

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИВОДНИХ СИСТЕМАХ І ПІДВІСНИХ СТІЛЛОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ КОНВЕЄРІВ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено методи аналізу динамічних процесів в механічній системі стрічкового конвеєра, улаштованого на стріловій конструкції з вантовими відтяжками підйимально-транспортних машин з використанням побудованих математичних моделей приводних систем з врахуванням різної довжини транспортуючого органу, вільних та вимушених коливань суцільної та шарнірно зчленованої стріли. Встановлено необхідність врахування в динамічних розрахунках деградації матеріалів тривало експлуатованих стрілових конструкцій.

Ключові слова: методи аналізу, динамічні процеси, стрічковий конвеєр, стрілова конструкція, деградація матеріалів

Abstract

Methods of analysis of dynamic processes in the mechanical system of belt conveyor that arranged on the cable boom design with braces of lifting and transport machines was developed by using the built mathematical models of drive systems with taking into account different lengths of transporting body of free and forced vibrations of continuous and pivotally articulated boom. Established the need to consider the dynamic calculation of material degradation of lasted operated boom designs.

Keywords: analysis methods, dynamic processes, belt conveyor, boom construction, material degradation

Вступ

Для забезпечення високої продуктивності праці на кар'єрах відкритого видобування корисних копалин, на переробних виробництвах (цукрових заводах тощо) застосовують комплекси машин неперервної дії, що включають обладнання різного функціонального призначення, яке забезпечує виконання технологічних операцій. Спільним для цих комплексів є наявність підйимально-транспортувального обладнання, оснащеного стріловою конструкцією, яка утримується під заданим кутом за допомогою відтяжок, закріплених на вантовій опорі. На стрілі улаштовано стрічковий конвеєр, який здійснює транспортування вантажу.

До такого обладнання відносяться, відвалоутворювачі, буртоукладники тощо. Необхідно відмітити, що відкритим способом у країнах Європи та світу добувають значну кількість металевих та неметалевих руд, нерудних корисних копалин, вугілля. Ефективність роботи комплексу є тим вищою, чим більша продуктивність, радіус і висота дії машини, що відвантажує продукцію у відвали чи бурти. Так, довжини стріл відвалоутворювачів сягають 200 м, а швидкість руху стрічки конвеєра знаходиться в межах – 6...9 м/с. Вантажопотоки, що надходять на стрічку конвеєра, характеризуються великою нерівномірністю і носять, як правило, випадковий характер. Коефіцієнт нерівномірності деяких вантажопотоків становить 1,97...2,02 [1]. Транспортування нерівномірно розосередженого на стрічці вантажу супроводжується дією змінних у часі інерційних навантажень на стрілову конструкцію, що спричиняє виникнення вимушених коливань несівної конструкції стріли. За таких умов важливого значення набувають питання довговічності і надійності машин, що входять в технологічний комплекс. Вихід з ладу будь-якого агрегату викликає простоювання всього комплексу, що призводить до значних втрат на виробництві.

Розв'язання цієї проблеми за рахунок збільшення запасу міцності призводить до збільшення початкової вартості машини, а отримувані при цьому масо-інерційні параметри машини виявляються необґрунтовано завищеними. Слід зазначити, що в деяких випадках збільшення маси вузлів не лише не підвищує міцність та надійність машини, а й зменшує ці важливі технічні показники [2].

Тому дослідження реальних навантажень, внутрішніх зусиль і напружень в елементах приводних систем і стрілових конструкцій конвеєрів, забезпечення міцності деталей і вузлів та підвищення надійності, довговічності й ефективності роботи підйимально-транспортувальних машин є актуальною проблемою.

Метою досліджень є підвищення ефективності функціонування конвеєрів за рахунок удосконалення методології аналізу динамічних процесів у приводних системах і підвісних стрілових конструкціях, добору раціональних кінематичних і силових параметрів приводу, а також пружно-інерційних і міцнісних характеристик несівних конструкцій.

Для досягнення поставленої мети сформовані задачі, об'єкт та предмет досліджень.

Результати досліджень

Проаналізовано схеми конструкцій підйнятно-транспортних машин, що оснащені стрілами з улаштованими на них конвеєрами. Встановлено: конструкція стріли виготовляється як суцільною зварною, так і з декількох шарнірно з'єднаних між собою секцій; для утримання стріли в заданому положенні застосовуються вантові відтяжки, що закріплюються на пілоні, кількість яких залежить від довжини стріли; важливою складовою відвалоутворювача є улаштований на стріловій конструкції стрічковий конвеєр, від надійної роботи якого на заданих режимах транспортування суттєво залежить надійність роботи всієї механічної системи. Тому зниження динамічних навантажень в таких механічних системах можна досягти як застосуванням раціональної схеми розміщення приводу, його вдосконаленої конструкції, так і вибором параметрів суцільних і шарнірно зчленованих металоконструкцій стріл з вантовими відтяжками за рахунок розробки математичних моделей і методів розрахунку динамічних процесів, що виникають в зазначених елементах під час роботи, з врахуванням змін механічних властивостей матеріалу металоконструкції після її тривалої експлуатації.

Проаналізовано існуючі конструкції стрічкових конвеєрів і складових елементів та їх вплив на ефективність роботи конвеєра. Встановлено, що від правильного вибору схеми розташування приводу (приводів), його типу та конструкції складових елементів залежить ефективна і довготривала робота конвеєра. Наведено схеми для визначення місця розташування приводу та визначення вибору типу приводу стрічкового конвеєра.

Розглянуто методи досліджень динамічних процесів у приводних системах і стрілових конструкціях конвеєрів. Аналіз динамічних процесів в стрічкових конвеєрах показав, що найбільш небезпечними є пускові та гальмівні режими роботи і під час зміни навантаження. Ці режими викликають неусталену роботу приводу, часткову або повну пробуксовку стрічки і, як наслідок, її пошкодження. Аналіз причин відмов конвеєрів показав: з розривом стрічки пов'язано 12% поломок конвеєрів; втрати робочого часу від загальних витрат на ремонт конвеєра – 22%; стрічка є найбільш коштовним елементом конвеєра (майже половина вартості).

Для виконання досліджень динамічних процесів у приводних системах стрічкових конвеєрів проведено аналіз їх існуючих розрахункових моделей. Проаналізовано процес пуску стрічкового конвеєра, який показав, що динамічна складова сили натягу стрічки суттєво перевищує статичний натяг і для її зменшення необхідно забезпечити способи пуску, що вимагають застосування реалізації приводом відповідного закону його керування.

Враховуючи, що стрічкові конвеєри, які улаштовані на стрілових конструкціях, мають як незначну (до 5 м) так і велику довжину (понад 200 м), то для вивчення у них динамічних процесів використовуються різні розрахункові моделі – дискретні та дискретно-континуальні.

В стрілових конструкціях відвалоутворювачів привод встановлюється в завантажувальній частині і вантажонесівна частина стрічки штовхає вантаж під кутом нахилу стріли в зону розвантаження. За такою схемою порожня гілка конвеєра є значно перевантаженою і для забезпечення роботоздатності необхідно використовувати стрічки завищеної міцності, що призводить до збільшення геометричних параметрів барабанів та роликкоопор і збільшення металоємкості. Аналіз діаграми розподілу тягового зусилля показує, що зменшення сил натягу залежить від місця розташування і кількості використаних приводів.

Для визначення приводу, який забезпечує його раціональне розміщення в розвантажувальній частині стріли, проведено аналіз існуючих типів приводів стрічкових конвеєрів. Найбільш доцільними у використанні є комплектні та вмонтовані приводи, з яких найбільшого поширення набули електричні та гідравлічні.

Для дослідження динамічних процесів нестационарних режимів в механічній системі конвеєра розроблено розрахункову схему приводу, яка в залежності від його конструкції зводиться до найпростіших дво- та тримасових систем за допомогою співвідношень, в яких застосовано енергетичний підхід [3].

Для порівняння динамічних властивостей гідравлічного та електричного вмонтованих приводів розроблено їх розрахункові схеми, на основі яких побудовано математичні моделі. Для конвеєрів невеликої довжини використовується дискретна модель, в якій рухомі частини конвеєра подані двома дискретними масами. До першої зведени маси обертових частин приводного пристрою, до другої – рухомі ланки транспортуючої частини конвеєра. Стрічку конвеєра подано реологічною моделлю Фохта з пружно-дисипативними зв'язками. Побудовано математичні моделі механічної системи конвеєра з гідравлічним та електричним приводом, в яких, відповідно, враховано гідродинамічні явища та електромагнітні процеси в асинхронному двигуні.

Порівнянням перехідних процесів діючих моментів та частот обертання в гідравлічному та електричному приводі показано, що коефіцієнт динамічності $K_d = 1,25$ для гідропривода менше $K_d = 2,5$ для електропривода. Тривалість перехідного процесу встановлення стабільної швидкості руху в приводі з електродвигуном в 6 разів перевищує цей параметр у приводі з гідродвигуном. Враховуючи зазначені переваги гідравлічного вмонтованого приводу за динамічними властивостями, використовуємо його в подальших дослідженнях.

Для довгомірних стрічкових конвеєрів застосування дискретної моделі механічної системи є некоректним через неврахування хвильових явищ, що виникають в стрічці конвеєра під час перехідних процесів. Запропоновано метод розрахунку перехідних процесів в машинах неперервного транспорту з врахуванням рухомості меж довгомірних пружних ланок [4]. Суть методу полягає в перетворенні вихідних хвильових рівнянь шляхом заміни супутніх координат на нерухомі і в подальшому розв'язку нелінійних рівнянь в часткових похідних за фіксованих граничних умов, користуючись кінцево-елементною дискретизацією.

З метою зниження динамічних навантажень, що діють на стрічку конвеєра в нестационарних режимах, ефективним є застосування засобів гідроавтоматики. Для розробленої конструкції пускового пристрою гідравлічного приводу стрічкового конвеєра, що зменшує динамічні зусилля під час пуску за рахунок відтворення його раціонального способу, побудовано математичну модель, за допомогою якої здійснюємо вибір його раціональних параметрів [5].

Для гідравлічного приводу, що працює зі змінними режимами навантаження на робочому органі, з метою забезпечення його безупинної роботи та підвищення продуктивності, запропоновано пристрій керування вмикання паралельно встановленого гідродвигуна і розроблено їх розрахункову схему та математичну модель. Виконано теоретичні дослідження динаміки при зміні навантажень на робочій ланці та встановлено вплив параметрів механічної системи конвеєра на перебіг динамічних процесів [6]. Лабораторні експериментальні дослідження, які проведено на моделі приводу з пристроєм керування, підтвердили адекватність математичної моделі експериментальному зразку вмонтованого гідравлічного приводу конвеєра, чутливого до зміни навантаження, встановили межі застосовності математичної моделі, оцінку коректності прийнятих припущень та достовірність теоретичних залежностей, які отримані розрахунками на ПК. В результаті співставлень теоретичних та експериментальних величин параметрів перехідних процесів вмонтованого гідравлічного приводу з пристроєм керування встановлено, що їх максимальна відносна різниця не перевищує допустимих значень, тому розроблені математичні моделі пристрою керування та вмонтованого гідравлічного приводу як якісно, так і кількісно ідентичні фізичним процесам, що відбуваються у фізичній моделі вмонтованого гідравлічного приводу з пристроєм керування і результати теоретичних досліджень є достовірними.

Розроблена удосконалена конструкція гідравлічного вмонтованого приводу, чутливого до зміни навантаження, з системою керування, його розрахункова схема, циклограма робочого циклу та математична модель, в якій використано ті ж самі принципи побудови і припущення, що й при розробці розглянутого вище пристрою керування [7]. Отримано теоретичні криві, які свідчать про ефективність використання розробленої системи керування гідравлічного вмонтованого приводу. Крім того, за результатами досліджень внесено конструктивні зміни в систему керування для стабілізації параметрів динамічних процесів.

Механічні коливання, що викликані динамічними процесами в приводі та транспортуванням нерівномірно розосередженого на стрічці вантажу, сприймаються несівною конструкцією стріли з вантовою опорою. Для запобігання резонансним явищам у механічній системі стріли, які можуть виникнути під час роботи конвеєра, розроблено математичні моделі з шарнірно зчленованою [8] та суцільною багатопрогоною стрілою [9] з метою визначення частот і форм вільних коливань.

Порівняльний аналіз наведених частот збудження коливань стріли з її трьома нижчими власними частотами свідчить про можливість виникнення резонансних коливань механічної системи стріли в процесі експлуатації відвалоутворювача. Найбільш ймовірним чинником збудження резонансних явищ є взаємодія кусків транспортованої породи з опорними роликами стрічки конвеєра. Для усунення резонансних режимів роботи відвальної консолі слід раціонально добирати швидкість транспортування вантажу.

Для вивчення вимушених коливань у механічній системі конвеєра з метою оцінки динамічних складових напружень, що виникають в основних несівних елементах стріли, розроблено розрахункову схему обпертої на ролики стрічки конвеєра та побудовано математичну модель, в якій крім декартової системи координат використано натуральну криволінійну координату, що проходить уздовж осі zdeформованої стрічки.

Встановлено, що амплітуда динамічних складових напружень значно залежить як від коефіцієнта k_{μ} нерівномірності розподілу маси стрічки з вантажем, так і від коефіцієнта k_T , що є відношенням періоду розподілу вантажу по стрічці до періоду викривлення осі стрічки, визначених з застосуванням натуральної координати. Приклад залежності $\sigma_d(k_T)$, одержаної для $k_{\mu} = 0,5$ показує, що динамічна складова напружень в елементах стріли у номінальному режимі роботи конвеєра може досягати 35...40 МПа, тобто асиметрія циклу напруження становить R 0,6, а за певного значення відношення періоду розподілу вантажу по стрічці до періоду викривлення осі стрічки в механічній системі виникають резонансні явища, що супроводжуються значним зростанням динамічних складових напружень у матеріалі.

Для підвищення точності динамічних розрахунків стрілової конструкції необхідно враховувати зміну механічних властивостей матеріалу тривало експлуатованої металоконструкції стріли.

Встановлено, що найбільшою мірою зазначені явища проявляються в елементах конструкцій з максимальним напруженням. Виконано 3Д моделювання стріли буртоукладника і за допомогою методу скінчених елементів отримано карти напружень та визначено місця виникнення їх найбільших значень в конструкції стріли. Тому для проведення досліджень з місць верхнього та нижнього поясів конструкції стріли (експлуатованої понад 30 років), в яких виникають найбільші та найменші напруження, взято кутники і виготовлено зразки для експериментальних досліджень, що виконано на лабораторній базі ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Досліджено зміну механічних властивостей, ударної в'язкості та корозійно-циклічну тріщиностійкість сталі під напруженням за асиметрії циклу навантаження R 0,1, 0,6 і 0,75 зразків матеріалу стріли буртоукладника [10]. Побудовано кінетичні діаграми втомного руйнування сталі Ст3 у вихідному та експлуатованому станах для зазначених значень R , наведено фрактографічні особливості експлуатованої сталі за випроб на повітрі та в корозійному середовищі [11].

Проведена оцінка довговічності стріли буртоукладника і розглянуто утворення тріщин для різних випадків. Для кожної моделі місця виникнення тріщини на зразку визначали коефіцієнт інтенсивності напружень за відповідними аналітичними співвідношеннями. На основі експериментальних досліджень визначені критеріальні значення глибини тріщини: порогового розміру тріщини a_{th} , до досягнення якого ($a < a_{th}$) не спостерігається подальшого росту тріщини; критичного розміру тріщини a_{fc} , по досягненні якого ($a \geq a_{fc}$) стає можливим спонтанне зростання тріщини, що призводить до крихкого руйнування елемента конструкції [12].

Результати досліджень використані при розробці нових приводів. Для системного проектування вмонтованих приводів проведено структурно-функціональний аналіз конструкцій з електро- та гідроприводом. Визначено вимоги деталізації окремих елементів конструкції привода. Виділено основні структурно-функціональні елементи і охарактеризовано їх позитивні ознаки та область переважного застосування. Це дозволяє полегшити пошук технічного рішення і можливість вибору раціональної компоновочної схеми вмонтованого привода на основі вибраної структурної формули.

Запропоновано вибір раціональної схеми привода виконувати за основними і додатковими критеріальними оцінками з метою забезпечення його покращених техніко-економічних показників. Проведено співставний аналіз розмірів різних типів передач для відповідних діапазонів передаточних чисел. За таким принципом розроблено більше двадцяти приводів різного технологічного призначення. На один з них розроблена технічна документація, яка передана на ПрАТ «Стрижавський кар'єр». Визначено конкурентоспроможність його використання в порівнянні з експлуатованим на підприємстві комплектним електроприводом і отримані показники свідчать про

перевагу використання гідравлічного вмонтованого привода. Ще ряд розроблених конструкцій впроваджені у виробництво і отримано народногосподарський економічний ефект.

Висновки

1. Проведено аналіз тенденцій розвитку конструкцій підйально-транспортних машин, оснащених стрілами з улаштованими на них стрічковими конвеєрами. Встановлено, що для підвищення ефективності роботи приводів конвеєрів, а також зниження діючих навантажень у стрічці та в стріловій конструкції доцільно перейти до розміщення привода у розвантажувальній частині конвеєра або до застосування системи вмонтованих приводів.

2. Проаналізовано конструкції основних типів приводів конвеєрів і встановлено, що для підвищення ефективності роботи транспортерів відвалоутворювачів стаціонарного та мобільного типів необхідно застосовувати вмонтований гідравлічний привод, елементи якого не виступали б назовні за межі барабана. Шляхом визначення критеріальних оцінок та аналізу чинників, що впливають на технічні характеристики привода, обґрунтовано вибір типу і раціональної схеми розміщення приводного пристрою та запропоновано ряд його конструкцій.

3. Встановлено, що за допомогою засобів гідроавтоматики можна суттєво зменшити динамічні зусилля в стрічці конвеєра у пускових режимах, а при роботі транспортера зі змінними навантаженнями забезпечити неперервність робочого процесу шляхом автоматичного вмикання резервного двигуна за допомогою пристрою керування, який дозволяє застосовувати активне резервування крутного моменту за умови використання двох паралельно встановлених гідромоторів. Для вмонтованого гідропривода стрічкового конвеєра, оснащеного двома паралельно встановленими гідромоторами, запропоновано систему керування з пристроєм параметричного типу на основі двокаскадного клапану, для вмикання другого гідромотора при перевищенні навантаження над номінальним на задану величину.

4. За допомогою побудованих математичних моделей механічних систем конвеєрів з гідравлічним та електричним вмонтованим приводом встановлено переваги гідропривода за динамічними властивостями.

5. Побудовано математичну модель нестационарних режимів роботи довгомірною стрічкового конвеєра з гідроприводом. Із використанням континуально-дискретної розрахункової моделі розроблено метод розрахунку динамічних явищ у механічній системі стрічкового конвеєра, який дає можливість аналізувати перехідні режими роботи машин неперервного транспорту з урахуванням рухомості меж довгомірних пружних ланок та нерозривної взаємодії динамічних явищ гідравлічного пристрою і механічної частини привода. Застосування скінченно-елементної дискретизації нелінійних рівнянь з частковими похідними дозволяє звести розв'язування задачі до інтегрування системи звичайних диференціальних рівнянь за допомогою стандартних процедур, сприяє побудові простого і ефективного обчислювального алгоритму. Це відкриває перспективи поглибленого вивчення динаміки конвеєрів, підвищення якості їх проектування і забезпечення раціональних режимів експлуатації.

6. Побудовано розрахункову схему, циклограму робочого циклу та математичну модель для удосконаленої системи керування і теоретичними дослідженнями в ній динамічних процесів встановлено ефективність її використання в гідроприводі конвеєра із змінним навантаженням.

7. Побудовано математичну модель вільних коливань суцільної багатопрогонової та шарнірно зчленованої підвісної стріли, яка дає можливість з достатньою точністю проводити модальний аналіз механічної системи відвальної консолі відвалоутворювача на стадії проектування. Як показали дослідження, власні частоти стріли значною мірою залежать від її згинальної податливості, маси транспортованого вантажу та від жорсткості відтяжок і можуть змінюватися, в залежності від технічних характеристик і умов експлуатації відвалоутворювача, в широких діапазонах.

8. Запропоновано метод визначення динамічних зусиль та напружень в елементах стріли на основі представлення її прогинів у вигляді скінченної суми узагальнених переміщень. Встановлено, що амплітуди коливань стріли суттєво залежать від коефіцієнта нерівномірності розподілу маси стрічки з вантажем по довжині стріли, швидкості руху стрічки з вантажем, а також від відношення періоду розподілу вантажу по стрічці до періоду викривлення осі стрічки. Динамічна складова напружень може сягати значень 35...40 МПа.

9. Порівнянням механічних властивостей сталі кутників рамної конструкції тривало експлуатованого буртоукладника з вихідним станом металу виявлено, що міцність та пластичність

істотно не змінилися, однак, погіршилася ударна в'язкість металу, причому, практично незалежно від знака змінних напружень. Показано, що корозійне середовище значно прискорює руйнування в експлуатованому матеріалі за циклічних навантажень. На основі результатів експериментальних досліджень визначено критеріальні значення коефіцієнтів інтенсивності напружень, розроблено практичні рекомендації щодо оцінки довговічності рамної конструкції зі змодельованими тріщиноподібними дефектами різної форми та геометрії шляхом визначення граничного значення числа циклів навантаження.

10. Розрахунок техніко-економічних показників, що характеризують ефективність заміни існуючого на ПрАТ «Стрижавський кар'єр» обладнання для переробки гранітної маси новим обладнанням, розробленим на базі вмонтованого привода, свідчить про доцільність такої заміни, оскільки вона дасть можливість збільшити обсяги переробки гранітної маси (на 7,4%), зменшити капітальні та експлуатаційні витрати на (60%), знизити собівартості продукції (на 4,2%), збільшити чистий дохід (на 7,3%), а також валового прибутку (на 12,9%), підвищити індекс рентабельності (на 10,7%) та зменшити термін окупності (на 18,8%).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Спиваковский, А. О. Теория ленточных конвейеров / А. О. Спиваковский, В. Г. Дмитриев. – М.: Наука, 1982. – 187 с.
2. Панкратов, С. А. Динамика машин для открытых горных и земляных работ / С. А. Панкратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 448 с.
3. Поліщук Л. К. Вмонтовані гідравлічні приводи конвеєрів з гнучким тяговим органом, чутливі до зміни навантаження [Текст] : монографія / Л. К. Поліщук, О. О. Адлер. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 184 с.
4. Харченко Є. В. Розрахунок перехідних процесів у стрічковому конвеєрі з урахуванням рухомості меж транспортувального органу / Є. В. Харченко, Л. К. Поліщук, С. Собковскі. – «Технічні вісті» (Українське інженерне товариство у Львові), 2001. – №1 (12), №2 (13). – С. 102-106.
5. Поліщук Л. К. Синтез системи пуску гідравлічного привода стрічкового конвеєра / Л. К. Поліщук, А. О. Малярчук, Р. П. Коцюбівський, О. О. Адлер. – Промислова гідравліка і пневматика, 2010. – №4 (30). – С. 61-63.
6. Поліщук Л. К. Вмонтований привод з автоматичним вмиканням паралельно встановлених гідродвигунів / Л. К. Поліщук, Є. В. Харченко, О. О. Адлер. – Машинознавство, 2009. – №1 – С. 32-36.
7. Polishchuk L. K. Mathematical modeling of dynamic processes of control device of hydraulic drive of belt conveyor with variable load / L. K. Polishchuk, O. O. Koval. – Tehnomus Journal. New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, 2015. – Issue 1. - P. 141-147.
8. Поліщук Л. К. Аналіз вільних коливань механічної системи стріли відвалоутворювача у вертикальній площині / Л. К. Поліщук, Є. В. Харченко. – Вібрації в техніці та технологіях, 2011. – №3 (63) – С. 33 – 38.
9. Polishchuk L. Modal analysis of the spreader boom as a system of articulated timoshenko beams / L. Polishchuk, Y. Kharchenko, J. Jaroszewicz. – Tehnomus Journal. New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, 2013 – V.1 – P. 74-78.
10. Polishchuk L. K. Estimation of the In-service Degradation of Steel Shapes for the Boom of a Clamp-Forming Machine / L. K. Polishchuk, Y. V. Kharchenko, O. I. Zvirko. – Materials Science, January 2014. – V. 49, Issue 4. – P. 501–507.
11. Y. Kharchenko Corrosion-fatigue crack-growth resistance of steel of the boom of a clamp-forming machine / Y. Kharchenko, L. Polishchuk, O. Zvirko. – Materials Science, Sept. 2015. – Vol. 51, Issue 2. – P. 229-234.
12. Polishchuk L. Life time assessment of clamp-forming machine boom durability / L. Polishchuk, O. Bilyu, Y. Kharchenko. – Diagnostics, 2015. – Vol. 16, No.4. – P. 71-76.

Леонід Клавдійович Поліщук – к.т.н., доцент, професор кафедри МРВОАВ, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Leonid K. Polishchuk – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor, Professor of machine tools and automated production equipment department, Vinnytsia, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com