягнень. В Україні сьогодні є кілька виробників, які випускають стенди для випробування гідравлічних гасителів коливань (гідродемпферів): ЗАТ «Мінетек» (м. Краматорськ), ТОВ «Харківстенд» (м. Харків) та ЧМП «КОМПРО» (м. Одеса) [8]. Найбільш привабливим для модернізації під вирішення задач теплового контролю підходить стенд марки ИГК-90.1 [9], який експлуатується в двох локомотивних депо (Знам'янка та Котовськ) на Одеській залізниці і в двох мотор-вагонних депо (Нікополь) Придніпровської дороги і (Здолбунів) на Львівській залізниці (див. рис. 1).



Рисунок 1 – Стенд ИГК-90.1, модель 2016 р. в.

Тривалість процесу випробування одного гідродемпфера на стенді ИГК-90.1 не перевищує 3 хвилини [10], а за результатом випробувань будуються графічні залежності сили і параметра опору у всьому діапазоні швидкісного режиму переміщення поршня [11] (див. рис. 2).

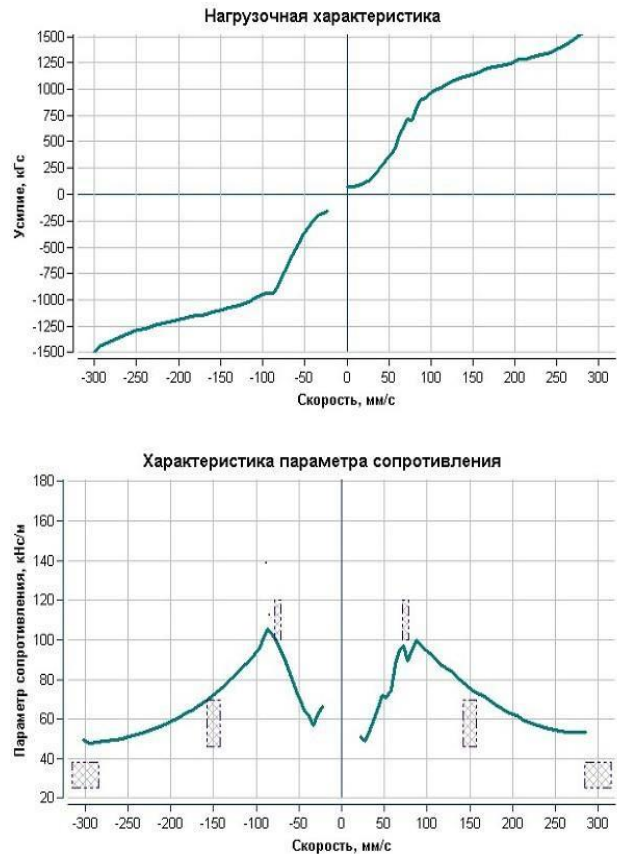


Рисунок 2 – Вигляд протоколу випробування на стенді ИГК-90.1 гідродемпфера KB3 (45.030.45)

Отримані графічні залежності сили і параметра опору від швидкості переміщення поршня дозволяють [12]:

- діагностувати справну роботу гідродемпфера в «дросельному» і «клапанному» режимах;
- порівнювати значення швидкості переходу з одного режиму в інший (точки максимуму на графіках) з зазначеним виробником значенням в паспорті;
- визначати до розбирання гідродемпфера можливі причини його несправності;
- при повторному випробуванні на стенді бачити результати виконаної роботи по регулюванню або заміні конструктивних елементів гідродемпфера.

Мета та основні завдання досліджень. Метою досліджень є вдосконалення методу стендових випробувань та технічного діагностування гідродемпферів за рахунок отримання додаткової інформації про енергоємність та теплову характеристику гідродемпфера під час стендових випробувань.

Основні завдання дослідження:

- теоретично обґрунтувати можливість оцінювання енергоємності та теплової характеристики гідродемпфера;

- визначити напрямки вдосконалення стенду ИГК-90.1 задля вимірювань енергоємності та теплової характеристики гідродемпфера.

Виклад основного матеріалу.

Спочатку зробимо розрахунок енергоємності гідродемпфера. У відповідності до закону збереження енергії маємо:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dA}{dt} + T \cdot \frac{dS}{dt}, \quad (1)$$

де $\frac{dU}{dt}$ – зміна енергії навантаження гідродмпфера на стенді при випробуваннях U в одиницю часу t ;

$\frac{dA}{dt}$ – корисна робота – переміщення, яке здійснює поршень гідродемпфера під впливом сили навантаження від силового приводу;

T – температура нагріву конструктивних елементів силового приводу;

$\frac{dS}{dt}$ – ентропія або міра розсіювання енергії, виробленої силовим приводом.

З іншого боку, енергія навантаження гідродмпфера на стенді при випробуваннях змінюється за законом

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dP}{dt} \cdot V, \quad (2)$$

де P – тиск повітря в пневмоциліндрі силового приводу, значення якого циклічно змінюється в часі (від максимуму до мінімуму), поки не настане момент рівноваги сил між опором гідродемпфера і впливом на нього сил надлишкового тиску.

V – об'єм повітря в пневмоциліндрі, значення якого постійне.

Енергоємність гідродемпфера чисельно дорівнює витрачання на переміщення поршня потужності N , яка визначається за формулою

$$N = \frac{dA}{dt} = F \cdot \frac{dL}{dt}, \quad (3)$$

де F – сила, під впливом якої переміщується поршень гідродемпфера, визначається в ході випробувань і прямо пропорційна силі опору,

$\frac{dL}{dt} = v$ – швидкість переміщення поршня гідродемпфера, яка теж визначається в ході випробувань і прямо пропорційна тиску стисненого повітря в пневмоциліндрі приводу.

Таким чином, рівняння балансу трансформації підведеної до гідродемпфера енергії можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{dP}{dt} \cdot V = F \cdot \frac{dL}{dt} + T \cdot \frac{dS}{dt}. \quad (4)$$

Для практичних цілей більш цікавим є перший доданок $F \cdot \frac{dL}{dt}$ в рівнянні (4), який характе-

ризує енергоємність гідродемпфера. Додаткове його вимірювання складає основу вдосконалення методу стендових випробувань та технічного діагностування гідродемпферів. У відповідності до цього встановлено додаткові засоби вимірювання параметрів гідродемпфера та вдосконалене програмне забезпечення до ПК стенду ИГК-90.1. За результатами вимірювань будуються графічні залежності сили і параметра опору та енергоємності гідродемпфера від швидкості переміщення поршня при проведенні випробувань гідродемпферів різних типів (див. рис. 3).

Чисельні значення енергоємностей кожного з гідродемпферів, а точніше їх взаємне співвідношення, в кінцевому підсумку впливають на частоту коливання кузова в цілому. Чим ближчі одне до одного значення енергоємностей всіх встановлених на транспортному засобі гідродемпферів, тим краще якість демпфування переміщень його кузова в русі й тим менший експлуатаційний знос самих гідродемпферів, відповідно вище їх технічний ресурс і міжремонтний пробіг. У тому випадку, коли силові характеристики гідродемпферів істотно відрізняються за силою і параметром опору, деградаційні процеси будуть розвиватися нерівномірно, прогресивніше, що призведе до передчасного зносу гідродемпферів і, як наслідок, до незапланованих простоїв транспортного засобу. Таким чином, поряд із силою і параметром опору, енергоємність є третьою за важливістю технічною характеристикою гідродемпферів, яка також залежить від швидкості переміщення поршня.

Висновки

На підставі удосконаленого методу випробувань та технічного діагностування гідродемпферів та проведеної модернізації стенду ИГК-90.1 з'явилася можливість при випробуваннях гідродемпфера додатково отримувати ще одну важливу його характеристику – енергоємність, яка чисельно відображає основне призначення гідродемпфера – поглинати кінетичну енергію коливання кузова у русі. Цінність отриманого значення енергоємності для практики полягає в тому, що тепер вдається підібрати для однієї транспортної одиниці комплект гідродемпферів з близькими за значеннями характеристиками енергоємності. Це дозволить забезпечити рівномірність навантаження і однаковість зносу в експлуатації гідродемпферів на одному транспортному засобі, знизити частоту коливань та уникнути резонансних явищ розгойдування кузова. Це безумовно сприятиме збільшенню міжремонтного пробігу транспортного засобу та підвищенню рівня безпеки руху в цілому.

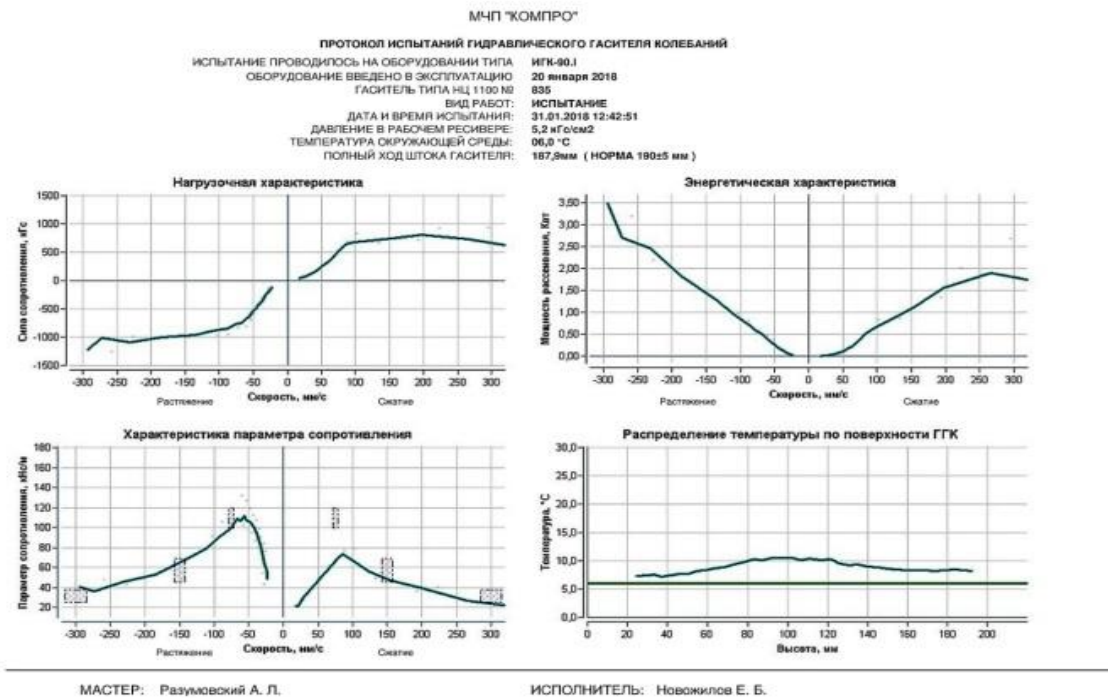


Рисунок 3 – Вид протоколу випробувань гідродемпфера типу НЦ1100 на модернізованому стенді ИГК-90.1 в режимах стиснення і розтягування з трьома графічними залежностями: сили і параметра опору, і енергоємності від швидкості переміщення поршня, і графік розподілу по вертикалі температури зовнішньої поверхні корпусу циліндра

У перспективі, планується подальше вдосконалення програмного забезпечення до ПК стенду, щоб проводити ресурсні випробування гідродемпферів для формування бази даних, яка ляже в основу теплової діагностики технічного стану гідродемпфера. Таку діагностику можна буде проводити дистанційно на рухомому транспорті під час його експлуатації.

Список використаних джерел

1. Басов Г. Г. Проблемы демпфирования колебаний в системе амортизации железнодорожного подвижного состава / Г. Г. Басов, В. И. Нестеренко, М. Л. Бурка // Вестник ВНУ им. В. Даля. – Луганск, 2004. – № 11 (81). – С. 84–89.
2. Гидродемпферы для подвижного и тягового состава ж/д транспорта. Официальный сайт ООО «Технокон М Лтд». – Режим доступа: http://tekhnokon.ru/tormoznoe_ob/gidrodempfer.htm#. – 31.07.2018.
3. Боряк К. Ф. Перспективы внедрения температурного мониторинга для диагностики технического состояния механических узлов подвижного тягового железнодорожного состава / К. Ф. Боряк, С. Л. Волков, Е. С. Шпат // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – № 2. – С. 50–53.
4. Боряк К. Ф. Пути увеличения технического ресурса гидродемпферов на пассажирских вагонах / К. Ф. Боряк, М. А. Манзарук, Е. С. Шпат // Проблемы технического регулювання та якості: матеріали Четвертої Всеукраїнської науково-практичної конференції (Одеса, 9-10 травня 2014 р.). – Одеса, 2014. – С. 153–155.
5. Боряк К. Ф. Извлечение уроков из опыта эксплуатации гидродемпферов на скоростных поездах Hyundai / К. Ф. Боряк, М. А. Манзарук, Е. С. Шпат // Збірник доповідей XIV Науково-практичної конференції «Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху на залізницях України». – Харків, 2014. – С. 31–36.
6. Боряк К. Ф. Метрологический надзор за обеспечением единства измерений при ремонте гидравлических гасителей колебаний подвижного состава на одесской железной дороге / К. Ф. Боряк, М. А. Манзарук, М. А. Гуцалюк // Збірник наукових праць одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса, 2013. – Вип. 1(2). – С. 66–76.
7. Боряк К. Ф. Недостатки ведомственной нормативной документации в отношении единства требований к конструкции гидродемпферов, нормированию усилий демпфирования и к методам испытаний / К. Ф. Боряк, М. А. Манзарук, А. Н. Романюк // Інформаційний науково-

технічний журнал «Залізничний транспорт України». – 2014. – № 3. – С. 21–31.

8. Боряк К. Ф. Различные подходы к оценке технического состояния гидравлических гасителей колебаний / К. Ф. Боряк, М. А. Манзарук // Сборник докладов IV Международной партнерской конференции EuroTrain «Современный подвижной состав: приоритеты, инновации, перспективы». – Ялта, 2013. – С. 53–58.

9. Боряк К. Ф. Порівняння випробувальних стендів різних виробників, які використовуються для технічного діагностування гідравлічних гасників коливань тягового рухомого складу / К. Ф. Боряк, М. О. Манзарук // Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ». – 2016. – № 5–6 (май-июнь). – С. 4–7.

10. Боряк К. Ф. Модернизированный стенд «ИГК-90.1» для испытаний гидравлических гасителей колебаний подвижного состава / К. Ф. Боряк, С. А. Разумовский, М. А. Манзарук, Е. С. Шпат // Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ». – 2016. – № 11-12 (ноябрь-декабрь). – С. 4–7.

11. Патент UA № 94043 Україна, МПК (2014.01) G01M 17/00. Спосіб випробування гасника коливань / К. Ф. Боряк, С. В. Ленков, М. О. Манзарук, О. С. Шпат, заявник та власник патенту Боряк К. Ф. – № 201405252; заявл. 19.05.14; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20.

12. Боряк К. Ф. Возможности проведения диагностирования технического состояния гидродемпферов локомотивов по протоколам испытаний на стенде «ИГК-90.1» / К. Ф. Боряк, М. А. Манзарук // Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ». – 2014. – № 3. – С. 38–43.

References

1. Basov G. G. Problemy dempfirovaniya kolebanij v sisteme amortizacii zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava / G. G. Basov, V. I. Nesterenko, M. L. Burka // Vestnik VNU im. V. Dala. – Lugansk, 2004. – № 11(81). – С. 84–89.

2. Gidrodempfery dlya podvizhnogo i tyagovogo sostava zh/d transporta. Oficial'nyj sajt ООО «Texnokон M Ltd». – Rezhim dostupa: http://tekhnokon.ru/tormoznoe_ob/gidrodempfer.htm#. – 31.07.2018.

3. Boryak K. F. Perspektivy vnedreniya temperaturnogo monitoringa dlya diagnostiki texnicheskogo sostoyaniya mexanicheskix uzlov podvizhnogo tyagovogo zheleznodorozhnogo sostava / K. F. Boryak, S. L. Volkov, E. S. Shpat //

Texnicheskaya diagnostika i nerazrushayushhij kontrol'. – 2014. – № 2. – С. 50–53.

4. Boryak K. F. Puti uvelicheniya texnicheskogo resursa gidrodempferov na passazhirskix vagonax / K. F. Boryak, M. A. Manzaruk, E. S. Shpat // Problemy tekhnichnogo rehuliuвання ta yakosti: materialy Chetvertoi Vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferentsii (Odesa, 9-10 travnia 2014 r.). – Odesa, 2014. – С. 213–215.

5. Boryak K. F. Izvlechenie urokov iz opyta e'kspluatacii gidrodempferov na skorostnyx poezdax Hyundai / K. F. Boryak, M. A. Manzaruk, E. S. Shpat // Zbirnyk dopovidei XIV Naukovopraktychnoi konferentsii «Perspektyvy vprovadzhennia tekhnichnykh zasobiv bezpeky rukhu na zaliznytsiakh Ukrainy». – Kharkiv, 2014. – С. 31–36.

6. Boryak K. F. Metrologicheskij nadzor za obespecheniem edinstva izmerenij pri remonte gidravlicheskix gasitelej kolebanij podvizhnogo sostava na odesskoj zheleznoj doroge / K. F. Boryak, M. A. Manzaruk, M. A. Gucalyuk // Zbirnyk naukovih prac' Odes'koї derzavnoї akademii tehničnogo reguluvannâ ta âkosti. – Odesa, 2013. – Vyp. 1(2). – 2013. – С. 66–76.

7. Boryak K. F. Nedostatki vedomstvennoj normativnoj dokumentacii v otnoshenii edinstva trebovanij k konstrukcii gidrodempferov, normirovaniyu usilij dempfirovaniya i k metodam ispytanij / K. F. Boryak, M. A. Manzaruk, A. N. Romanyuk // Informatsiyni naukovotekhnichni zhurnal «Zaliznychni transport Ukrainy». – Kyiv, 2014. – # 3. – С. 21–31.

8. Boryak K. F. Razlichnye podxody k ocenke texnicheskogo sostoyaniya gidravlicheskix gasitelej kolebanij / K. F. Boryak, M. A. Manzaruk // Sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoj partnerskoj konferencii EuroTrain «Sovremennij podvizhnoj sostav: priority, innovacii, perspektivy». – Yalta, 2013. – С. 53–58.

9. Boriak K. F. Porivniannia vyprobuvalnykh stendiv riznykh vyrobnykiv, yaki vykorystovuiutsia dlia tekhnichnogo diahnostuvannia hidravlichnykh hasnykiv kolyvan tiahovoho rukhomoho skladu / K. F. Boriak, M. O. Manzaruk // Mezhdunarodnyj informacionnyj nauchnotekhnicheskij zhurnal «Lokomotiv-inform». – 2016. – № 5–6 (maj-iyun'). – С. 4–7.

10. Boryak K. F. Modernizirovannyj stend «IGK-90.1» dlya ispytanij gidravlicheskix gasitelej kolebanij podvizhnogo sostava / K. F. Boryak, S. A. Razumovskij, M. A. Manzaruk, E. S. Shpat // Mezhdunarodnyj informacionnyj nauchnotekhnicheskij zhurnal «Lokomotiv-inform». – 2016. – № 11-12 (noyabr'-dekabr'). – С. 4–7.

11. Patent UA # 94043 Ukraina, MPK (2014.01) G01M 17/00. Sposib vyprovuvannia hasnyka kolyvan / K. F. Boriak, S. V. Lienkov, M. O. Manzaruk, O. S. Shpat, zaiavnyk ta vlasnyk patentu Boriak K. F. – # 201405252; zaiavl. 19.05.14; opubl. 27.10.14, Biul. #20.

12. Boryak K. F. Vozmozhnosti provedeniya diagnostirovaniya texnicheskogo sostoyaniya

gidrodempferov lokomotivov po protokolam ispytaniy na stende «IGK-90.1» / K. F. Boryak, M. A. Manzaruk // Mezhdunarodnyy informacionnyy nauchno-texnicheskij zhurnal «Lokomotiv-inform». – 2014. – № 3. – S. 38–43.

Надійшла до редакції 14.05.2018 р.

К. Ф. Боряк, д.т.н., М. К. Боряк, М. А. Манзарук

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГИДРОДЕМПФЕРОВ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОМ СТЕНДЕ ИГК-90.1

В статье рассматриваются пути совершенствования метода испытания и технической диагностики гидродемпферов тягового подвижного состава, которые эксплуатируются в производственных подразделениях ПАО «Украинская железная дорога», на испытательном стенде ИГК-90.1. Приведен краткий обзор современных испытательных стендов и выбран тип испытательного стенда ИГК-90.1 для его последующей модернизации. Приведены расчеты энергоёмкости гидродемпферов, которые легли в основу программного обеспечения и модернизации конструкции испытательного стенда ИГК-90.1. На указанном типе испытательного стенда авторами проведены экспериментальные исследования гидродемпфера типа НЦ1100, получены графические зависимости для силы и параметра сопротивления, а также энергоёмкости от скорости перемещения поршня. Дополнительно получено график изменения температуры по внешней вертикальной поверхности корпуса цилиндра за время испытаний.

Ключевые слова: сила сопротивления, параметр сопротивления, энергоёмкость гидродемпфера, тепловой контроль узлов железнодорожного транспорта, оценка работоспособности гидродемпфера.

K. Boriak, DSc, M. Boriak, M. Manzaruk

IMPROVEMENT OF TEST METHODS AND TECHNICAL DIAGNOSTICS OF HYDRAULIC DAMPERS ON THE TEST STAND ИГК-90.1

The article examines ways to improve the test method and technical diagnostics of hydraulic dampers of traction rolling stock on the test stand of ИГК-90.1 which are operated in the production divisions of PJSC «Ukrainian Railways». A brief review of modern test benches is given and the type of the test stand ИГК-90.1 is selected for its further modernization. The calculations of the energy capacity of hydraulic dampers, which formed the basis for software and modernization of the design of the test stand ИГК-90.1, are given. At the indicated type of test stand, the authors carried out experimental studies of the hydrodynamic type НЦ1100, graphical dependences were obtained for the force and resistance parameter, as well as the energy capacity from the piston displacement speed. In addition, a graph of the temperature change along the outer vertical surface of the cylinder body during the test is obtained. On a concrete example test of hydraulic damper of type НЦ1100, the expediency of introducing a new defining technical parameter (energy-capacity) for the evaluation of the operability and functionality of hydraulic diodes for their main purpose has been proved. The authors obtained an analytical expression for the transformation balance of the energy loading of the hydraulic damper to the work on the piston movement and the thermal energy of heating the working fluid in the cylinder. On the basis of this, the software of the ИГК-90.1 computer bench has been improved, which made it possible to obtain graphical dependencies of the hydro damper's energy intensity on the piston moving speed. In the long run, it is planned to further upgrade the software to the PC booth to conduct resource tests of hydraulic damps to form a database, which will be the basis for the thermal diagnosis of the technical state of the hydraulic damp.

The prospect of applying a new technical parameter in practice and using the obtained research results in the development and implementation of an automated remote thermal control system for hydraulic diodes during their operation on railway transport is indicated.

Keywords: resistance force, resistance parameter, power consumption of hydraulic dampers, thermal control of railway transport nodes, evaluation of hydraulic damp efficiency.

В. П. Квасніков¹, д.т.н., Р. М. Запоточний², к.т.н.

¹Київський національний авіаційний університет, м. Київ

²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ НАТЯГУ СТЕРЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

В статті розглянуто і проаналізовано методи контролю за вимірюваннями величини сили натягу при створенні попереднього напруження будівельних конструкцій. Також описано процеси тарування приладів і проведення оцінки величини сили натягу стержневого елементу. Надійне метрологічне забезпечення на усіх етапах виробництва залізобетонних попередньо напружених конструкцій дозволить значно зменшити ризики виникнення браку у параметрах, які контролюються вимірюваннями. Введення процесів автоматизації при виготовленні і контролі за якістю виконання натягу стержнів для створення попереднього напруження залізобетонних конструкцій зменшить трудозатрати і час на виготовлення одиниці продукції.

Ключові слова: метод вимірювання, сила натягу, попереднє напруження, контроль якості, допуск.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-43-50

Вступ

Залізобетонні конструкції є одними із найбільш поширених у будівельній галузі. Їх поділяють на: звичайні і попередньо напружені.

Ідея попереднього напруження залізобетонних конструкцій полягає у тому, щоб за допомогою додаткової зовнішньої сили створити внутрішнє напруження розтягу в арматурі і стиску у бетоні. Такого типу конструкції характеризуються високою тріщиностійкістю і меншою металомісткістю. У яких є більш ефективним використання сталі (композитних матеріалів) і бетону.

Для створення попереднього напруження використовують металеві стержневі елементи, а також стержні з вугле-, скло- чи базальтопластику. За технологією попереднього напруження залізобетонні конструкції можна виконувати:

- з натягом арматури на упори стенду;
- з натягом арматури на бетон конструкції.

Впровадження попередньо напружених конструкцій у виробництво дозволило будівельникам розширити межі реалізації своїх інженерних задумів, а саме будувати будівлі і споруди більш складної архітектурної форми [1, 2].

Надійний контроль за якістю будівельних процесів є вкрай важливою ланкою з успішної реалізації проекту будівельного об'єкта. Знехтування ним може призвести до економічних, екологічних втрат, а іноді і людських жертв.

Аналіз

Створення попереднього напруження у будівельних конструкціях можна виконувати наступними способами: механічним, електротермічним, електротермомеханічним фізико-хімічним

та ін.

В діючому нормативному документі [3] охарактеризовано основні методи і вимоги щодо вимірювання і контролю за якістю сили натягу металевих стержневих елементів при виготовленні збірних попередньо напружених залізобетонних конструкцій. Застосування цих методів контролю за вимірюваннями сили натягу, можливе при виконанні попередньо напружених конструкцій у яких вжито вуглепластикові стрічки, або скло- чи базальтопластикові стержні [4].

Науковий інтерес викликає розроблення методів для контролю за вимірюваннями величини сили натягу стержневих елементів у самонапружених залізобетонних конструкціях, попереднє напруження яких виконано фізико-хімічним способом [5]. Якісне метрологічне забезпечення з контролю за вимірюваннями сил натягу стержневих елементів у таких конструкціях відкриє нові перспективи до їх ширшого вжитку.

Вивчення особливостей застосування систем автоматизації при виготовленні збірних попередньо напружених конструкцій дасть можливим отримати оцінку щодо підвищення якості їх виконання, а також додаткові економічні показники, які можна при цьому досягти.

Для вимірювання та тарування прикладеної сили, при виконанні натягу стержневих елементів, використовують динамометри і манометри [6–8]. В нормативному документі [9] наведено технічні вимоги щодо виконання натягу стержневих елементів для створення попереднього напруження у залізобетонних конструкціях. Технічні умови до засобів вимірювань (металеві

рулетки, лінійки, штангенциркулі та індикатори годинникового типу) для забезпечення контролю натягу стержневих елементів наведено у державних стандартах [10–13].

Ціль статті

Ціллю статті є огляд і аналіз методів контролю за вимірюваннями величини сили натягу стержневих елементів при виготовленні попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

Основний матеріал

Застосування методів для вимірювання сили натягу у попереднього напружених залізобетонних конструкціях слід розглядати із врахуванням технології їх виготовлення (див. рис. 1).

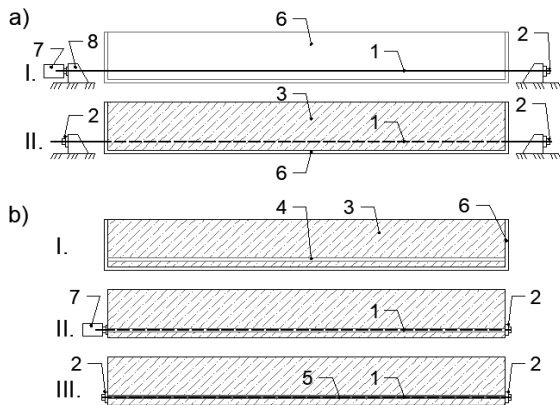


Рисунок 1 – Технологія виконання попереднього напруження залізобетонних конструкцій:

а) з натягом стержнів на упори стенду;

б) з натягом стержнів на бетон конструкції:

1 – натягнутий стержень, 2 – зовнішній анкер напружуваного стержня, 3 – бетон конструкції, 4 – канал в конструкції, 5 – ін'єктований канал із попередньо напружуваною арматурою, 6 – форма опалубки, 7 – гідродомкрат, 8 – упора стенду.

Виготовлення попередньо напружених конструкцій з натягом стержневих елементів на упори стенду (форми опалубки) умовно можна поділити на два етапи (див. рис. 1, а): виконання натягу стержневих елементів на упори стенду (опалубки); бетонування конструкції в опалубці, а після набору відповідної міцності бетону – передавання сили натягу на елемент будівельної конструкції шляхом відпуску напружених стержнів з упорів стенду (опалубки).

Виготовлення попередньо напружених конструкцій у технології з натягом стержневих елементів на бетон, можна умовно поділити на три етапи (див. рис. 1, б): бетонування конструкції із створенням в ній пустотних каналів; пропуск через канали стержнів із подальшим їх натягом; фіксація натягнутих стержнів за допомогою анкерів на торцях будівельної конструкції із подальшим заповненням пустотних каналів відповід-

ними розчинами.

Для вимірювання величини сили натягу стержневого елементу застосовують наступні методи: гравітаційний; за показниками динамометра; за показниками манометра; за величиною видовження стержня; метод поперечної відтяжки; частотний (див. рис. 2 і 3).

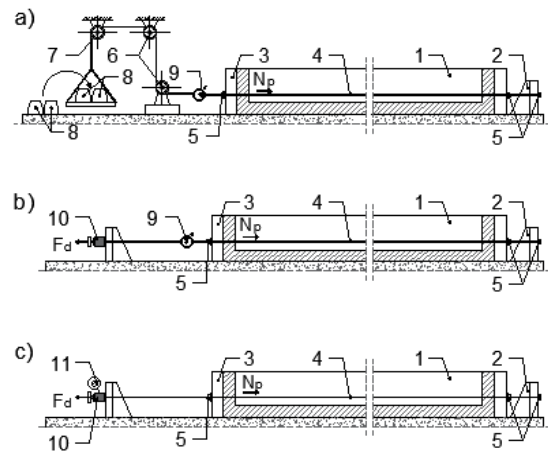


Рисунок 2 – Схеми до основних методів вимірювання сили натягу стержнів залізобетонних конструкцій: а) гравітаційним методом; б) за показниками динамометра; в) за показниками манометра: 1 – форма опалубки з/б елементу, 2, 3 – упори стенду і форми опалубки, 4 – арматура для створення попереднього напруження, 5 – анкери для закріплення арматури на упори, 6 – блок, 7 – поліспаст, 8 – вантаж, 9 – динамометр, 10 – гідродомкрат, 11 – манометр.

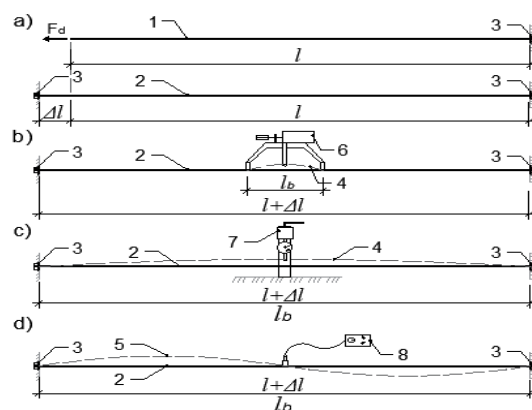


Рисунок 3 – Схеми для вимірювання сили попереднього напруження арматурного елементу методом: а) по величині видовження стержня;

б), в) поперечної відтяжки; частотним:

1 – стержень без видовження, 2 – стержень видовжений за дії зовнішньої сили, 3 – деталь закріплення стержня, 4 – відтягнутий в поперечному напрямку стержень, 5 – амплітуда коливань стержня, 6, 7 – прилад з і без своєї бази вимірювання, 8 – прилад для вимірювання частоти власних коливань.

Узагальнені ідеї розглянутих методів із вимірювання величини сили натягу стержневих елементів описано у таблиці 1.

Гравітаційний метод вимірювання сили натягу стержнів застосовують у тих випадках, коли його виконують вантажем через систему важелів і поліспастів (рис. 2, а). Величину сили, яку передано на стержневий елемент, визначають за вимірюваннями по прикладеному навантаженню із врахуванням особливостей застосованої силової системи, тобто тертя, проковзування та ін. Врахування втрат передачі сили натягу викону-

ють динамометром при таруванні застосованої силової системи.

Одним із недоліків цього методу є складність побудови системи навантаження, у якій необхідно забезпечити надійне закріплення усіх її елементів. Він є економічно не доцільним, що пов'язано із збільшенням необхідної площі цеху, яку потрібно залучити у процеси виробництва одиниці продукції, а також у збільшенні, відносно інших методів, витрати часу і роботи на виконання операцій по створення попереднього напруження і контролю за якістю його виконання.

Таблиця 1 – Методи вимірювання величини сили натягу при створенні попереднього напруження залізобетонних конструкцій

№	Метод вимірювання величини сили	Ідея методу	Примітки
1	2	3	4
<i>Основні методи вимірювання сили натягу</i>			
1	Гравітаційний метод	Залежність між силою натягу стержня і підвішеного до нього вантажу.	Згідно норм, вагу вантажу необхідно вимірювати з похибкою до 2,5%.
2	За показниками динамометра	Залежність між силою натягу стержня і деформацією динамометра.	Величини вимірюваної сили повинні знаходитися в межах шкали динамометра від 30 % до 100 %.
3	За показниками манометра	Залежності між тиском у циліндрі домкрата і силою натягу стержня.	При вимірюванні сили натягу стержневого елементу, необхідно щоб його величини знаходилися у межах від 30% до 90% шкали вимірювального приладу.
<i>Допоміжні методи вимірювання сили натягу</i>			
4	За величиною видовження стержня	Залежності величин видовження стержня від його величин напруження, а з врахуванням площі поперечного перерізу з визначенням силу натягу.	Невисока точність цього методу обумовлюється змінністю пружно-пластичних характеристик арматурної сталі, а також деформацією форм і упор.
5	Метод поперечного відтягування стержня	Залежність між прикладеною силою, для відтягування в поперечному напрямку стержня на задану величину і силою її натягу.	Відношення прогину арматури до її довжини не повинно перевищувати: 1:150 – для дроту, стержневої і канатної арматури діаметром до 12 мм 1:300 – для стержнів і канатної арматури діаметром більше 12 мм.
6	Частотний метод	Залежності між напруженнями в стержні і частотою його власних коливань.	При контролі вимірювання натягу арматури, вона не повинна торкатися з іншими арматурними елементами, закладними деталями і формою.

У методі вимірювання сили натягу стержня за показами з динамометра, прилад приєднують до силової системи так, щоб він сприймав силу натягу (див. рис. 2, б), величину якої визначають

за допомогою його тарувальних характеристик. Для вимірювання величини прикладеної сили застосовують еталонні динамометри [7], а також допускається застосування динамометрів класу

точності не нижче 2,5 [6]. Виконання попереднього напруження, за цим методом, потребує спеціальних монтажних пристосувань на упорах форми опалубки (стенду).

Визначення сили натягу арматури *за показами манометра* відбувається безпосередньо у процесі натягу і закінчується при передачі зусилля з домкрату на упори форми опалубки чи стенду (див. рис. 2, в). При вимірюванні величини сили, необхідно застосовувати вірцеві манометри з гідродомкратами, клас точності яких не нижчий 1,5 [8]. При натягу стержня (групи стержнів), за допомогою гідравлічного домкрату, у гідросистему встановлюють протарований манометр. При використанні гідродомкрату необхідно забезпечити проектне розміщення натягнутих стержневих елементів, при дії на них зовнішньої сили, із врахуванням умов недосконалостей виконання упор для їх тимчасового закріплення та інше.

При виконанні одночасного натягу групи стержневих елементів, визначають сумарну величину прикладеної сили. А для визначення її часткових величин, в кожному видовженому елементі, застосовують наступні контролюючі методи вимірювання: за величиною видовження стержня; метод поперечної відтяжки стержня; частотний метод та інші.

Схеми із застосуваннями допоміжних (контролюючих) методів для вимірювань величини сили натягу стержня, при виготовленні попередньо напружених залізобетонних конструкцій показано на рисунку 3.

Вимірювання сили натягу стержня за величиною його видовження є відносно не точним методом (див. рис. 3, а). Найчастіше його застосовують в комбінації з іншими методами. Для визначення сили натягу, необхідно визначити величину видовження стержня при дії на нього зовнішньої сили, а також мати графік його залежностей «напруження видовження».

При електротермічному способі натягу, з нагріванням поза формою опалубки, довжина стержневого елементу визначається завчасно. При цьому слід враховувати пружно-пластичні деформації сталі, а також довжину форми, втрати напружень в наслідок деформації форми, зміщення і зминання упор стержня. Для вимірювання довжини стержня, форми опалубки чи стенду, а також видовження стержня при натягу – застосовують металеві лінійки, рулетки та штангенциркулі [10 – 12]. Величину видовження вимірюють за допомогою безпосередньо встановлених на ньому приладів. Можуть бути застосованими індикатори годинникового типу [13], тензометри або можуть вимірюватись за допомогою металевої лінійки, рулетки чи штангенциркуля за

рисками, що нанесені на стержневий елемент.

При електротермічному натягу стержнів, з нагріванням їх поза формою опалубки, величину сили натягу визначають як відмінність між повним видовженням і втратами на зминання анкерів і деформацій елементів опалубки. Повне видовження стержнів визначають як різницю віддалей між упорами опалубки або стенду і довжиною заготовленого стержня між анкерами за вимірюваннями при однаковій температурі. А величину зминання анкерів визначають за результатами їх випробування. Деформацію елементів опалубки на рівні упор визначають як різницю віддалей між ними до і після натягу і закріплення стержневих елементів.

При вимірюванні сили натягу стержневого елементу *методом поперечного відтягування* (див. рис. 3, б, в), його відтягування можна виконувати по цілій довжині стержня, який закріплений між упорами опалубки чи стенду, або ж на базі упорів приладу (за умови, що прилад має свою власну базу). При вимірюванні сили за цим методом в системі не повинно бути залишкових деформацій. А для вимірювань можуть бути застосованими прилади механічного і електромеханічного принципів роботи. Вони повинні мати клас точності не нижче ніж 1,5; ціна поділки не повинна перевищувати 1 % верхнього граничного значення контролюючого натягу. А похибка тарувальної характеристики не повинна перевищувати ± 4 %. Місце встановлення електромеханічних приладів повинно знаходитися на віддалі не менше ніж 5 м від джерела електричних перешкод.

При застосуванні приладу зі своєю власною базою, його встановлюють на стержень в довільному, по довжині, місці. Але потрібно врахувати, щоб стики арматурних елементів не знаходилися в межах бази приладу.

Вимірювання сили натягу арматури за допомогою приладів без своєї власної бази (базою є відстань між опорами стенду), встановлюють їх в середині прогону між упорами опалубки чи стенду із допустимим зміщенням в напрямку однієї з упор до 2 %.

У *частотному методі* застосовують прилади для вимірювань числа коливань напруженої арматури за визначений проміжок часу, за якими визначають силу натягу із врахуванням тарувальних характеристик, для даного класу, діаметру і довжини арматури. Застосовані прилади повинні забезпечувати вимірювання частоти власних коливань видовженого стержня з похибкою $\pm 1,5$ %. Відносна похибка визначення сили натягу не повинна перевищувати ± 4 %. Місце встановлення приладів повинно знаходитися від джерела електричних перешкод на віддалі не

меншій ніж 5 м. Первинний вимірювальний перетворювач при вимірюванні сили натягу стержня за допомогою приладів без власної бази повинен бути розміщений на ділянці стержня, що віддалена від його середини на відстань, яка не перевищує 2 %. При контролі вимірювань натягу стержневого елементу необхідно забезпечити, щоб він не торкався до інших стержнів, закладних деталей, елементів опалубки, стану та ін.

Застосування подвійних вимірювальних систем при виконанні робіт пов'язаних зі створенням попереднього напруження залізобетонних конструкцій дозволить забезпечити надійніший контроль за величиною сили натягу стержневих елементів.

Методи, що розглянуто вище, можуть бути застосовані в комбінаціях між собою при виготовленні збірних попередньо напружених залізобетонних конструкцій в умовах заводського цеху при застосуванні технології попереднього напруження – з натягом стержнів на упори стану (опалубки) [14]. Також їх комбінації можуть бути застосовані у збірно-монолітних конструкціях, у яких попереднє напруження виконується в технології натягу арматурних стержнів на упори, які є закладними деталями двох елементів для об'єднання (прикладом є збірно-монолітна прогонова будова мосту) [15].

Для створення попереднього напруження залізобетонних конструкцій в технології з натягом стержнів на бетон (див. рис. 1, б) у мостобудівельній практиці найчастіше застосовують стаціонарні гідродократи. Контроль за величиною переданої на стержень сили здійснюють за показниками манометра у комбінації з методом контролю за величиною видовження стержня.

У монолітних попередньо напружених залізобетонних конструкціях стержні для натягу розміщені у закритих каналах (при бетонуванні конструкції в один етап). При будівництві транспортних споруд ці особливості обмежують застосування методу поперечного відтягування і частотного методу за додатковим контролем величини прикладеної сили до стержня, оскільки немає відкритого доступу до натягнутих стержневих елементів. Особливо це стосується несучих елементів складної геометричної форми, у якій, згідно проекту, необхідно виконати натяг криволінійних в горизонтальній і вертикальній площинах стержнів [16].

Для тарування приладу виконують співставлення його показів, що зафіксовані за дії заданої сили, з показами динамометра. Точність динамометра, який встановлено послідовно з натягнутим стержневим елементом, повинна бути не нижчою класу 1,0 [6].

Визначення тарувальних характеристик

ужитих манометрів виконують шляхом співставлення їх показів з показами взірцевого динамометра, які обидва встановлені послідовно з гідравлічним домкратом.

При виконанні тарування, максимальна сила натягу стержневого елементу повинна перевищувати його номінальну проектну силу на величину з допустимим додатнім відхиленням. Кількість етапів навантаження повинна бути не менше 8, а кількість вимірювань на кожному з них – не менше 3. При максимальній силі натягу стержня покази взірцевого динамометра повинні складати не менше 50 % його шкали вимірювань.

Визначення тарувальних характеристик приладів (що застосовують для вимірювань сили натягу арматурного елементу за методом поперечного відтягування або частотним методом) необхідно виконувати для кожного класу і діаметру стержня, а для приладу без власної бази – для кожного класу, діаметра і довжини стержня. Довжини стержнів повинні перевищувати довжину бази приладу не менше ніж у 1,5 рази.

При вимірюванні сили натягу стержня за допомогою приладів без власної бази, необхідно забезпечити наступне:

- довжина стержневих елементів, при таруванні, не повинна відрізнятися від довжини контролюючого елементу більш ніж на 2 %;
- відхилення місця розміщення приладу або датчика приладу від середини довжини видовженого стержня, при застосуванні механічних і приладів частотного типу, не повинна перевищувати 2 % і 5 % довжини стержневого елементу.

Силу натягу визначають, як середнє арифметичне за результатами вимірювання. Мінімальна кількість дублюючих вимірювань повинна бути не менша 2. Оцінку сили натягу арматурного елемента виконують шляхом співставлення отриманих за вимірюваннями значень з величинами сил натягу, що задані в нормативних документах або на робочих кресленнях. Відхилення вимірювальних величин повинні не перевищувати допустимі.

Оцінка результату з визначення сили натягу за видовженням стержня виконується шляхом співставлення фактичного видовження з видовженням за розрахунками. Фактичне видовження не повинно відрізнятися від розрахункових значень більш ніж на 20 %.

Встановлення відносної похибки при визначенні тарувальної характеристики приладу, для натягу стержня з діаметром d , довжиною l і за дії максимальної сили P_{max} , що задано у проектній документації, необхідно:

1. На кожному ступені навантаження P^i , за показами приладу $Y_{пр. max}^i$, $Y_{пр. min}^i$, визначити

силу натягу стержневого елементу P_{max}^i, P_{min}^i ;

2. В одиницях сили, обчислити розмах отриманих показів приладу (ΔP^i):

$$\Delta P^i = P_{max}^i - P_{min}^i;$$

3. У відсотках, визначити відносний розкид показів приладу:

$$\Delta P^i = \frac{\Delta P^i}{P^i} 100\%;$$

4. Визначити максимальну ($P_{max}^{gr} = 1,1P_{max}$) і мінімальну $P_{min}^{gr} = 0,5 P_{max}^{gr}$ величини сили натягу для проведення тарування приладу;

5. Забезпечити щоб, на кожному ступені прикладеного навантаження, величина його приросту (Δp) відповідала:

$$\Delta p \leq 0,15(P_{max}^{gr} - P_{min}^{gr}).$$

Задачі, які пов'язані з автоматизацією процесів виробництва будівельних конструкцій, в тому числі із попередньо-напруженого залізобетону є актуальними для сьогодення і майбутнього. Інвестування підприємства в їх впровадження дозволить покращити економічні показники, які пов'язані з виготовленням одиниці продукції із забезпеченням надійного контролю за їх якістю. А застосування сучасних засобів і приладів дозволить скоротити час на операції, які пов'язані з контролюючими вимірювальними і виробничими процесами.

Подальша наукова робота авторів буде спрямована в напрямку дослідження і розробки систем метрологічного забезпечення автоматизованих процесів виготовлення і контролю за вимірюваннями сили натягу у попередньо напружених залізобетонних конструкціях.

Висновки

1. Вибір методів контролю вимірювання сили попереднього напруження залізобетонних елементів залежить від особливостей прийнятого конструкційно-технологічного рішення будівельної конструкції.

2. Пропонується для забезпечення більш надійного контролю виконання попереднього напруження при виготовленні залізобетонних конструкцій застосовувати одночасно два методи вимірювання сили натягу стержневого елемента.

3. Застосування методів вимірювання сили натягу стержневого елемента за показами манометра і за видовженням стержня є найбільш поширеними у мостобудівельній практиці при будівництві монолітних попередньо напружених залізобетонних прогонових будов транспортних споруд.

Список використаних джерел

1. Benaim, R. The Design of prestressed concrete bridges, New York: Taylor & Francis, 2008.
2. Gwoździewicz P. Konstrukcje sprężone: Cz.1.Materiały i wykonanie prac / P. Gwoździewicz // Nowoczesne budownictwo: Wrzesień – Październik, 2014. – Str. 58–63.
3. ДСТУ Б В.2.6-124:2010. Конструкції залізобетонні. Методи вимірювання сили натягу арматури – [чинний від_2012-01-01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України – 2011 – 58 с.
4. Таран В. В. Особенности применения композитной арматуры при возведении строительных конструкций зданий и сооружений // В. В. Таран, А. В. Янков // Вісник НАБіА. – 2013. – Вип. 6. – С. 35–40.
5. Кондратчик А. А. Железобетонные конструкции с арматурой, предварительно напряженной комбинированным способом / А. А. Кондратчик // Строительная наука и техника. – Минск, 2008. – № 5. – С. 44–53.
6. Kotynia R. Przyczepnościowe metody wzmacniania konstrukcji żelbetowych przy użyciu naprężonych kompozytów polimerowych / R. Kotynia // Przegląd budowlany. – 2015. – № 7–8. – Str. 49–56.
7. ДСТУ 13837:2009. Динамометри загального призначення. Технічні умови. – [чинний від_2009-01-02] – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 14 с.
8. ДСТУ 7222:2011. Динамометри еталонні переносні. Загальні технічні вимоги. [чинний від_2011-08-01]. – К.: Укрметртестстандарт, 2011-02-02. – 58 с.
9. ГОСТ 2405-88. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягомеры и тягонапорометры. Общие технические условия. [чинний від_1989-07-01]. – К.: Міністерство приладобудування, засобів автоматизації і систем управління СРСР, 1988-12-23. – 30 с.
10. ДСТУ-Н Б В.2.3-34-2016. Настанови з виконання робіт при будівництві мостів і труб. [чинний від_2017-01-01]. – К.: ДП «ДерждорНД», 2008-26-01. – 96 с.
11. ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови. [чинний від_2005-09-01]. – К.: Український науково-дослідний інститут стандартизації, сертифікації та інформатики, 2003-05-13. – 8 с.
12. ДСТУ 427:2009. Лінійки вимірювальні металеві. Технічні умови. [чинний від_2009-02-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008-02-02. – 58 с.
13. ДСТУ ГОСТ 166:2009. Штангенцир-

кулі. Технічні умови (ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76), IDT). [чинний від_2009-12-01] – Міністерство верстатобудівної та інструментальної промисловості СРСР, 2008-02-02. – 17 с.

14. ДСТУ 577:2009. Індикатори годинникового типу із ціною поділки 0,01 мм. Технічні умови. [чинний від_2009-02-01]. – Державний Комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2008-12-22. – 17 с.

15. Коваль П. М. Ефективні конструкції залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов автодорожніх мостів з використанням попередньо напружених балок / П. М. Коваль, А. Є. Фаль, С. В. Стоянович // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» – 2010 – № 664 : Теорія і практика будівництва. – С. 44–52.

16. Гнідець Б. Г. Залізобетонні конструкції з напружуваними стиками і регулюванням зусиль: монографія / Б. Г. Гнідець. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. – 548 с.

17. Гнідець Б. Г. Збірно-монолітні залізобетонні конструкції : навч. посібник / Б. Г. Гнідець. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2014. – 260 с.

18. Гнідець Б. Г. Електротермічне попереднє напруження будівельних конструкцій в умовах будівництва / Б. Г. Гнідець, М. Р. Щеглюк, І. Д. Кавацюк. – Львів: СПОЛІОМ, 2004. – 107 с.

19. Руководство по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций // Науч.-исслед. инст. бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1975. – 192 с.

20. Sieńko R. Systemy monitorowania konstrukcji sprężonych. / R. Sieńko, T. Howiacki, Ł. Berdnarski // Budownictwo. – 2015 (Sierpień). – Str. 54–57.

References

1. Benaim, R. The Design of prestressed concrete bridges, New York: Taylor & Francis, 2008.

2. Gwoździewicz P. Konstrukcje sprężone: Cz.1.Materiały i wykonanie prac // Nowoczesne budownictwo: Wrzesień – Padziernik, 2014 – Str. 58–63.

3. DSTU B V.2.6-124:2010 Konstruktsii zalizobetonni. Metody vymiriuvannia syly natiahu armatury – [chynnyi vid_2012-01-01]. – K.: Ministerstvo rehionalnogo rozvytku ta budivnytstva Ukrainy, 2011 – 58 s.

4. Taran V. V. Osobennosti primeneniya kompozitnoj armatury pri vozvedenii stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij // V. V. Taran, A. V. Yankov // Visnyk NABiA. – 2013. – Vyp. 6. –

S. 35–40.

5. Kondratchik A. A. Zhelezobetonnye konstrukcii s armaturoj, predvaritel'no napryazhennoj kombinirovannym sposobom / A. A. Kondratchik // Stroitel'naya nauka i tekhnika. – Minsk, 2008. – № 5. – S. 44–53.

6. Kotynia R. Przyczepnościowe metody wzmacniania konstrukcji żelbetowych przy użyciu naprężonych kompozytów polimerowych // Przegląd budowlany. – # 7–8. – Str. 49–56.

7. DSTU 13837:2009. Dynamometry zahalnoho pryznachennia. Tekhnichni umovy. – [chynnyi vid_2009-01-02] – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2008. – 14 s.

8. DSTU 7222:2011. Dynamometry etalonni perenosni. Zahalni tekhnichni vymohy. [chynnyi vid_2011-08-01]. – K.: Ukrmetrteststandart, 2011-02-02. – 58 s.

9. GOST 2405-88. Manometry, vakuummetry, manovakuummetry, naporometry, tyagomery i tyagonaporomery. Obshhie tekhnicheskie usloviya. – K.: Ministerstvo pryladobuduvannia, zasobiv avtomatyzatsii i system upravlinnia SRSR, 1988-12-23. – 30 s.

10. DSTU-N B V.2.3-34-2016. Nastanovy z vykonannia robit pry budivnytstvi mostiv i trub. [chynnyi vid_2017-01-01]. – K.: DP «DerzhdorNDI», 2008-26-01. – 96 s.

11. DSTU 4179-2003 Ruletky vymiriuvalni metalevi. Tekhnichni umovy. [chynnyi vid_2005-09-01] – K.: Ukrainskyi naukovo-doslidnyi instytut standartyzatsii, sertyfikatsii ta informatyky, 2003-05-13. – 8 s.

12. DSTU 427:2009 Liniiky vymiriuvalni metalevi. Tekhnichni umovy. [chynnyi vid_2009-02-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2008-02-02. – 58 s.

13. DSTU ГОСТ 166:2009 Shtanhentsyrkuli. Tekhnichni umovy (HOST 166-89 (ISO 3599-76), IDT). [chynnyi vid_2009-12-01]. – Ministerstvo verstatobudivnoi ta instrumentalnoi promyslovosti SRSR, 2008-02-02. – 17 s.

14. DSTU 577:2009 Indykatory hodynnykovoho typu iz tsinoiu podilky 0,01 mm. Tekhnichni umovy. [chynnyi vid_2009-02-01] – Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnogo rehuliuвання ta spozhyvchoi polityky, 2008-12-22. – 17 s.

15. Koval P. M. Efektyvni konstruktsii zalizobetonnykh zbirno - monolitnykh prohonovykh budov avtodorozhnikh mostiv z vykorystanniam popepredno napruzhenykh balok / P. M. Koval, A. Ye. Fal, S. V. Stoianovych // Visnyk Natsionalnogo universytetu «Lvivska politekhnika». – 2010. – № 664 : Teoriia i praktyka budivnytstva. – S. 44–52.

16. Hnidets B. H. Zalizobetonni konstruktsii z napruzhuvanymy stykamy i rehuliuванняm zusyl: monohrafiia / B. H. Hnidets. – Lviv : Vyd-vo NU

«Lvivska politehnika», 2008. – 548 s.

17. Hnidets B. H. Zbirno-monolitni zalizobetonni konstruktsii: navch. posibnyk / B. H. Hnidets. – Lviv: Vyd-vo NU «Lvivska politehnika», 2014. – 260 s.

18. Hnidets B. H. Elektrotermichne poperednie napruzhenia budivelnikh konstruktsii v umovakh budivnytstva // B. H. Hnidets, M. R. Shcheliuk, I. D. Kavatsiuk. – Lviv: SPOLOM, 2004 – 107 s.

19. Rukovodstvo po technologii izgotovleniya

predvaritel'no napryazhennykh zhelezobetonnykh konstrukcij // Nauch.-issled. inst. betona i zhelezobetona Gosstroya SSSR. – M.: Strojizdat, 1975. – 192 s.

20. Sieńko R. Systemy monitorowania konstrukcji sprężonych. // R. Sieńko, T. Howiacki, Ł. Berdnarski // Budownictwo – 2015 (Sierpień). Str. 54–57.

Надійшла до редакції 26.04.2018

В. П. Квасников, д.т.н., **Р. Н. Запоточный**, к.т.н.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассмотрено и проанализировано методы контроля за измерениями величины силы натяжения при создании предварительного напряжения строительных конструкциях. Также описаны процессы тарирования приборов и проведения оценки величины силы натяжения элемента. Надежное метрологическое обеспечение на всех этапах производства железобетонных предварительно напряженных конструкций позволит значительно уменьшить риск возникновения брака в параметрах, которые контролируются измерениями. Введение процессов автоматизации при изготовлении и контроле качества выполнения натяжения стержней для создания предварительного напряжения железобетонных конструкций уменьшит трудозатраты и время на изготовление единицы продукции.

Ключевые слова: метод измерения, сила натяжения, предварительное напряжение, контроль качества, допуск.

V. P. Kvasnikov, DSc, **R. M. Zapotochnyi**, PhD

METHODS OF MEASUREMENT OF REINFORCING BARS TENSION FORCE DURING PRODUCTION OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

The article considers methods of control for measuring the tension force of the reinforcing element for creating prestress in prefabricated reinforced concrete structures.

The basic methods of control for measuring the tension force of the reinforcing element of pre-stressed reinforced concrete are gravity method, method of measuring according to the indicators of the dynamometer, method of measuring by the indicators of the pressure gauge, method of measuring along the length of the elongation bar, method of transverse pulling of the bar and frequency method.

The processes of calibration of instruments and evaluation of the tension force of the reinforcing element are described too. The simultaneous use of two methods for measuring the pre-tension in bar secures better control of the manufacture of reinforced concrete structures. In the construction of monolithic bridges pre-stressed concrete to control of the tension bars are often used: the methods of measuring the force by the indicators of the pressure gauge and the methods of measuring the force by the indicators of the elongation of the bar. Reliable measurement assurance at all stages of the production of reinforced concrete structures pre-tension will significantly reduce the risks emergence of defect in the parameters controlled by measurements.

For control the value of bar tension in manufacturing of prefabricated stressed reinforced concrete elements it is expedient to use method of transverse pulling of the bar and frequency method.

In modern conditions for the development of enterprises for the manufacture of construction products, the actual question is the introduction of automation into production processes and control over their quality. The introduction of automation in the production process, and quality control tension barsto create pre-stressing concrete structures will reduce labor-intensive and time for produce one element. Metrological asurance for automation of execution and control processes behind the measurements of tightening forces in production of reinforcing element are actuality area of research.

Keywords: measuring method, tension force, prestressing, quality control, tolerance.

РОЗДІЛ 3

Інформаційно-вимірювальні системи і технології

УДК 531.7.08

В. П. Квасніков¹, д.т.н., **А. С. Дуднік²**, к.т.н.¹Національний авіаційний університет, м. Київ²Київський національний університет ім. Т. Шевченка, м. Київ**ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ОБ'ЄКТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН**

В даній роботі було запропоновано математичну постановку задачі визначення координат у безпроводній сенсорній мережі. Проведене дослідження математичної моделі. Метою цих досліджень був пошук нових альтернативних методів визначення відстані між об'єктами, в результаті якого запропоновано, крім класичних засобів вимірювання механічних величин, використовувати функцію локалізації об'єктів безпроводних сенсорних мереж.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа, вузол, опорний вузол, похибка вимірювання, локалізація.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-52-58

Вступ

В наш час безпроводні технології усе частіше використовуються в інформаційних вимірювальних системах. У даній статті буде описано концепцію застосування безпроводних сенсорних мереж (БСМ), як комп'ютеризованої системи вимірювання механічних величин, а саме відстані (локалізації об'єктів).

Безпроводні сенсорні мережі складаються з великої кількості сенсорних вузлів, які використовуються для контролю певної області.

Цей тип мережі, що використовує стандарт ZigBee, став популярним завдяки своєму застосуванню, яке включає в себе кілька напрямків, таких як екологічний, медичний, промисловий, побутовий, сільськогосподарський, метеорологічний.

Основні сфери застосування – це охоронні об'єкти, такі, як склади, магазини, виставки та експозиції де важливо контролювати переміщення цінних речей на обмеженій території з великою концентрацією людей (в статті досліджується площа 250х250 метрів, що відповідає середньостатистичному складу, гіпермаркету або виставковому залу) (координатна площина на рис. 5, 6, 7). Може застосовуватись в лікарнях не тільки для вимірювання температури, тиску та інших показників життєдіяльності організму, але і для контролю переміщення хворих, якщо це необхідно.

Для об'єктів, що довготривалий термін знаходяться на певній території, можуть бути виконані на твердій друкованій платі, але для випадків, що описані вище, передбачена гнучка та тонка пластикова основа, що значно здешевлює їх вартість та розширює сфери застосування (рис. 1).



Рисунок 1 – Сфери застосування технології ZigBee

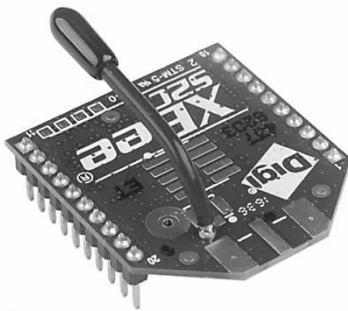
На сьогоднішній день у всьому світі усе більш пильну увагу привертають до себе «безпроводні сенсорні мережі» («Sensor Networks», далі просто сенсорні мережі). Поняття «Сенсорна мережа» з'явилося порівняно недавно (кілька років тому) але на сьогоднішній день є вже повністю сталим терміном (Sensor Network), що означає розподілену, таку що самоорганізується, яка складається з безлічі простих мініатюрних пристроїв (вузлів), кожен з яких містить мікроконтролер, приймач і автономне джерело живлення. Вузли оснащуються сенсорами, здатними реєструвати інформацію про параметри фізичних полів різної природи в місцях їх розташування (рис. 2). У звичайному стані, мережеві сенсорні модулі ZigBee знаходяться у напівактивному положенні. В цьому стані кожен з них лише відслідковує свою позицію відносно сусідніх модулів. Та коли, у порівнянні з попереднім значенням, відстань хоча б до одного з «сусідів» змінюється, мережа переходить в активний режим. У цьому стані ведеться постійний обмін інформацією про місцезнаходження кожного з

модулів мережі, а комп'ютеризована керуюча система, до складу якої входить сенсорна мережа, здійснює певні керуючі дії.

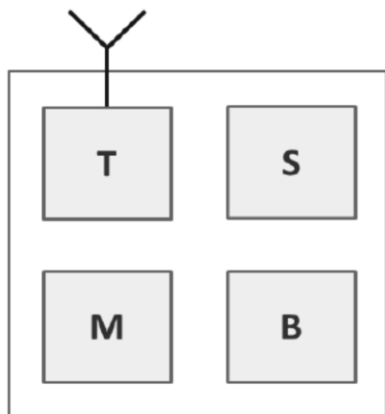
При моделюванні, у даній роботі, будуть використовуватись безпроводні сенсорні модулі XBee серії S2 S2C ZigBee (рис. 2). Відповідно до технічної документації та стандарту [1], вони мають похибки локалізації, що відображені в табл. 1.

Таблиця 1 – Залежність похибки локалізації (Δd) від відстані між сусідніми модулями (d) та похибкою визначення часу прибуття сигналу (ΔT_{reply})

$d, м$	Δd (ΔT_{reply} $y = 20$ ns), см	Δd (ΔT_{reply} $y = 200$ ns), см	Δd (ΔT_{reply} $y = 2$ μs), см	Δd (ΔT_{reply} $y = 20$ μs), см
0,1	$\pm 0,012$	$\pm 0,12$	$\pm 1,2$	± 12
1	$\pm 0,012$	$\pm 0,12$	$\pm 1,2$	± 12
10	$\pm 0,05$	$\pm 0,12$	$\pm 1,2$	± 12
100	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 1,2$	± 12
1000	± 4	± 4	± 4	± 12
10000	± 40	± 40	± 40	± 40



а)



б)

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд (а) та структура сенсорного модуля (б):

Т – радіочастотний трансивер; М – мікроконтролер; В – джерело живлення; S – сенсор

Аналіз останніх досліджень

Питанням дослідження інформаційно-вимірювальних систем, в тому числі і дослідженням технологій моделювання, управління і взаємодії комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин (зокрема відстані між об'єктами), присвячено роботи сучасних вчених, серед яких:

- роботи, що присвячені вимірюванню відстані засобами вимірювальної техніки [2–4];
- роботи, що присвячені вимірюванню відстані засобами безпроводних сенсорних мереж [5–13].

У роботі [2], пропонується використовувати Інтернет для управління вимірювальною головою, але в аналізі та корегуванні результатів вимірювання, Інтернет участі не бере. Зміст роботи [3] присвячений розробці аналогових інтерфейсів інформаційних вимірювальних систем, але в ній не розглядаються засоби збільшення їх продуктивності. В роботі [4], йдеться про корекцію похибок вимірювання через інформаційно-вимірювальну систему, але пропонується використовувати кабельний зв'язок. В роботі [5] проводиться загальний огляд існуючих технологій сенсорних мереж та лише аналізуються їх недоліки. В роботах [6, 7] розглядаються алгоритми локалізації, що можуть покращити процес вимірювання відстані між об'єктами. В роботах [8, 9] розглядаються існуючі проблеми об'єднання сенсорних мереж та шляхи їх вирішення. В роботах [10–14] йдеться про методи локалізації, що застосовують супутникові навігаційні системи, зокрема в роботі [14] також йдеться про енергозберігаючі технології для сенсорних мереж.

В той же час залишаються не вирішеними проблеми розробки алгоритмів локалізації об'єктів безпроводних сенсорних мереж, а також імітаційного моделювання процесу локалізації об'єктів з їх використанням з метою порівняння реальних позицій об'єктів та отриманих в процесі локалізації. У подальшому це допоможе проаналізувати переваги і недоліки алгоритмів локалізації та допоможе обрати найбільш оптимальний для тієї чи іншої ситуації.

Метою статті є розгляд сенсорної мережі, як різновиду комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин, на прикладі вимірювання відстані між об'єктами. Пропонується описати математичну постановку даної задачі, з метою моделювання процесу визначення відстані між об'єктами, на основі алгоритму обмеження квадрату.

Постановка задачі

В роботі вирішуються наступні задачі:

- Аналіз структурної схеми безпроводного

сенсорного вузла та математична постановка задачі визначення координат вузлів сенсорної мережі;

- Експериментальне дослідження запропонованої математичної постановки задачі локалізації об'єктів.

Виклад основного матеріалу

Дані вимірювань передаються послідовно між вузлами до центрального сервера для обчислень і прийняття рішень (через обмежені енергетичні характеристики автономних елементів живлення (В), дані вимірювань з деяких вузлів, можуть бути втрачені) [4].

Математична постановка задачі визначення координат в сенсорній мережі буде мати наступний вигляд. Припустимо в деякій області простору S розміром $S=A \times B$, випадковим чином рівномірно розподілені об'єкти безпроводної сенсорної мережі $\{i\}$, де $i=[1 \dots M]$ (рис. 3).

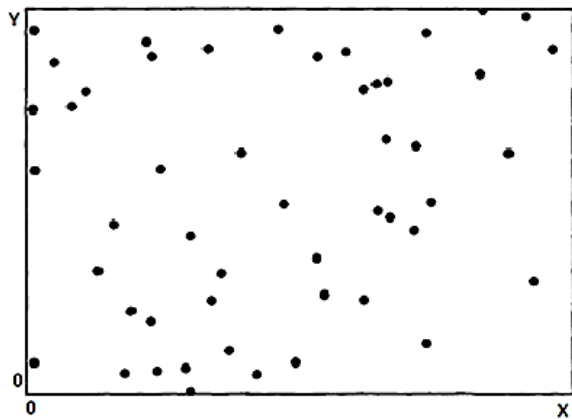


Рисунок 3 – Схема розташування вузлів БСМ в просторі

Кожен вузол (рис. 1) містить у своєму складі трансивер (Т), завдяки якому він може передавати результати вимірювань сенсора (S) на відстань d до сусідніх вузлів (вузли, що знаходяться в радіусі L), виходячи з цього (опираючись на метод визначення відстаней) точність проведених вимірювань стає відомою. Кожен вузол i накопичує інформацію з усіх сусідніх вузлів j і записує її у таблицю, що знаходиться у пам'яті мікроконтролера (М),

$$T_i = \{J, d_{ij}\},$$

де J – кількість сусідніх вузлів;

d_{ij} – виміряна відстань між вузлами i та j .

Вимірювання здійснюється за принципом визначення координат на основі часу прибуття сигналу. В цьому випадку, відстань між двома вузлами безпосередньо пропорційна часу, коли

сигнал поширюється від одного пункту до іншого. Інформаційна складова відісланого сигналу містить час відправки. Ця відстань, вимірюється за різницею часу відправки сигналу t_1 і часу досягнення ним вузла приймача t_2 . Відстань між відправником і приймачем визначається за формулою

$$d = c(t_2 - t_1),$$

де c – швидкість поширення радіосигналу (швидкість світла), t_1 і t_2 – моменти часу, коли сигнал відіслано і отримано (рис. 4).

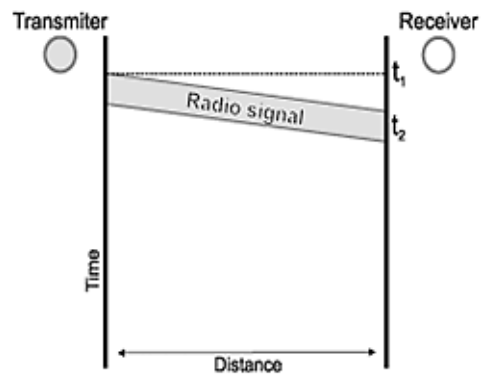


Рисунок 4 – Визначення відстані за допомогою часу прибуття сигналу

Виходячи з цих даних, потрібно визначити координати об'єктів $\vec{r}_i$. Іншими словами, потрібно вирішити систему рівнянь

$$\vec{r}_i - \vec{r}_j = \vec{d}_{ij},$$

де d_{ij} – виміряна відстань від вузла i до вузла j .

Для вирішення задачі локалізації пропонується метод обмеження квадрату (Bounding Box). Приклад цього методу зображений рисунку 5 [14].

Припустимо, що найвірогідніше розміщення вузла – центральна точка серед усіх опорних вузлів, ми можемо обчислити позицію невідомого вузла без потреби оцінки відстаней або кутів, але тільки при використанні методу на основі дальності сигналу.

Для кожного i -го опорного вузла, обмежуючий квадрат, визначений як квадрат з центром в позиції цього вузла (x_i, y_i) зі сторонами розміру $2d_i$ (де d_i – вимірювана відстань), з координатами:

$$(x_i - d_i, y_i - d_i) \text{ та } (x_i + d_i, y_i + d_i).$$

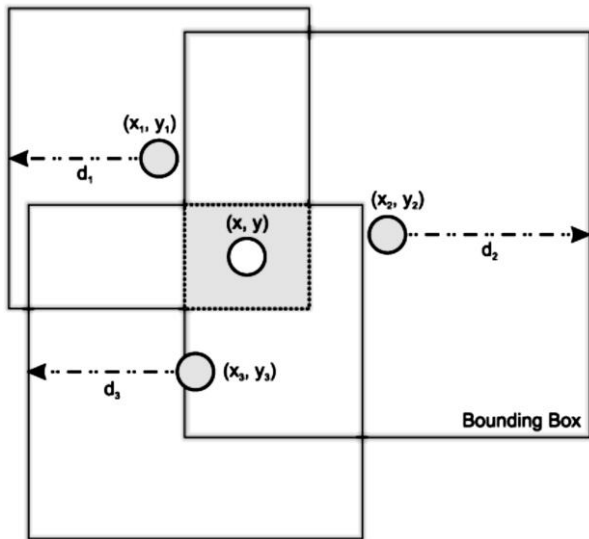


Рисунок 5 – Метод Bounding Box

Перетин усіх обмежуючих квадратів може бути обчислений без потреби обчислень з плаваючою комою, беручи максимально низькі і мінімально високі координати усіх зв'язуючих квадратів:

$$(\max(x_i - d_i), \max(y_i - d_i)) \text{ та}$$

$$(\min(x_i + d_i), \min(y_i + d_i)),$$

отримуємо заштрихований прямокутник, який можна побачити на рисунку 4. Позиція невідомого вузла потім обчислюється як центр перетину усіх зв'язуючих квадратів:

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left(\frac{\max(x_i - d_i) + \min(x_i + d_i)}{2}, \frac{\max(y_i - d_i) + \min(y_i + d_i)}{2} \right).$$

Цей метод є найбільш простим з точки зору обчислювальних ресурсів та необхідної інформації. Тільки операції з плаваючою комою (де n – кількість опорних вузлів) обов'язкові для обчислення позиції. Головне щоб кількість опорних вузлів була невеликою. Це пов'язано з тим, що в них, на відміну від простих вузлів, міститься вбудований GPS-модуль. Останній отримує свої координати на основі даних супутників. Такі дані для простих вузлів вважаються первинними, від них вони відштовхуються в подальшому процесі локалізації. Наявність більшої кількості модулів, хоч і підвищує точність локалізації, але робить таку мережу значно дорожчою, що знижує економічний ефект від використання системи. Тому більш економічно вигідним є пошук оптимальних алгоритмів визначення відстані, ніж купівля додаткових опорних вузлів.

На основі описаного математичного апарату у системі *MATLAB* побудовано модель сенсорної мережі M з кількістю вузлів $i = 200$ (отримаємо $M = [1 \dots 200]$). Число опорних вузлів складало 10 % ($B = 20$). Відстань до кожного сусіднього вузла (від i до j) $d_{ij} = 35$ м – фіксований радіус передавання (d_{ij} – виміряна відстань від вузла i до сусіднього вузла j , як це було визначено вище. Фіксований радіус передавання і виміряна відстань від вузла i до сусіднього вузла j це мають бути різні. При моделюванні в системі *MATLAB*, вузли на координатній площині розподілялись за рівномірним законом розподілу. Після чого відбувається обчислення відстані від опорних вузлів, позиція яких є відомою, до сусідніх, і вираховуються їх приблизні координати. Далі, відповідно до топології (рис. 6), ця інформація надходить до сусідніх вузлів де враховується для визначення вже їх позиції. При цьому точність локалізації вузла залежить від кількості опорних вузлів поряд з ним, а також від його віддаленості від сусідніх вузлів. Тому результати локалізації сусіднього з опорним вузла будуть значно точніші, ніж того, шлях до якого від опорного містить кілька проміжних вузлів.

На рисунку 6 зображено локалізовану мережу, у вигляді впорядкованої топології, а також визначено всі вузли в радіусі дії.

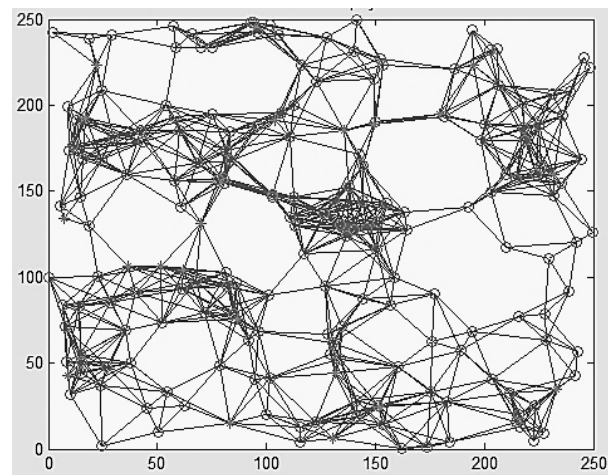


Рисунок 6 – Топологія мережі

На рисунку 7 зображено розміщення 200 вузлів, розташування яких генерується випадковим чином. Знаком схожим на «*» зображено опорні вузли сенсорної мережі.

На рисунку 8 різницю у визначенні координат розташування вузлів зображено у вигляді відстані між кружечками (розташування вузла після локалізації) та закінченнями ліній (реальне розташування вузла). Це краще видно при співставленні рисунків 7 і 8.

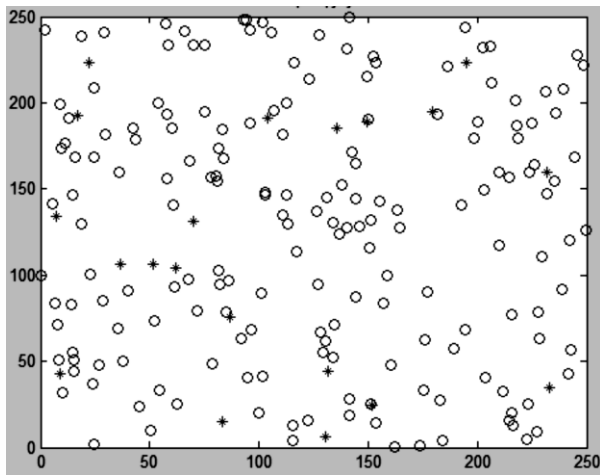


Рисунок 7 – Розташування вузлів

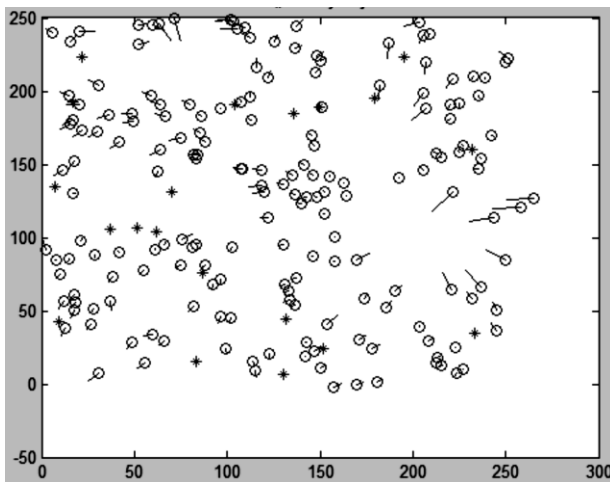


Рисунок 8 – Порівняння реальних позицій вузлів (позначено лініями) та результатів локалізації (позначено кружечками)

При моделюванні, за допомогою алгоритму на вбудованій мові *MATLAB*, програмується математичний апарат алгоритму обмеження квадрату, що описаний вище. Проходить імітація процесу визначення відстані шляхом порівняння часу прибуття сигналу. Час прибуття сигналу моделюється відносно реальної відстані між вузлами, розташування яких було визначено на основі рівномірного закону розподілу. Також до часу прибуття сигналу, в залежності від відстані між вузлами, довільним чином вноситься одна з чотирьох похибок ($\Delta Treply$) (табл. 1). У подальших дослідженнях планується отримати теоретичні оцінки похибок вимірювань різними методами, провести експерименти з цією моделлю, при збільшенні кількості вузлів, а також із застосуванням різних алгоритмів визначення відстані між вузлами, з метою оцінки похибки локалізації, при застосуванні кожного з них. Також, для взаємоперевірки результатів, буде запропоновано включити до складу комп'ютеризованої сис-

теми вимірювання відстані між об'єктами електронні тахеометри та лазерні далекоміри, під'єднавши їх до сенсорної мережі.

Висновки

Дістало подальшого розвитку використання комп'ютеризованих систем вимірювання на основі безпроводних сенсорних мереж, у якості методу вимірювання механічних величин, що покращує процес локалізації об'єктів.

Запропоновано математичну постановку задачі визначення координат у сенсорній мережі, що входить до складу комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин.

Визначено задачі подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers / Inc., IEEE Std. 802.15.4- 2003, IEEE Standard for Information Technology – telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). New York: IEEE Press. – 2016. – P. 250.
2. Квасніков В. П. Концепція повірки координатно-вимірювальних машин через Інтернет / В. П. Квасніков, Т. М. Хаєйн // Метрологія та прилади. – 2013. – № 6. – С. 48–53.
3. Квасніков В. П. Способи побудови аналогових інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем механічних величин / В. П. Квасніков, Д. П. Орнатський, Т. П. Нічікова, І. В. Гаврилов // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – 2013. – № 1. – С. 164–169.
4. Орнатський Д. П. Аналоговий інтерфейс для дистанційних вимірювань переміщень диференціально-трансформаторними індуктивними датчиками / Д. П. Орнатський, М. В. Михалко, О. І. Осмоловський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 1/2 (67). – С. 52–57.
5. Akyildiz I. F. Wireless sensor networks: A survey. Computer Networks // IEEE Communications Magazine. – 2008. – P. 250.
6. Boukerche A., Oliveira H. Towards an integrated solution for node localization and data routing in sensor networks // In ISCC'17: 22th IEEE Symposium on Computers and Communications, Aveiro, Portugal, July 2017. – P. 449–454.
7. Boukerche A., Oliveira H., Nakamura E., A novel location-free greedy forward algorithm for wireless sensor networks // In Proceedings of the

2008 IEEE International Conference on Communications (ICC 2008), Beijing, China, May 2008.

8. Brooks R. R., Iyengar. S. S. Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications / R. R. Brooks, S. S. Iyengar // Prentice Hall, Englewood Cliffs. – NJ. – 2009. – P. 120.

9. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 14th edition // Springer-Verlag, Berlin. – 2013.

10. Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks // In Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00), Boston, MA, August 2008, ACM Press, New York, P. 56–67.

11. Niculescu D., Nath B. Ad hoc positioning system (aps) using aoa // I Proceedings of INFOCOM 2009, San Francisco, CA. – 2009. – P. 238.

12. Priyantha N., Balakrishnan H., Teller S. The cricket compass for context aware mobile applications // In 17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. Rome, Italy, July 2016. – P. 325.

13. Savvides A., Han C. Strivastava M. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors // In 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2010. – P. 166–179.

14. Yu Y., Govindan R., Estrin D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. Technical Report CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department, 2011.

15. Simic S., Sastry S. Distributed localization in wireless ad hoc networks. //Technical Report UCB/ERL M02/26, UC Berkeley. – 2015.

16. He T., Huang C., Blum B. Range-free localization schemes for large scale sensor networks // In MobiCom '09: Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, New York, 2016, ACM Press, New York. – P. 81–95.

References

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers / Inc., IEEE Std. 802.15.4-2003, IEEE Standard for Information Technology – telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). New York: IEEE Press. – 2016. –

P. 250.

2. Kvasnikov V. P. Kontsepsiia povirky koordynatno-vymiriuvalnykh mashyn cherez Internet / V. P. Kvasnikov, T. M. Khaein // Metrolohiia ta prylady. – 2013. – # 6. – S. 48–53.

3. Kvasnikov V. P. Sposoby pobudovy analohovykh interfeisiv informatsiino-vymiriuvalnykh system mekhanichnykh velychyn / V. P. Kvasnikov, D. P. Ornatskyi, T. P. Nichikova, I. V. Havrylov // Mizhnarodnyi naukovotekhnichniy zhurnal «Vymiriuvalna ta obchysluvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh». – 2013. – # 1. – S. 164–169.

4. Ornatskyi D. P. Analohovyi interfeis dlia dystantsiinykh vymiriuvan peremishchen dyferentsialno-transformatornymy induktyvnymy datchykamy / D. P. Ornatskyi, M. V. Mykhalko, O. I. Osmolovskiy // Skhidno-Yevropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii. – 2014. – # 1/2 (67). – S. 52–57.

5. Akyildiz I. F. Wireless sensor networks: A survey. Computer Networks // IEEE Communications Magazine. – 2008. – P. 250.

6. Boukerche A., Oliveira H. Towards an integrated solution for node localization and data routing in sensor networks // In ISCC '17: 22th IEEE Symposium on Computers and Communications, Aveiro, Portugal, July 2017. – P. 449–454.

7. Boukerche A., Oliveira H., Nakamura E., A novel location-free greedy forward algorithm for wireless sensor networks // In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications (ICC 2008), Beijing, China, May 2008.

8. Brooks R. R., Iyengar. S. S. Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications / R. R. Brooks, S. S. Iyengar // Prentice Hall, Englewood Cliffs. – NJ. – 2009. – P. 120.

9. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 14th edition // Springer-Verlag, Berlin. – 2013.

10. Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks // In Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00), Boston, MA, August 2008, ACM Press, New York, P. 56–67.

11. Niculescu D., Nath B. Ad hoc positioning system (aps) using aoa // I Proceedings of INFOCOM 2009, San Francisco, CA. – 2009. – P. 238.

12. Priyantha N., Balakrishnan H., Teller S. The cricket compass for context aware mobile applications // In 17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. Rome, Italy, July 2016. – P. 325.

13. Savvides A., Han C. Strivastava M. Dy-

namic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors // In 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2010. – P. 166–179.

14. Yu Y., Govindan R., Estrin D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks.

15. Simic S., Sastry S. Distributed localization in wireless ad hoc networks. //Technical Report

UCB/ERL M02/26, UC Berkeley. – 2015.

16. He T., Huang C., Blum B. Range-free localization schemes for large scale sensor networks // In MobiCom '09: Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, New York, 2016, ACM Press, New York. – P. 81–95.

Надійшла до редакції: 27.04.2018

В. П. Квасников, д.т.н., **А. С. Дудник**, к.т.н.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В данной работе была предложена математическая постановка задачи определения координат в беспроводной сенсорной сети. Проведено исследование поставленной задачи. Целью этих исследований был поиск новых альтернативных методов определения расстояния между объектами, в результате которого было предложено, кроме классических средств измерения механических величин, использовать функцию локализации объектов беспроводных сенсорных сетей.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, узел, стационарный узел, погрешность, локализация.

V. P. Kvasnikov, DSc, **A. S. Dudnik**, PhD

SCIENTIFIC BASIS OF EVALUATING THE DISTANCE BETWEEN OBJECTS BY MEANS OF COMPUTERIZED SYSTEMS FOR MEASUREMENT OF MECHANICAL QUANTITIES

Nowadays, wireless technologies are increasingly used in information measuring systems. The article will describe the concept of using wireless sensory networks (WSN) as a computerized system for measuring mechanical quantities, namely, the distance (object localization). Wireless sensor networks consist of a large number of sensory nodes that are used to control a particular area. This type of network has become popular due to its application, which includes several areas, such as environmental, medical, industrial, household, agricultural, and meteorological.

In this article it is proposed to consider sensor networks as a kind of computerized systems for measuring mechanical quantities, for example, measuring the distance between objects and analyzing the measurement error. It is proposed to describe the mathematical model of this problem, as well as formulate the basic definitions of system elements.

In this work, a structural diagram of the measuring device of a wireless sensor network, consisting of a sensor, a microcontroller, a power element and a transceiver, was constructed. The mathematical model of determination of coordinates in a wireless sensor network is proposed, which includes the distance between adjacent nodes, the number of sensor nodes forming the system of equations and the distribution function. A number of definitions have been introduced that characterize the process of establishing the current state of the node of the sensor network, namely: Defined nodes, Anchor nodes, Units of additional information, Localization problem. The criteria for classification of localization algorithms are defined, namely: data identification, data correlation, node addressing, network management, geographic algorithms. A study of a mathematical model was conducted. The purpose of these studies was to find new alternative methods for determining the distance between objects, which, in addition to the classical means of measuring mechanical quantities, was proposed to use the function of localization of objects of wireless sensor networks.

Keywords: wireless sensor network, node, anchor, error, localization.

В. В. Кузавков¹, д.т.н., П. В. Хусаїнов¹, к.т.н., О. Г. Янковський², к.т.н.

¹Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ

²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОДНОТИПНИХ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ

Розвиток напряму технічної діагностики пов'язаний з впровадженням у систему технічного обслуговування різних методів управління. Одним з таких методів є прогностичний метод, який ґрунтується на прогнозуванні виникнення тієї чи іншої ситуації.

У статті розглянуті діагностичні методи (ймовірнісний метод і метод чисельного аналізу) прогнозування технічного стану об'єктів радіоелектронного устаткування (озброєння), які потрапляють під визначення «однотипні програмно-апаратні засоби».

Ключові слова: діагностика, прогнозування, ймовірнісний метод прогнозування, прогнозування методами чисельного аналізу.

DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-59-65

Вступ

За допомогою аналізу вибраної сукупності діагностичних параметрів (ознак) устаткування можна не лише зробити висновок про поточний стан технічний об'єкта контролю, але й передбачити (з певною ймовірністю) як довго цей стан може продовжитися. Тобто, є можливість передбачити знаходження радіоелектронного об'єкта (РЕО) в заданому стані впродовж певного інтервалу часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вказане завдання вирішується методами прогнозування технічного стану [1–3]. Для радіоелектронних об'єктів, які потрапляють під визначення «однотипні програмно-апаратні засоби» прогнозування стану є одним з найбільш перспективних завдань, яке дозволяє не лише передбачити момент виходу об'єкта (чи його складовій частині) з працездатного стану, але і визначити періодичність проведення операцій технічного обслуговування, а також використати отримані результати для створення алгоритмів контролю технічного стану [4–6]. Результати прогнозу також використовуватимуться для вирішення ще одного завдання технічної діагностики – пошуку місця відмови (деградації якості) [7, 8]. Враховуючи значну розмірність об'єкта контролю (як просторову так і кількісну) рішення завдань технічної діагностики неможливе без використання автоматизованих систем діагностування з елементами підтримки прийняття рішення.

Прогноз, отриманий таким чином, призведе до підвищення ефективності системи технічного обслуговування, підвищення (забезпеченню заданого рівня) показників якості технічного за-

безпечення, значної економії матеріальних та фінансових коштів [9, 10].

Важливість прогнозування технічного стану об'єкта контролю актуальна задача. Прогноз (навіть ймовірнісний) дозволяє запобігти відмові устаткування до моменту його виникнення. Вартість витрат, пов'язаних з виникненням відмови під час бойової роботи, у багато разів перевищує витрати на розробку та впровадження системи діагностування, яка здійснює прогнозування технічного стану [11].

Постановка завдання

При проведенні прогнозування використовуються не лише дані, отримані на момент контролю, але й результати попередніх вимірювань. Необхідність накопичення результатів попередніх вимірювань та результатів їхньої статистичної обробки вказують на застосування в системах технічного контролю (діагностування) запам'ятовуючих пристроїв [3]. При цьому зберігання в пам'яті інформації про стан об'єкта контролю за увесь період його експлуатації не актуальне з низки причин.

Використання результатів вимірювань, що здійснені до проведення ремонту (чи після проведення відновлення ресурсу), спільно з результатами, які були отримані після його проведення, в цілях прогнозування може привести до неправильного прогнозу і, як наслідок, знизити достовірність усіх результатів діагностування. Це обумовлено тим, що заміна раніш несправних елементів приведе до коригування закону зміни контрольованих параметрів в часі.

Виходячи з цього, метою досліджень є підвищення якості прогнозування технічного стану об'єктів радіоелектронного устаткування (озбро-

ення) за рахунок використання відповідних методів прогнозування.

Виклад основного матеріалу

Збереження великої кількості даних може негативно впливати на роботу діагностичної системи. Розглянемо випадок представлений на рис. 1.

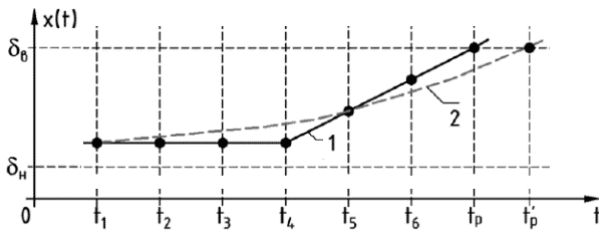


Рисунок 1 – Зміна контрольованого параметра в часі: 1 – дійсний закон зміни контрольованого параметра; 2 – обчислений закон зміни параметра при прогнозуванні

На ділянці часу від t_1 до t_4 діагностичний параметр $x(t)$ визначає працездатність системи та знаходиться в стабільному стані, але у момент часу t_4 , його величина починає змінюватися (наприклад, внаслідок стрибка напруги в мережі). Вихід параметра за межі допуску повинен статися у момент часу t_p , з настанням якого підконтрольна система переходить у непрацездатний стан.

При апроксимації всіх експериментально отриманих даних однією функціональною залежністю від часу (штрихова лінія рис. 1) і проведення подальшого аналізу можуть бути отримані невірні результати прогнозування. Згідно з отриманими результатами вихід діагностичного параметра за межі встановлених допусків станеться у момент часу t'_p , який на часовій осі знаходиться далі, ніж дійсний момент виходу об'єкта контролю з працездатного стану [9].

Похибка прогнозування в цьому випадку виражатиметься виглядом вибраної апроксимуючої функціональної залежності. Між тим, якщо розбити даний інтервал часу на дві ділянки (перший від t_1 до t_4 , а другий від t_4 до t_6), і аналізувати дані, які отримані після виникнення несправності, то точність прогнозування зростає.

Таким чином, зайва кількість застарілих даних може негативно позначатися на ефективності роботи системи діагностування (у режимі прогнозування), тому дані вимагають постійного оновлення. Необхідність оперативної зміни даних, які зберігаються в пам'яті, вимагає застосування пам'яті з можливістю багаторазового перезапису інформації і довільним доступом до тих, які зберігаються.

Відомі методи прогнозування можна поділити на дві великі групи. До першої групи відносяться методи, які використовують математичний апарат теорії випадкових функцій (ймовірнісні методи прогнозування), а до другої – методи, в основі яких лежить математичний апарат чисельного аналізу. Крім того, використовуються також і комбіновані методи прогнозування, які поєднують в собі обидві групи.

Будь-який метод прогнозування є ймовірнісним, оскільки точно передбачити момент виходу контрольованого параметра (діагностичного параметра) за межі встановлених допусків не представляється можливим. Говорити про прогнозування моменту втрати працездатності (або функціонування) можливо лише з певною ймовірністю. Проте, кожна група методів має свої специфічні особливості, тому розгляд обох груп доцільно проводити окремо.

Розгляд методів прогнозування технічного стану почнемо з ймовірнісних методів. Практично всі процеси, які відбуваються в РЕО, у тому числі і виникнення різних відмов, залежать від чинників обумовлених внутрішніми властивостями апаратури і зовнішніми умовами функціонування.

Зміна параметрів (в часі) підкоряється випадковим законам, і самі діагностичні параметри є випадковими величинами. Тому методи ймовірнісного прогнозування [2, 10, 11] дозволяють визначити ймовірність збереження працездатного стану об'єкта технічного контролю (або ймовірність настання непрацездатного стану).

У простих випадках, коли є дані лише про поточний технічний стан, можна передбачити, що в системі виявляється експоненціальний закон розподілу параметрів надійності. Ймовірність безвідмовної роботи в подальший часовий інтервал часу визначається виразом

$$P = \exp(-t/t_0) = \exp(-\lambda t), \quad (1)$$

де t_0 – середній час безвідмовної роботи, $\lambda = 1/t_0$ – інтенсивність відмов.

Такий підхід вирішення поставленої задачі не здатний надати високу достовірність прогнозування. Більш досконалі методи використовують функції розподілу ймовірності знаходження параметрів в заданому діапазоні в певний момент часу [1]. Нехай діагностичний параметр $U(t)$ є деякою випадковою величиною U з відомим законом розподілу (рис. 2)

$$F_t(U) = [P(U(t) < U)] \quad (2)$$

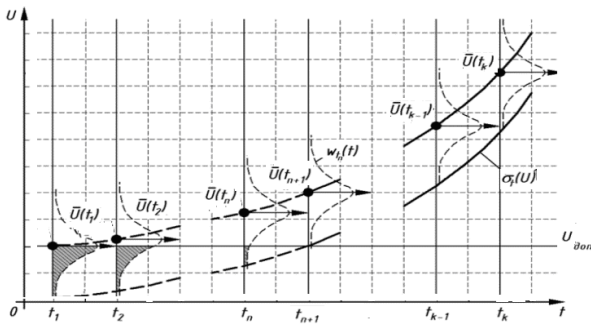


Рисунок 2 – Прогнозування технічного стану імовірнісними методами

Щільність розподілу ймовірності параметра $U(t)$:

$$w_t(U) = dF_t(U)/dU. \quad (3)$$

Шукана ймовірність виходу параметра $U(t)$ за межі встановленого допуску U_{don} у момент часу t при цьому визначається виразом:

$$P[U(t) < U_{don}] = \int_{-\infty}^{U_{don}} w_t(U) dU. \quad (4)$$

Щільність ймовірності (3) випадкової величини U може підкорятися різним законам розподілу залежно від конкретного періоду експлуатації, умов роботи устаткування або властивостей конкретних елементів.

На етапі прироблення відмови радіоелектронного устаткування часто підкоряються розподілу Вейбула (або експоненціальному розподілу, який можна розглядати як окремий випадок розподілу Вейбула) [7].

Поведінка параметрів РЕО з вираженням ефектом старіння або зношування елементів достатньо добре описує розподіл Релея. В період нормальної експлуатації у ряді випадків спостерігається або нормальний, або експоненціальний розподіл щільності ймовірності, а також розподіл Пуассона (буває рідше – у тому випадку, коли потік відмов описується елементарними функціями). Якщо щільність ймовірності підкоряється нормальному розподілу, то:

$$w_t(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_t^2(U)}} \exp\left\{-\frac{[U(t) - \bar{U}(t)]^2}{2\pi\sigma_t^2(U)}\right\}, \quad (5)$$

де $\bar{U}(t)$ – математичне сподівання випадкової величини (середнє значення), а величина $\sigma_t(U)$ – її середньо квадратичне відхилення.

Оскільки значення параметра беруться не у всі моменти часу, то безперервну випадкову ве-

личину можна приблизно замінити дискретною, при цьому математичне сподівання і дисперсію випадкової величини можна визначити за формулами:

$$\begin{aligned} \bar{U}(t) &= \sum_{i=1}^k U_i P_i; \\ \sigma_t^2(U) &= \sum_{i=1}^k (U_i - \bar{U})^2 P_i, \end{aligned} \quad (6)$$

де P_i – ймовірність відхилення випадкової величини від її середнього значення.

У загальному випадку ймовірнісні методи прогнозування трудомісткі, важко піддаються алгоритмізації. Крім того, вони вимагають знання статистичних характеристик РЕО, що не завжди виявляється можливим [10, 11].

Звісно, можливо застосувати аналітичні методи розрахунку статистичних параметрів, проте і в цьому випадку користуватися даними методами не завжди зручно. Крім того, можливе істотне зниження достовірності отриманих результатів прогнозування, що приведе до зниження загальної ефективності діагностичної системи в цілому, особливо, якщо дані прогнозування використовуються для корекції алгоритмів визначення поточного технічного стану або пошуку місця відмови. Внаслідок цього, при вирішенні завдань прогнозування технічного стану широко використовуються методи другої групи, до яких відносяться методи прогнозування на основі аналізу визначальних параметрів за допомогою математичного апарату чисельного аналізу (такі, як методи апроксимації експериментальних даних).

Дані методи вільні від більшості недоліків, властивих імовірнісним методам прогнозування, та їхнє використання в цілях прогнозування представляється перспективним. Достовірність результатів прогнозування технічного стану, отриманих за допомогою методів чисельного аналізу, буде вищою. Методи чисельного аналізу дозволяють провести прогнозування технічного стану без врахування ймовірностей відмов елементів, які входять до складу об'єкта діагностування (та інших імовірнісних характеристик РЕО).

На рис. 3 наведено графічне представлення варіанту прийняття рішення про технічний стан об'єкта контролю за допомогою двовимірного представлення значень (та меж) енерго-часового діагностичного параметра [4, 11].

На рисунку позначено: ε_v^i – значення кореляційної функції при співставленні контрольного та фактичного стану; δ_v^i – середній час очікування завершення відповіді (відклику на перевірений

тест); $\bar{\xi}_v^i$ – значення енергетично-часового діагностичного параметра.

Наявність даних про попередній стан при цьому є обов'язковою умовою. Причому є деякий парадокс. З одного боку, чим більше маєсся даних про попередній стан об'єкта, тим точніше можна передбачити його подальший стан. А з іншого – надмірність даних може сприяти збільшенню помилки прогнозування.

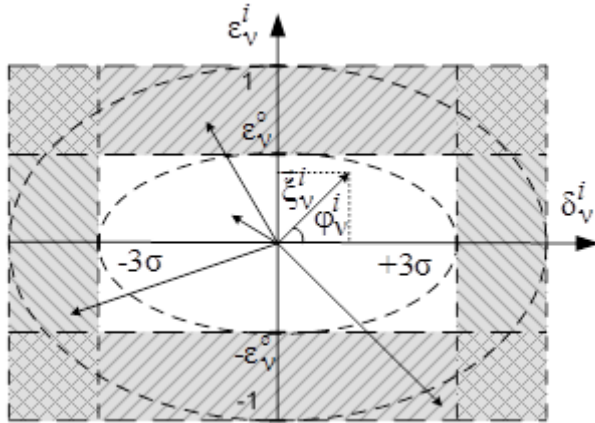


Рисунок 3 – Межі зміни (вектор станів) діагностичного параметра в просторі енергія-час

Наприклад, на рис. 4. представлений графік зміни в часі $x(t)$ одного з діагностичних параметрів об'єкта $x(t)$. Як видно з рисунку, функція $x(t)$ містить детерміновану і випадкову складові. Випадкова складова може бути обумовлена неточністю вимірювань діагностичного параметра, випадковими короткочасними змінами параметрів елементів в апаратурі, зміною умов експлуатації (наприклад, температури зовнішнього середовища), внутрішніми або зовнішніми шумами, а також рядом інших чинників. Власне, для цілей прогнозування інтерес представляє, в основному, детермінована складова функції зміни діагностичного параметра. Якщо взято мало експериментальних даних, то виявлення детермінованої складової параметра ускладниться, оскільки не компенсуватиметься випадкова складова параметра, яка призводить до похибки обчислень.

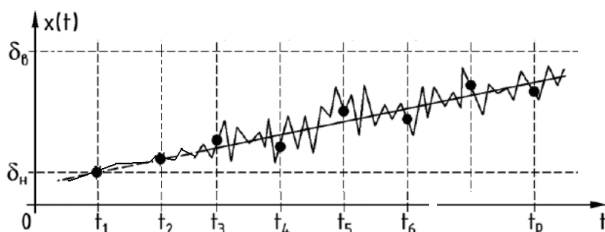


Рисунок 4 – Визначення часу працездатності об'єкта контролю через аналіз одного з параметрів

Розглянемо застосування методів чисельного аналізу для прогнозування технічного стану. Наприклад, на рис. 3 показано визначення часу працездатності об'єкта контролю t_p шляхом аналізу змін діагностичного параметра. Результати вимірювань апроксимуються деякою залежністю, яка дозволяє проводити екстраполяцію даної функції та знайти момент часу, при якому це значення виходить за межі допусків δ_b та δ_n .

В даному випадку результати шістьох вимірювань апроксимуються лінійною залежністю.

Момент часу, в який заданий параметр виходить за межі встановлених допусків, однозначно визначає час працездатності об'єкта діагностування (визначення моменту виходу контролюваного параметра за межі здійснюється тільки з певною мірою достовірності). Якщо є додаткова інформація про стан об'єкта, наприклад, похідні за часом від діагностичних параметрів, або значення діагностичних параметрів під час попередніх операцій діагностування, то прогнозування технічного стану об'єкта можливо здійснити з більшою мірою достовірності.

Для задач прогнозування часто застосовують поліноми Лагранжа і Ньютона (останній можна розглядати як окремий випадок полінома Лагранжа при використанні відліків шуканої функції через рівні проміжки часу).

З методів чисельного аналізу [7] можна виділити декілька широко відомих методів апроксимації експериментальних даних, зокрема, метод найменших квадратів.

Нехай за даними вимірювань є декілька експериментальних точок, іншими словами два вектори вхідних даних – значення аргументу і самої функції:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= X \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}; \\ \bar{Y} &= Y \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_N\}.\end{aligned}\quad (7)$$

Згідно з положеннями теорії ймовірностей, ці точки краще всього апроксимує функція, яка має мінімальний квадрат відхилення від тих точок, які відповідають експериментальним даним. Нехай апроксимуюча функція $y=f(x)$. Тоді

$$\sum_{i=1}^N [y_n - f(x_n)]^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для детального розгляду методу оберемо функцію виду

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x^1 + a_0 x^0. \quad (9)$$

Для завдань інтерполяції степінь поліному (9) беруть вище, оскільки в цьому випадку експериментальні дані точніше описуються [2, 5, 6].

4. Кузавков В. В. Оцінка технічного стану мережі однотипних програмно-апаратних засобів / В. В. Кузавков, П. В. Хусаїнов, О. С. Ваврічен // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер.: Військові та технічні науки. – Хмельницький, 2017. – № 3(73). – С. 314–323.

5. Субач И. Ю. Структура системы поддержки принятия решений дежурного администратора информационной сети / И. Ю. Субач, П. В. Хусаїнов, В. А. Мищенко, Д. Э. Прусов // Вісник Національного авіаційного університету. – 2009. – Том 3, № 40. – С. 195–199.

6. Кузавков В. В. Особливості застосування автономної автоматизованої системи діагностування для систем зі зворотнім зв'язком / В. В. Кузавков // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2015. – Вип. 50. – С. 45–52.

7. Поляков В. А. Основы технической диагностики: учебное пособие для студентов вузов / В. А. Поляков. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 118 с.

8. Бакнелл Д. М. Фундаментальные алгоритмы и структуры данных в Delphi. – Санкт-Петербург [и др.]: Изд-во Питер. Серия «Библиотека программиста», 2006. – 560 с.

9. Кузавков В. В. Ефективність автономної автоматизованої системи діагностування радіоелектронного обладнання / В. В. Кузавков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1. – С. 97–100.

10. Креденцер Б. П. Методика оцінки ефективності застосування автономного автоматизованого пристрою діагностування в системі військового ремонту / Б. П. Креденцер, М. К. Жердев, В. В. Кузавков // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – Київ, 2016. – Вип. 1. – С. 81–87.

11. Жердев М. К. Порівняльна оцінка достовірності діагностування методів компактного тестування / М. К. Жердев, Б. П. Креденцер, В. В. Кузавков // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – Київ, 2016. – Вип. 1. – С. 35–40.

References

1. Malysenko Yu. V. *Texnicheskaya diagnostika: uchebnoe posobie* / Yu. V. Malysenko, L. F. Stycyura, V. I. Sayapin. – Vladivostok: Izd-vo VGUE'S, 2010. – 302 s.

2. Glushhenko P. V. *Texnicheskaya diagnostika. Modelirovanie v diagnostirovanii i prognozirovanii sostoyaniya texnicheskix ob"ektov* / P. V. Glushhenko. – 2-e izd. – M.: Vuzovskaya kniga, 2008. – 248 s.

3. Strelbitskyi M. A. Otsinka efektyvnosti

metodiv otrymannia ta obrobky diahnostychnoi informatsii / M. A. Strelbitskyi, V. V. Kuzavkov // Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Ser.: Viiskovi ta tekhnichni nauky. – Khmelnytskyi, 2014. – # 2. – S. 277–289.

4. Kuzavkov V. V. Otsinka tekhnichnoho stanu merezhi odnotypnykh prohramno-aparatnykh zasobiv / V. V. Kuzavkov, P. V. Khusainov, O. S. Vavrichen // Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Ser.: viiskovi ta tekhnichni nauky. – Khmelnytskyi, 2017. – # 3(73). – S. 314–323.

5. Subach I. Yu. Ctruktura sistemy podderzhki prinyatiya reshenij dezhurnogo administratora informacionnoj seti / I. Yu. Subach, P. V. Xusainov, V. A. Mishhenko, D. E'. Prusov // Visnyk Natsionalnoho aviatsiinoho universytetu. – 2009. – Tom 3, # 40. – S. 195–199.

6. Kuzavkov V. V. Osoblyvosti zastosuvannia avtonomnoi avtomatyzovanoi systemy diahnostuvannia dla system zi zvorotnim zviazkom / V. V. Kuzavkov // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – 2015. – Vyp. 50. – S. 45–52.

7. Polyakov V. A. Osnovy texnicheskoj diagnostiki: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov / V. A. Polyakov. – M.: INFRA-M, 2013. – 118 s.

8. Baknell D. M. Fundamental'nye algoritmy i struktury dannyx v Delphi. – Sankt-Peterburg [i dr.]: Izd-vo Piter. Seriya «Biblioteka programmista», 2006. – 560 s.

9. Kuzavkov V. V. Efektyvnist avtonomnoi avtomatyzovanoi systemy diahnostuvannia radioelektronnoho obladnannia / V. V. Kuzavkov // Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy. – 2015. – # 1. – S. 97–100.

10. Kredentser B. P. Metodyka otsinky efektyvnosti zastosuvannia avtonomnoho avtomatyzovanoho prystroiu diahnostuvannia v systemi viiskovoho remontu / B. P. Kredentser, M. K. Zherdiev, V. V. Kuzavkov // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu telekomunikatsii ta informatyzatsii. – Kyiv, 2016. – Vyp. 1. – S. 81–87.

11. Zherdiev M. K. Porivnialna otsinka dostovirnosti diahnostuvannia metodiv kompaktnoho testuvannia / M. K. Zherdiev, B. P. Kredentser, V. V. Kuzavkov // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu telekomunikatsii ta informatyzatsii. – Kyiv, 2016. – Vyp. 1. – S. 35–40.

Надійшла до редакції 18.05.2018

В. В. Кузавков, д.т.н., П. В. Хусаинов, к.т.н., О. Г. Янковский, к.т.н.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОДНОТИПНЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ

Развитие направления технической диагностики связано с внедрением в систему технического обслуживания разных методов управления. Одним из таких методов является прогностический метод, который основывается на прогнозировании возникновения той или иной ситуации.

В статье рассмотрены диагностические методы (вероятностный метод и метод численного анализа) прогнозирования технического состояния объектов радиоэлектронного оборудования (вооружения), которые попадают под определение «однотипные программно-аппаратные средства».

Ключевые слова: диагностика, прогнозирование, вероятностный метод прогнозирования, прогнозирование методами численного анализа.

V. V. Kuzavkov, DSc, P. V. Khusainov, PhD, O. G. Iankovskii, PhD

METHODS OF TECHNICAL STATE PREDICTION FOR HARDWARE AND SOFTWARE OF THE SAME TYPE

Development of technical diagnostics direction is related to introduction in the system of technical maintenance the different control methods. One of these methods is the prediction method which is based on predicting the occurrence of the origin of some situation. As a result of analysis of the selected test parameters equipment may not only assess the current state of technical control facility but with a certain probability to predict how long this technical state may continue. An important condition for the adoption of truly effective solutions for a technical diagnostics is the presence and practical application of these parameters to reflect actual (physical) state of controlled property.

In the prediction process are used not only data obtained at the time of control but also the results of previous measurements. The need to accumulate the results of previous measurements and the results of their statistical analysis indicates a need for systems engineering controls storage devices. One of the properties is the speed of reading and rewriting of information. There is no need to store information about the state of the object of control over the entire period of its operation.

Prediction of the technical state of the control object is an actual problem. Even a probabilistic prediction helps in preventing the equipment failure before the moment of its occurrence. The amount of expenses associated with refusing from the prediction system during implementation of basic tasks exceeds expenses on development and introduction of diagnostic system that provides technical state prediction.

The diagnostic methods (probabilistic methods for prediction and prediction by the methods of numerical analysis) for the technical state prediction of objects of radio electronic equipment (armaments) that get under the determination of «hardware and software of the same type» are considered.

The application of the proposed methods will enable to introduce the prognostic principle of making effective decisions in the system of technical maintenance (of technical diagnosis) as well as to obtain the economic effect of preventing the downtime of electronic equipment due to a sudden failure.

Keywords: diagnostics, prediction, probabilistic methods for prediction, prediction by the methods of numerical analysis.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Выпуск конкурентной продукции краностроения в Украине сегодня сдерживается отставанием уровня ее качества и технологичности от аналогов ведущих зарубежных производителей. Решение указанной проблемы требует повышения наукоемкости отрасли. Для этого необходимо проводить компьютерный эксперимент и имитационное моделирование. Это стало возможным благодаря интеграции различных CAD / CAE систем. Для металлоконструкций подъемно-транспортной техники выполнен расчет прочности и жесткости при статической нагрузке. Для моделирования и расчета использован метод конечных элементов, реализованный в современном программном комплексе. Предложены способы учета в расчетной схеме различных условий закрепления и нагрузки, характерных для подъемно-транспортных машин. Использование современных программ позволяет вносить изменения в металлоконструкции исследуемых объектов еще на этапе проектирования.

Ключевые слова: подъемный кран, метод конечных элементов, эксперимент, напряжение, деформация, моделирование.

[DOI 10.32684/2412-5288-2018-1-12-66-71](https://doi.org/10.32684/2412-5288-2018-1-12-66-71)

Постановка проблемы

При эксплуатации подъемных кранов важным аспектом является безопасная работа металлоконструкций и ответственных элементов. Одним из основных вопросов безопасной эксплуатации является мониторинг и точное определение механических характеристик, напряжений и деформаций.

Очевидно, возникает необходимость в применении комплексного прогрессивного метода количественной оценки напряженно-деформированного состояния и регулировки для определения значений напряжений и деформаций несущей системы подъемно-транспортных машин и деталей. При этом необходим учет прочностной и жесткостной предыстории, величины напряжений и перемещений, возникающих в результате подъема и передвижения груза.

Анализ последних достижений и публикаций

Научному обоснованию методов определения значений прочности, жесткости и устойчивости металлоконструкций подъемно-транспортных машин посвящены работы известных ученых В. А. Баженова, Д. В. Бычкова, Н. И. Григорьева, Б. С. Кузнецкого, В. Shastry, G. V. Rao. В работах авторов И. Н. Бузуна, А. С. Городецкого, Л. Ф. Москвичевой приводятся расчеты и анализ работоспособности металлоконструкций с применением систем автоматизированного проектирования и расчета.

Большинство компьютерных программ построено с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Наиболее научно обоснованные из этих программ относятся к, так называемым, тяжелым многоцелевым пакетам.

Известно [1–5], что крупногабаритные конструктивные элементы несущей системы подъемных кранов имеют свою прочностную и деформационную предысторию, которую тяжело переоценить, в особенности те, которые находятся в эксплуатации несколько десятков лет. Отметим, что значения деформаций и напряжений в материале, нередко превышает возможную погрешность линейных размеров и угловых деформаций [3]. Из приведенного выше можно сделать вывод, что даже высокоточные инструментальные методы измерения характеристик напряженно-деформированного состояния (НДС) при эксплуатации, обследовании и проведении модернизации крупногабаритных металлических деталей и узлов подъемно-транспортных машин не дают возможности определить действительные значения параметров НДС, которые необходимы для безопасной эксплуатации крана [6].

Значит, если измерять усилия, которые испытывает несущая система и конструктивные элементы при работе крана, то при моделировании НДС стает возможным решение практических задач посредством более простых в техническом и экономическом отношении способов определения напряжений и деформаций [7–10], одну из ключевых задач

безопасной эксплуатации подъемно-транспортных машин.

Это означает, что если измеряются усилия, которые испытывает несущая система и элементы конструкции во время работы крана, то при моделировании НДС становится возможным решение практических задач с помощью более простых в техническом и экономическом отношении методов определения напряжений и деформаций [7–10], что является одной из ключевых задач безопасной эксплуатации подъемно-транспортных средств.

Цель исследования

Целью представленного исследования является анализ возможностей использования методов имитационного моделирования для определения напряжений и деформаций кранов во время эксплуатации, обследования и модернизации.

Изложение основного материала

Объект исследования представляет собой элементы несущей системы подъемно-транспортных средств.

Предмет исследования – модель напряженного и деформированного состояния и количественная оценка НДС.

Исследования выполняются методами моделирования, которые основаны на математическом аппарате метода конечных элементов в сочетании с экспериментальными методами механики.

Рациональность использования компьютерного эксперимента для определения и мониторинга механических характеристик элементов несущей системы подъемно-транспортных машин (ПТМ), материалов и деталей объясняется обеспечением непрерывного технологического тракта [5].

В работе выполнено моделирование причального перегружателя портального типа грузоподъемностью 45 тонн в соответствии с рабочими чертежами при различных комбинациях рабочих нагрузок методом конечных элементов.

Проблема была решена в линейной постановке, т.е. учитывался НДС в рамках закона Гука. В противном случае безопасная работа крана не обеспечивается. В качестве инструмента исследования выбирается многоцелевой программный пакет.

На первой стадии компьютерного моделирования эксперимента рассматривалась расчетная схема причального контейнерного перегружателя в момент нагружения – груз со стороны моря (рис. 1).

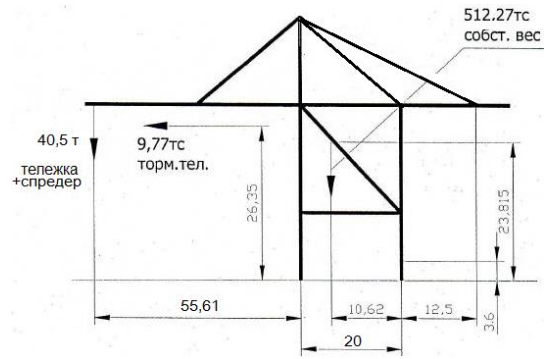


Рисунок 1 – Схема контейнерного перегружателя

К тому же, решение задач численного эксперимента предусматривает необходимость физического эксперимента для нахождения ряда механических характеристик объекта исследования.

Интегральная характеристика деформации $\varepsilon = f(\sigma)$, где ε – деформация и σ – напряжение, представлена в виде графика на рис. 2 [9].

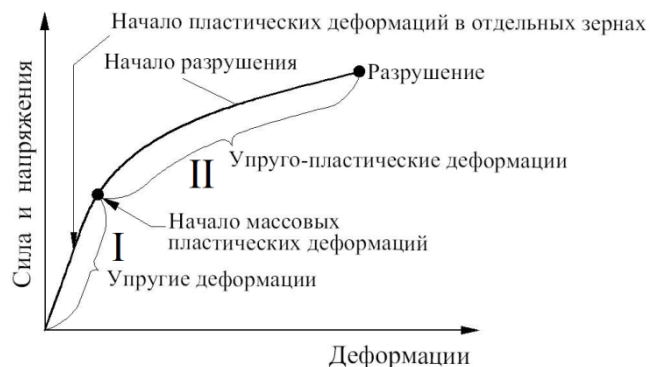


Рисунок 2 – Графическая зависимость между усилиями и деформациями

На графике указаны упругая (I) и пластическая (II) зоны деформации. С определенным уровнем корректировки для математической модели было принято допущение, что график на рис. 2 в зоне деформации II описывается линейным законом (в рамках закона Гука). Подобное представление принимается для изучения НДС в конструкциях ПТМ.

Установленный подход дает возможность с удовлетворительным уровнем достоверности представить интегральную характеристику для анализа механических характеристик.

Отметим, что для построения численной модели НДС конструктивных элементов несущей системы ПТМ и материалов в программном комплексе Ansys использовались результаты экспериментального определения зависимостей «напряжение-деформация»,

посредством которых устанавливаются свойства исследуемого материала.

Предложенный метод может с хорошей степенью точности отражать интегральную характеристику для анализа напряжений и деформаций.

В результате исследования получена зависимость $\varepsilon = f(\sigma)$ для постоянного поперечного сечения.

Для корректного проведения компьютерного эксперимента требуется знать габаритные размеры, модуль Юнга, объемную плотность объекта исследования, величину нагрузки и коэффициент Пуассона μ .

В компьютерном эксперименте применяется математический аппарат механики деформированного твердого тела реализованный в программном комплексе Ansys. Объект экспериментального исследования приведен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Причальный контейнерный перегружатель

Результаты численного эксперимента приведены на рисунках 4-6.

Выводы

Моделирование проблем прочности и деформационных процессов численным методом дает возможность исследования и определения механических характеристик различных конструктивных элементов несущей системы подъемно-транспортных машин без проведения натурного эксперимента.

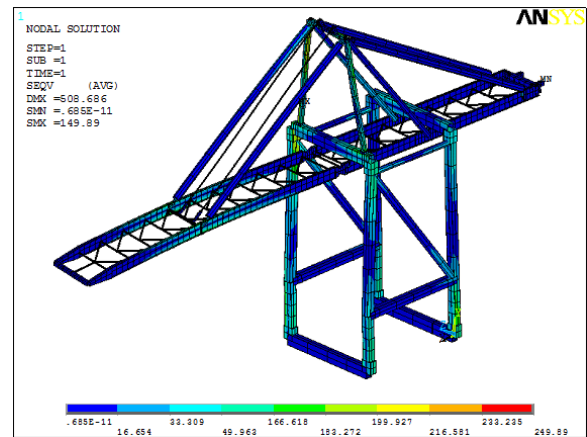


Рисунок 4 – Эквивалентные напряжения в металлоконструкции портала

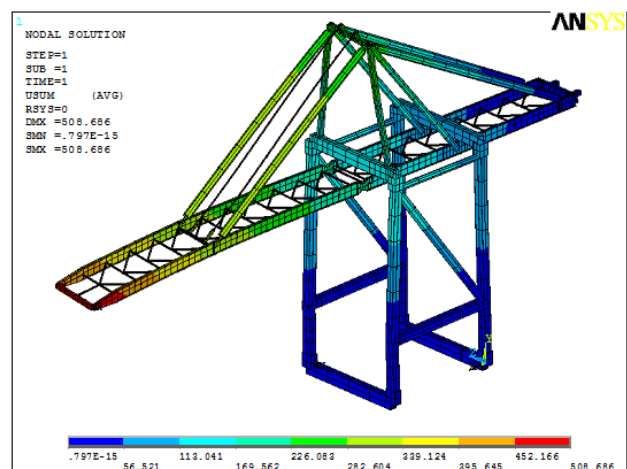


Рисунок 5 – Суммарные перемещения в металлоконструкции портала

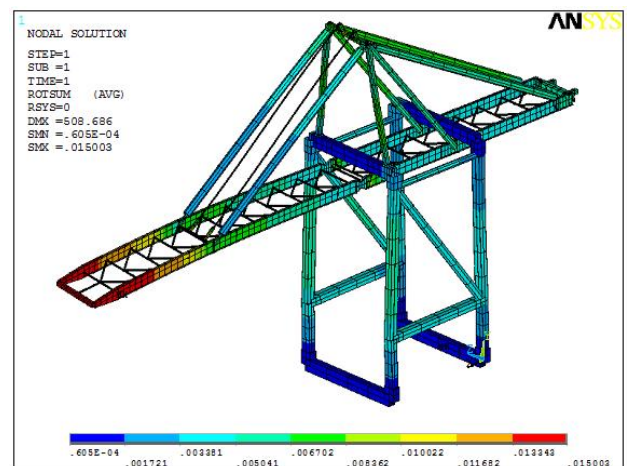


Рисунок 6 – Суммарные углы поворотов в металлоконструкции портала

Исследователю нужно учитывать, что степень соответствия результатов компьютерного эксперимента и натурного испытания зависят от способа разбиения на

конечные элементы, точности оценки условного модуля Юнга, плотности и прочностных характеристик.

Большое количество сварных соединений в металлоконструкции ПТМ необходимо учесть в построении математической модели. Сварочные швы характеризуются изменением модуля упругости.

Неоспоримым преимуществом компьютерного эксперимента является техническая простота и экономическая привлекательность по сравнению с натурным экспериментом, возможность определять параметры НДС в каждой точке, в каждом сечении, тогда как натурный эксперимент предполагает дискретную модель измерений.

Список использованных источников

1. Лимаренко А. М. Экспериментальные методы исследования в механике / А. М. Лимаренко, Г. А. Оборский, Н. Г. Сурьянинов. – Одесса: Астропринт, 2011. – 548 с.
2. Оробей В. Ф. Применение численных методов к расчету элементов судовых конструкций / В. Ф. Оробей, А. О. Немчук, А. М. Лимаренко // Вісн. Одес. нац. морського ун-ту. – 2009. – № 26. – С. 85–90.
3. Дашченко А. Ф. Анализ напряженно-деформированного состояния альтернативной конструкции фиксации переломов предплечья / А. Ф. Дашченко, А. М. Лимаренко, А. Д. Станков // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», Україна, Одеса-Київ, 2015. – С. 185–190.
4. Limarenko A. M. The optimization of car engine piston-rod by numerical method / A. M. Limarenko, V. V. Khamray, A. A. Druzhynin // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – 2015. – Вип. 51, ч.1. – С. 586–589.
5. Дашченко О. Ф. Комп'ютерне моделювання та чисельний аналіз ортопедичної конструкції для фіксації переломів кісток передпліччя / О. Ф. Дашченко, Ю. М. Свінарьов, О. М. Лимаренко // Праці Одеського політехнічного університету. – 2015. – № 2 (41). – С. 33–42.
6. Дашченко О. Ф. Комп'ютерне моделювання і розрахунок причальної перевантажувальної техніки / О. Ф. Дашченко, В. В. Хамрай, Б. В. Плахотнюк // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – № 1 (38) – С. 33–42.
7. Оробей В. Ф. Расчет арок на устойчивость методом граничных элементов / В. Ф. Оробей, А. Ф. Дашченко, А. М. Лимаренко // Проблеми техніки. – 2009. – вип. 27. – С. 114–123.

8. Orobej V. Boundary element method in problem of plate elements bending of engineering structures [Text] / V. Orobej, L. Kolomiets, A. Lymarenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 4. – P. 295–302.

9. Orobej V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes [Text] / V. Orobej, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8 (89). – P. 4–11.

10. Orobej V. Stability of structural elements of special lifting mechanisms in the form of circular arches [Text] / V. Orobej, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 2/7 (92). – P. 4–10.

References

1. Limarenko A. M. E'ksperimental'nye metody issledovaniya v mexanike / A. M. Limarenko, G. A. Oborskiy, N. G. Sur'yaninov. – Odessa: Astroprint, 2011. – 548 s.
2. Orobej V. F. Primenenie chislennykh metodov k raschetu e'lementov sudovykh konstrukcij / V. F. Orobej, A. O. Nemchuk, A. M. Limarenko // Visn. Odes. nats. morskoho un-tu. – 2009. – # 26. – S. 85–90.
3. Dashhenko A. F. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya al'ternativnoj konstrukcii fiksacii perelomov predplech'ya / A. F. Dashhenko, A. M. Limarenko, A. D. Stakanov / A. F. Dashchenko, A. M. Lymarenko, A. D. Stakanov // XVI Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Prohresyvena tekhnika, tekhnolohiia ta inzhenerna osvita» Ukraina, Odesa-Kyiv, 2015. – S. 185–190.
4. Limarenko A. M. The optimization of car engine piston-rod by numerical method. / A. M. Limarenko, V. V. Khamray, A. A. Druzhynin. // Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva i arkhitektury. – 2015. – Vyp. 51, ch.1. – S. 586–589.
5. Dashchenko O. F. Kompiuterne modeliuvannia ta chyselnyi analiz ortopedychnoi konstruktсии dlia fiksatsii perelomiv kistok peredplichchia / O. F. Dashchenko, Yu. M. Svinarov, O. M. Lymarenko // Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu. – 2015. – # 2 (41). – S. 33–42.
6. Dashchenko O. F. Kompiuterne modeliuvannia i rozrakhunok prychalnoi perevantazhuvalnoi tekhniki / O. F. Dashchenko, V. V. Khamrai, B. V. Plakhotniuk // Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu. – 2011. – # 1 (38). – S. 33–42.

7. Orobei V. F. Raschet arok na ustojchivost' metodom granichnykh e'lementov / V. F. Orobei, A. F. Dashchenko, A. M. Lymarenko. // Problemy tekhniki. – 2009. – Vyp. 27. – S. 114–123.

8. Orobej V. Boundary element method in problem of plate elements bending of engineering structures [Text] / V. Orobej, L. Kolomiets, A. Lymarenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 4. – P. 295–302.

9. Orobej V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes [Text] / V. Orobej,

O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8 (89). – P. 4–11.

10. Orobej V. Stability of structural elements of special lifting mechanisms in the form of circular arches [Text] / V. Orobej, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 2/7 (92). – P. 4–10.

Надійшла до редакції 15.05.2018

О. М. Лимаренко, к.т.н.

КОМП'ЮТЕРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ У ВИЗНАЧЕННІ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Випуск конкурентоспроможної продукції кранобудування в Україні сьогодні стримується відставанням рівня її якості та технологічності від аналогів провідних зарубіжних виробників. Вирішення зазначеної проблеми потребує підвищення наукоємності галузі. Для цього необхідно проводити комп'ютерний експеримент, та імітаційне моделювання. Це стало можливим завдяки інтеграції різних CAD/CAE систем, для виконання конструкторської і розрахункової роботи. Для металоконструкцій підйомно-транспортної техніки виконано розрахунок міцності і жорсткості при статичному навантаженні. Для моделювання і розрахунку використано метод скінченних елементів реалізований в сучасному програмному комплексі. Запропоновано способи урахування в розрахунковій схемі різних умов закріплення й навантаження, характерних для підйомно-транспортних машин. Використання сучасних програм дозволяє вносити змінення до металоконструкцій досліджуваних об'єктів ще на етапі проектування.

Моделювання проблем міцності та деформаційних процесів чисельним методом дає можливість дослідження та визначення механічних характеристик різних конструктивних елементів несучої системи підйомно-транспортних машин без проведення натурного експерименту.

Виконано врахування, способу розбиття на скінченні елементи, точності оцінки умовного модуля Юнга, щільності і міцності. Також в роботі врахована велика кількість зварних з'єднань в металоконструкції підйомно-транспортних машин при побудові математичної моделі. Зварювальні шви характеризуються зміною модуля пружності. Вказано, що перевагою комп'ютерного експерименту є технічна простота і економічна привабливість в порівнянні з натурним експериментом, можливість визначати параметри напружено-деформованого стану в кожній точці, в кожному перерізі, тоді, як натурний експеримент передбачає дискретну модель вимірювань.

Запропонована в роботі методика дає можливість визначити залишковий ресурс металоконструкції крану при експлуатаційних навантаженнях, в результаті отримання даних по розподілу еквівалентних напружень в характерних вузлах. Це безумовно дозволить підвищити конкурентноспроможність портової техніки в Україні.

Ключові слова: підйомний кран, метод скінченних елементів, експеримент, напруження, деформація, моделювання.

О. Lymarenko, PhD

COMPUTER EXPERIMENT IN DETERMINING MECHANICAL CHARACTERISTICS OF METAL CONSTRUCTIONS

The release of competitive products of crane construction in Ukraine today is hampered by a lagging level of its quality and technological efficiency from analogues of leading foreign manufacturers. The solution of this problem requires increasing the industry's science-intensive nature. For this purpose, it is necessary to conduct a computer experiment, and simulation simulation. This has become possible thanks to the integration of various CAD / CAE systems. For metal structures of lifting-transport equipment the calculation of durability and stiffness at static loading is made. For modeling and calculation, the finite element method has been implemented in the modern software complex. The methods of accounting in the

calculation scheme of different conditions of fastening and loading, characteristic for lifting-transport machines are offered. The use of modern programs makes it possible to make changes in the metal structures of the investigated objects at the design stage.

The accounting, the method of decomposition into finite elements, the accuracy of the estimation of the Young's conditional module, density and strength are performed. Also, a large number of welded joints in metal structures of submerged vehicles in the construction of a mathematical model are taken into account. Weld seams are characterized by a change in the elastic modulus. It is indicated that the advantage of a computer experiment is the technical simplicity and economic attractiveness in comparison with the field experiment, the ability to determine the parameters of the VAT at each point, at each intersection, whereas the field experiment implies a discrete measurement model.

The proposed method allows to determine the residual life of the crane metalwork under operating loads, as a result of obtaining data on the distribution of equivalent mechanical stresses in the characteristic nodes. It is also possible to calculate the allowable loading limits depending on the lifetime of the crane. This certainly makes it possible to increase the competitive ability of port equipment in Ukraine.

Keywords: *lifting crane, finite element method, experiment, stress, deformation, modeling.*

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Боряк К. Ф.	37	Квасніков В. П.	43, 52
Боряк М. К.	37	Коломієць Л. В.	7, 29
Величко О. М.	19	Кравчук В. С.	7
Волков К. С.	12	Кузавков В. В.	59
Волков С. Л.	12	Лимаренко О. М.	7, 66
Дащенко О. Ф.	7	Манзарук М. О.	37
Дуднік А. С.	52	Подостроець К. О.	29
Запоточний Р. М.	43	Хусаїнов П. В.	59
Ісаєв В. В.	19	Янковський О. Г.	59

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БОРЯК <i>Костянтин Федорович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, завідувач кафедри метрології та метрологічного забезпечення, доктор технічних наук, доцент</i>
БОРЯК <i>Максим Костянтинович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, студент</i>
ВЕЛИЧКО <i>Олег Миколайович</i>	<i>ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), м. Київ, директор Науково-виробничого інституту вимірювань електромагнітних величин та оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки, доктор технічних наук, професор</i>
ВОЛКОВ <i>Кирило Сергійович</i>	<i>Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса, студент</i>
ВОЛКОВ <i>Сергій Леонідович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, докторант, кандидат технічних наук, доцент</i>
ДАЩЕНКО <i>Олександр Федорович</i>	<i>Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, професор кафедри «Динаміка, міцність машин та опір матеріалів», доктор технічних наук, професор</i>
ДУДНІК <i>Андрій Сергійович</i>	<i>Київський національний університет ім. Т. Шевченка, м. Київ, доцент кафедри мережевих та інтернет технологій, кандидат технічних наук, доцент</i>
ЗАПОТОЧНИЙ <i>Роман Миколайович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, старший науковий співробітник, кандидат технічних наук</i>
ІСАЄВ <i>Валентин Володимирович</i>	<i>ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ, старший науковий співробітник, науково-дослідного відділу МЗ вимірювань електричних величин (Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, здобувач)</i>
КВАСНІКОВ <i>Володимир Павлович</i>	<i>Національний авіаційний університет, м. Київ, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, доктор технічних наук, професор</i>
КОЛОМІЄЦЬ <i>Леонід Володимирович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, ректор, доктор технічних наук, професор</i>
КРАВЧУК <i>Василь Степанович</i>	<i>Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, доцент кафедри «Динаміка, міцність машин та опір матеріалів», кандидат технічних наук, доцент</i>
КУЗАВКОВ <i>Василь Вікторович</i>	<i>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ, начальник кафедри ВІТІ, доктор технічних наук, доцент</i>
ЛИМАРЕНКО <i>Олександр Михайлович</i>	<i>Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, доцент кафедри «Динаміка, міцність машин та опір матеріалів», кандидат технічних наук, доцент</i>

МАНЗАРУК
Марія Олександрівна

*Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, старший викладач кафедри метрології та метрологічно-
го забезпечення*

ПОДОСТРОЄЦЬ
Кирил Олександрович

*Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, старший науковий співробітник, кандидат технічних
наук*

ХУСАІНОВ
Павло Валентинович

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ,
докторант науково-організаційного відділу, кандидат технічних
наук, доцент*

ЯНКОВСЬКИЙ
Олег Георгійович

*Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, завідувач кафедри загально-технічної та фундаменталь-
ної підготовки, кандидат технічних наук, доцент*

Наукове видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ**

Випуск 1(12) 2018

Редактор

Братченко Г. Д.

Комп'ютерна верстка

Постоварова В. Д.

Адреса редакції: 65020, м. Одеса, вул. Кузнечна 15, ОДАТРА

Тел.: (048)728-07-11 – довідки

E-mail: bratchenkohd@gmail.com

*Надруковано з готового оригінал макету
в видавництві – друкарні «ВМВ»*

*Підписано до друку 08.10.2018
Формат 60*88/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 8,7
Тираж 100 прим.
65053, м. Одеса, пр-т Добровольського 84-а.
www.vmv.odessa.ua*