

УДК 621.874

Мартовицький Л.М., к.т.н.; Сочава А.І., к.т.н.; Глушко В.І., к.т.н.;  
Руднев О.М., к.т.н.; Клименко Г.В., ст.викл.; Мулін М.С., магістр;  
Коваленко О.П., магістр  
*Запорізький національний технічний університет*

## ПОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ВАЖКОЗАВАНТАЖЕНИХ ПРОГІННИХ КРАНОВИХ БАЛОК

**Анотація.** *Пропонується подовжити ресурс важкозавантажених прогінних кранових балок за рахунок перевертання вздовж їх поздовжніх осей на 180° після напрацювання ними критичного числа циклів без тріщин, що забезпечує зміну знака циклічності роботи поясних зон балок.*

**Аннотация.** *Предлагается продлить ресурс тяжело нагруженных пролетных крановых балок за счет переворачивания вдоль их продольных осей на 180° после наработки ними докритического числа циклов без трещин, что обеспечивает смену знака цикличности рабочих поясных зон балок.*

**Abstract.** *It is proposed to extend the life span heavy duty crane beams by turning along their longitudinal axis by 180 ° after the achievements of their subcritical cycles without cracking, allowing workers replaced the sign of recurrence beam waist zones.*

На діючих підприємствах заміна кранів та їх елементів, особливо з видатними технічними характеристиками, які є надзвичайно металоемкими конструкціями, являється високовартісною операцією, і тому проходить повільно. В зв'язку із різким зниженням темпів оновлення працюючих важких кранів мостового типу, як найбільш поширеного класу, основним елементом металокопструкції яких є прогінні балки, особливу актуальність набуває розробка методів подовження ресурсу важкозавантажених прогінних кранових балок. В своїй більшості рішення про подовження експлуатації металокопструкцій базується на результатах технічного обстеження стану кранів, основну частину якого складає візуальний огляд. Технічне заключення, в даному випадку є не досить об'єктивним та обгрунтованим, оскільки не базується на точних замірах та апаратних дослідженнях. Збільшення ресурсу роботи крана дозволяє зекономити значні ресурси, еквівалентні в окремих випадках затратам на виробництво нових аналогічних кранів. Отже, оцінка залишкового та подовження експлуатаційного ресурсу прогінних кранових балок

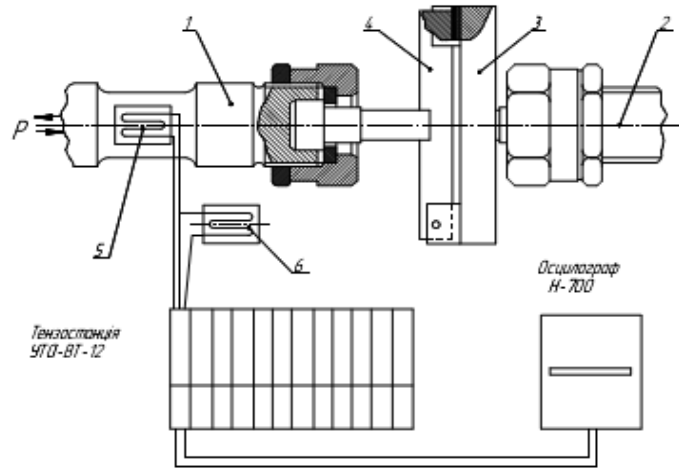
представляє значний резерв заощадження коштів, матеріалів, енергії та трудовитрат.

Поширеним в машинобудуванні методом подовження ресурсу роботи відповідальних, циклічно завантажених деталей, є надання їм тренувальних або зміцнюючих навантажень в напряму дії експлуатаційних навантажень. Такі способи реалізують із зняттям деталей з експлуатаційної зони або без цього. Зміцнення здійснюють напруженнями, що досягають 0,9 від руйнуючих, до експлуатації або під час експлуатації деталі зовнішніми механічними діями циклічно чи статично із застосуванням спеціальних пристроїв.

У важкозавантажених кранах мостового типу прогінні та кінцеві балки впродовж терміну експлуатації працюють переважно на циклічний згин. При цьому верхні поясні зони балок (пояси та при поясні зони стінок) працюють на циклічні напруження стиску, а нижні – на розтяг. Коли напруження досягають границі текучості, що часто буває в реальних умовах експлуатації металоконструкцій, відбувається зміцнення зовнішніх волокон стиснутої зони, що супроводжуються стабілізацією кристалічної ґратки. Все це, в свою чергу, зменшує можливість виникнення втомних тріщин стиснутої зони, а відтак збільшує її довговічність.

На основі вивчення та аналізу існуючих методів подовження ресурсу роботи циклічно-завантажених деталей та масштабних досліджень відмов та пошкоджень прогінних кранових балок важких кранів, виникла гіпотеза про те, що можливо подовжити термін експлуатації деталі, яка напрацювала певну кількість циклів із знакопостійними або віднульовими циклічними напруженнями розтягу або стиску, змусити її далі працювати з такими ж віднульовими або знакопостійними циклічними напруженнями, але з протилежним знаком. При цьому сумарна довговічність деталі значно зросте.

Для перевірки цієї гіпотези були проведені пульсаторні випробування на циклічний згин зразків без концентраторів із сталі 09Г2С ( $\sigma_T = 393\text{МПа}$ ,  $\sigma_\sigma = 515\text{МПа}$ ) у вигляді бруса-балки розмірами  $190 \times 40 \times 10\text{мм}$ . Технічні характеристики сталі отримані на атестованій машині статичного навантаження моделі УММ-50. З метою імітації умов роботи на втому важкозавантажених прогінних кранових балок випробування зразків здійснювалися за наведеною схемою (рис.1) на машині циклічного навантаження [1], яка дозволяє здійснювати випробування на опір втомі з будь-яким коефіцієнтом асиметрії циклу. Навантаження на згин здійснювали в площині розміром  $40 \times 190\text{мм}$  при циклах, близьких до віднульових.



1 – рухома (активна) тяга; 2 – нерухома тяга; 3 – опора для утримання зразка перпендикулярно до дії навантаження при згині; 4 – зразок; 5 – активний тензорезистор; 6 – пасивний (компенсуючий) тензорезистор

Рисунок 1 – Схема випробувань зразків на циклічний згин.

Програма досліджень передбачала напрацювання певного числа циклів при режимах, коли розтягнута поверхня зразка отримувала віднульові напруження розтягу, а інша поверхня – віднульові напруження стиску на рівні  $0,9...1,1 \cdot \sigma_T$  сталі зразка. Після напрацювання зразком кількості циклів, що складає 0,9 від критичного числа, його перевертали на  $180^\circ$  відносно поздовжньої вісі та вставляли в пристрій. Циклічні випробування зразка в перевернутому стані продовжували з попередніми режимами. При цьому поверхня, яка з початку дослідження отримувала віднульові напруження розтягу, потім навантажувалась віднульовими напруженнями стиску, і навпаки.

Для визначення границь витривалості зразків при циклічному згині в першу чергу досліджувались зразки № 1, 2, 3, 4 (табл.1), які працювали в одному положенні при напруженнях, що значно перевищували границю текучості. Зразок 5 спочатку працював в першому положенні, при  $\sigma_{max} = 379 \text{ МПа}$  він набрав  $9,4 \cdot 10^6$  циклів. Після цього максимальне напруження в розтягнутій зоні збільшили до  $415 \text{ МПа}$ , зразок напрацював ще  $2 \cdot 10^6$  циклів. Далі його перевернуло на  $180^\circ$ , змінивши знаки циклічності в поясних зонах на протилежні. В перевернутому положенні зразок простояв ще  $3,5 \cdot 10^5$  циклів. Зразок 6 при напруженні  $379 \text{ МПа}$  витримав дворазове перевертання з трикратним накопиченням циклів по  $5 \cdot 10^6$  в кожному положенні (в сумі  $15 \cdot 10^6$  циклів).

Результати досліджень приведені в табл.1, де максимальні напруження вказані для розтягнутої зони зразка.

В стовпчику «Номер положення зразка» цифра 1 відповідає роботі зразка в початковому положенні, цифра 2 – роботі зразка після перевертання його на 180° вздовж поздовжньої вісі.

Випробування зразків переконливо підтвердили гіпотезу про можливість подовжити ресурс роботи сталевих деталей шляхом послідовної зміни знаку циклічності віднульових напружень на протилежний.

Таблиця 1 – Результати дослідження зразків на втому

№ зразка	Номер положення зразка	Мінімальні напруження циклів $\sigma_{\min}$ , МПа	Максимальні напруження циклів $\sigma_{\max}$ , МПа	Кількість циклів навантаження, що витримав зразок $N$ , циклів	Сумарна кількість циклів $\sum N_i$ , циклів	Наявність руйнувань зразка (втомних тріщин)
1	1	10	410	$10^7$	$10^7$	ні
2	1	10,5	430,5	$5 \cdot 10^6$	$4,73 \cdot 10^6$	знято
3	1	11	452	$10^7$	$10^7$	ні
4	1	10	480	$2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	знято
5	1	9	379	$9,4 \cdot 10^6$	$11,75 \cdot 10^6$	ні
		9	415	$2 \cdot 10^6$		ні
	2	9	415	$3,5 \cdot 10^5$		так
6	1	9	379	$5 \cdot 10^6$	$15 \cdot 10^6$	ні
	2	9	379	$5 \cdot 10^6$		ні
	1	9	379	$5 \cdot 10^6$		ні

Паралельно з дослідженням зразків на втому вивчались мікрошліфи поперечних перетинів зразків №2, №4 після напрацювання ними програмних пульсаторних навантажень. При цьому на мікрошліфах проводились заміри зерен та досліджувалась мікротвердість в 13 точках зразка, як це вказано на схемі рис.2. На мікрошліфах спостерігається деформація зерен металу, що визначено в результаті замірів бальності зерен на різних рівнях по висоті зразка. В цих же точках вимірювалась також мікротвердість. Результати оцінки розміру балів та мікротвердості вказані біля мікроструктурних світлин поряд з точками виміру. Дослідження показало, що розмір зерен металу в точках з циклічними знакопостійними напруженнями відрізняється від розміру зерен ненапруженого металу (по нейтральній лінії зразка). Мікротвердість зразка зростає від нейтральної лінії і до

його поверхні, що свідчить про ущільнення металу під дією циклічних напружень на рівні, близькому до  $\sigma_T$  (табл.2).

Таблиця 2 – Мікротвердість зразків

Місце заміру	Точки	Мікротвердість HV, МПа	
		Зразок 2	Зразок 6
Розтягнутий пояс	1	1895,96	1903,32
	2	1866,90	1763,68
Розтягнута припоясна зона	3	1831,51	1831,51
	4	1553,74	1668,79
	5	1940,83	1763,68
Центральна (нульова) зона	6	2019,24	1763,68
	7	1831,51	1609,72
	8	2019,24	1940,83
Стиснута припоясна зона	9	1940,83	1668,79
	10	1831,51	1609,72
	11	2102,49	1831,51
Стиснутий пояс	12	2146,07	2324,64
	13	2334,65	2256,35

Отримані результати досліджень мікрошліфів зразків із сталі 09Г2С дозволяють зробити обережний висновок про те, що в зразка №2, який досліджувався тільки на витривалість при віднульових напруженнях згину, мікротвердість в стиснутій зоні має найбільше значення, яка поступово зменшується в напрямку до розтягнутої зони. Розміри зерен мають тенденцію збільшення від стиснутої до розтягнутої зони. В зразка №6, який досліджувався на віднульовий згин з наступним перевертанням, зерно у всіх зонах зразка більш рівномірне, а мікротвердість в стиснутій зоні більша ніж в розтягнутій.

Технічним результатом вищенаведеної наукової гіпотези є створення простого у реалізації, мало затратного способу подовження терміну експлуатації важкозавантажених прогінних балок кранів мостового типу за рахунок зміни знака циклічності напружень поясних зон шляхом перевертання балки на 180° вздовж вісі [2].

Новизна технічного рішення характеризується тим, що розроблений спосіб дозволяє поясні зони важких прогінних кранових балок, які працюють при найбільших знакопостійних циклічних напруженнях, не доводять до повного вичерпання їхнього втомного ресурсу, а після напрацювання ними 0,7...0,9 від граничної кількості циклів продовжують експлуатувати з протилежними за знаком знакопостійними циклічними напруженнями шляхом простого перевертання балки на 180° вздовж вісі без додаткових тренувальних навантажень та зміцнюючих конструктивних заходів. Створювана таким чином зміна знаку циклічності сприяє подовженню сумарного терміну експлуатації балки аналогічно штучним тренувальним

навантаженням, але які здійснюються природнім шляхом в процесі експлуатації.

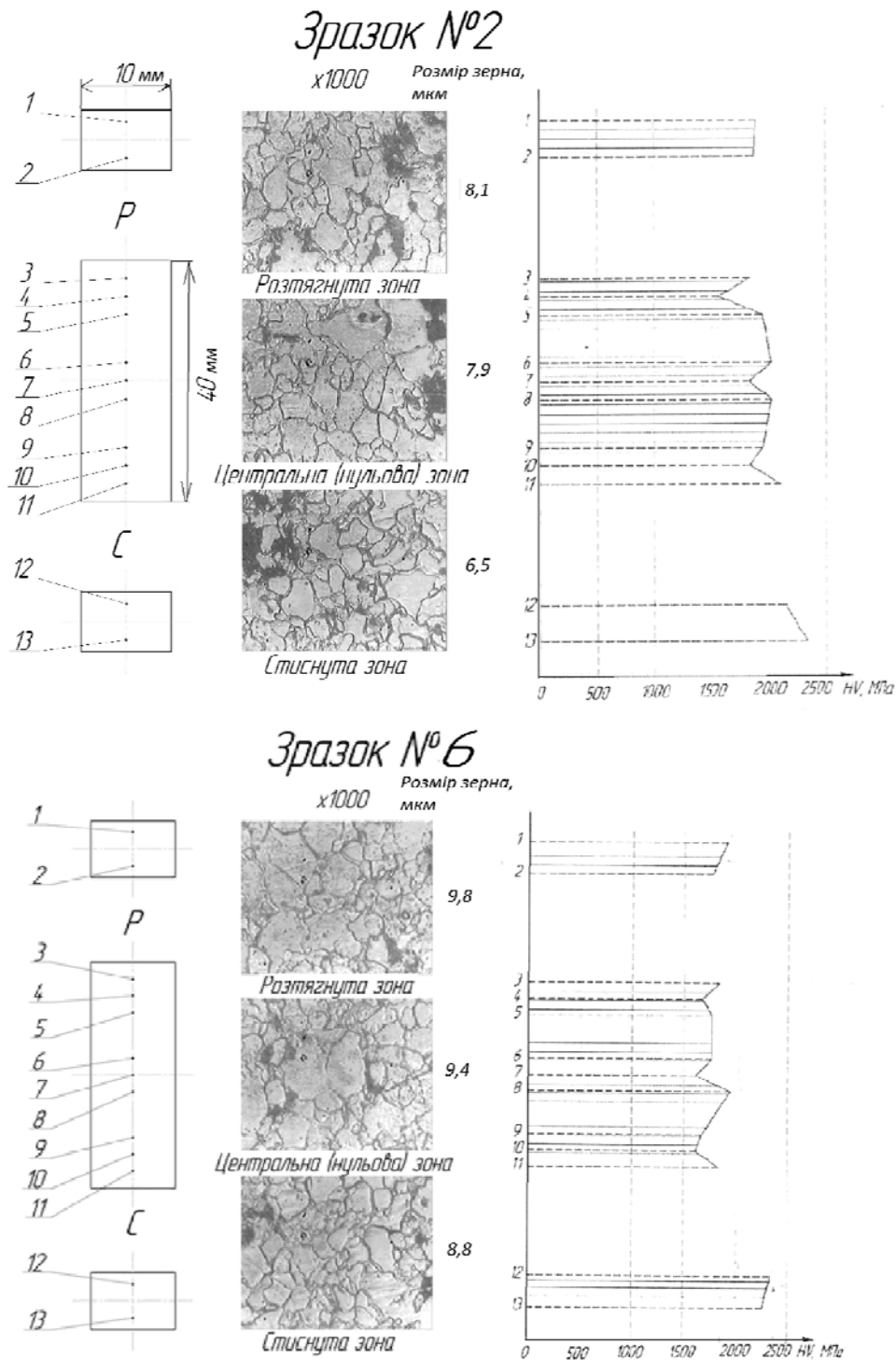


Рисунок 2 – Мікроструктура та мікротвердість зразків

На рис.3 представлена прогінна балка з можливістю перевертання на  $180^\circ$  та циклічним завантаженням поясних зон.

Сутність способу пояснюється схемою, де зображена кранова балка прогоном  $L$  з можливістю її перевертання на  $180^\circ$  вздовж вісі та циклічним завантаженням поясних зон.

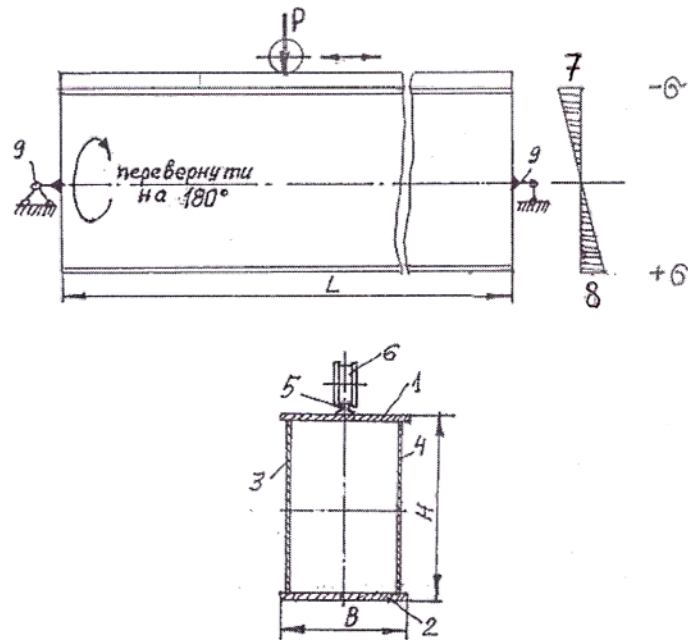


Рисунок 3 – Прогінна кранова балка з можливістю перевертання

Під час експлуатації верхні поясні зони прогінної балки потерпають від знакопостійного циклічного напруження стиску 7, а нижні – від знакопостійного циклічного напруження розтягу 8.

Циклічні знакопостійні напруження розтягу в нижньому поясі, особливо для балок, що працюють у важких та надважких режимах, часто призводять до виникнення пошкоджень у вигляді втомних поперечних тріщин в нижньому поясі з виходом на стінки. Такі пошкодження скорочують термін дії всього вантажопідйомного крана. При цьому втомні тріщини в нижніх поясах виникають значно раніше ніж у верхніх, оскільки границя витривалості знакопостійних циклічних напружень розтягу менше границі витривалості стиску.

Спосіб здійснюється таким чином. Після напрацювання балкою кількості циклів  $0,7 \dots 0,9$  від критичного числа (практично цей момент можна визначити по втраті балкою будівельного підйому, або при досягненні балкою критичного прогину) прогінна балка від'єднується від кінцевих балок і перевертається на  $180^\circ$  відносно поздовжньої вісі 9 і знову закріплюється на кінцевих балках. При цьому пояс 1, який був верхнім, після перевертання стане нижнім, а нижній пояс 2 стане верхнім. Підвізкову рейку 5 слід переставити на пояс 2, який став верхнім після перевертання. Перевернуту балку можна далі

експлуатувати в паспортному режимі до повного вичерпання ресурсу. При цьому кожний пояс балки буде отримувати циклічні знакопостійні або віднульові напруження протилежні за знаком відносно циклічних напружень попереднього напрацювання балки (до її перевертання).

Аналітичне визначення обмеженої витривалості нижнього поясу балки при знакопостійних навантаженнях із порогом напружень розтягу  $0,9 \cdot \sigma_T = 353,7 \text{ МПа}$  показало, що граничне число циклів для нижнього поясу складає  $4,5 \cdot 10^6$  циклів. Сумарна витривалість балки після перевертання її на  $180^\circ$  дорівнює  $9,5 \cdot 10^6$  циклів.

На рис.4 пунктиром зображена робота нижнього поясу, а суцільною лінією – верхнього поясу, до перевертання балки, з наступним обміном місць.

Лінія 1 – крива втоми нижнього поясу, 2 – крива сумарної втоми всієї балки після її перевертання на  $180^\circ$  вздовж вісі.

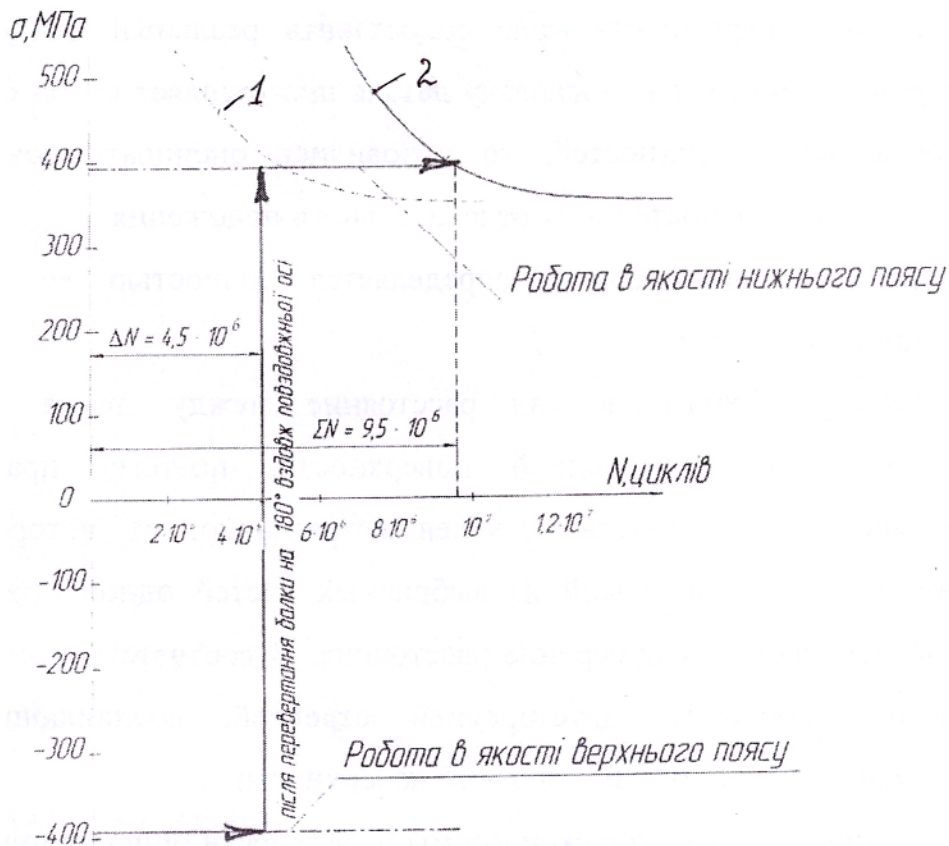


Рисунок 4 – Діаграма втоми поясів кранових балок

Таким чином, пропонуємий спосіб дозволяє подовжити термін експлуатації важко навантажених балок кранів мостового типу шляхом перевертання їх на  $180^\circ$  вздовж вісі без додаткових тренувальних навантажень та зміцнюючих конструктивних заходів.



### Висновки

1. Зміна знаку циклічності напружень в поясних зонах важкозавантажених прогінних кранових балок, після напружували ними 0,9 від граничної кількості циклів без тріщин при знакопостійних напруженнях, призводить до подовження сумарного терміну експлуатації (ресурсу) балок.

2. Здійснити зміну знаку циклічності роботи поясних зон пропонується шляхом перевертання балки на 180° відносно її поздовжньої вісі та подальшої експлуатації без додаткових штучних силових тренувань та засобів підсилення.

3. Пропонуємий спосіб може бути рекомендованим для подовження ресурсу роботи стрижнів кранових ферм шляхом заміни місцями стрижнів та поясів ферм, які відпрацювали 0,9 від критичного числа циклів знакопостійних напружень без тріщин. Стрижні, які працювали на знакопостійні циклічні навантаження стиску, пропонується шляхом заміни далі експлуатувати на розтяг, і навпаки, стрижні, які працювали на розтяг, пропонується експлуатувати далі на циклічні знакопостійні навантаження стиску.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлов П.А. Стенд для испытания металлов при осевых нагрузках в условиях асимметрии цикла. Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР/ Михайлов П.А., Сочава А.И. – К.: Вища школа, 1974 – вып.13
2. Патент України на корисну модель № 104691. Бюл. № 3, 2016. Спосіб підвищення ресурсу важко завантажених прогінних кранових балок / Л.М. Мартовицький, А.І. Сочава, В.І. Глушко, О.М. Руднєв, О.П. Коваленко, М.С. Мулін.
3. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів / НПАОП 0.00-1.01-07.
4. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Л. Машиностроение, 1969.