

А.О. Ларін

Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ТАНКОВИХ ДИЗЕЛІВ СІМЕЙСТВА ТД (ІСТОРІЯ ПИТАННЯ)

© Ларін А.О., 2010

Показано внесок учених Харківського політехнічного інституту у доробок танкового дизеля 5ТДФ та створення нових модифікацій дизелів сімейства ТД. Особливу увагу приділено дослідженням коливань, які істотно впливають на надійність і довговічність двигунів.

The contribution to refinement of the tank diesel 5TDF by scientist of Kharkov polytechnic institute and creation new modification of diesels family TD is considered. Especial attention is studies to the vibration, which considerably influence upon reliability and longevity of the engines.

Напередодні Великої Вітчизняної війни у Радянському Союзі були створені кращі у світі зразки танків. Успіхи радянських танкобудівників у 1940–1950-ті рр. багато в чому зумовлені застосуванням для середніх і важких машин дизельного двигуна сімейства В-2, створеного у 1930-ті роки на Харківському паровозобудівному заводі імені Комінтерну*. Двигун є найважливішим агрегатом бойової машини. Його розробка потребує більше часу, ніж сама машина. Але вдалий двигун дає змогу створювати сімейства танків та іншої техніки. Так сталося і з першим в світі танковим дизелем В-2. Ним були оснащені не тільки славетні Т-34, а й усі важкі та середні танки і самохідні гармати під час Великої Вітчизняної війни і в повоєнні роки. Він також застосовувався у багатьох інших об'єктах, зокрема мирного призначення.

У той самий час В-2 у роки війни ще мав багато серйозних недоліків і його реальний моторесурс становив усього понад 60 год. Тільки після війни конструкцію дизеля В-2 було вдосконалено. Проблемам доводки першого в світі танкового дизеля В-2 присвячена стаття [1]. У повоєнні роки російські танкові заводи орієнтувались на використання дизеля типа В-2, що так добре себе зарекомендував.

На Харківському заводі - ХЗТМ було вирішено створити новий танковий дизель, робота над яким розпочалася у 1953 р. Двигун, що випередив свій час і став основою для створення сімейства двигунів, призначених для бронетанкової техніки, визначив шляхи її розвитку в СРСР, а пізніше і в незалежній Україні. За основу під час проектування танкового дизеля нового покоління був прийнятий авіаційний дизель, що розроблявся у Центральному інституті авіаційного моторобудування під керівництвом О. Д. Чаромського. Проект не був реалізований, оскільки авіаційна промисловість перейшла на газотурбінні двигуни. У липні 1955 р., після затвердження проекту, на ХЗТМ було організовано КБ з танкового двигунобудування – відділ 60Б. Головним конструктором двигунів був призначений О. Д. Чаромський, який переїхав з Москви до Харкова.

Новий п'ятициліндровий танковий двигун 5ТД – це двовальний двотактний дизель з рядним горизонтальним розташуванням циліндрів і поршнями, що рухаються назустріч один одному. Він мав робочий об'єм усього 13,6 л і потужність 580 к. с. з можливістю подальшого форсування. Його показники за літровою і особливо за об'ємною потужністю були для свого часу рекордними, що поєднувалось з високою економічністю.

* З 1957 р. Харківський завод транспортного машинобудування (ХЗТМ) ім. В.О. Малишева.

Продувний та випускний колінчасті вали пов'язані один з одним головною передачею, що складається з п'яти зубчастих коліс, що задає однакове направлення їх обертання. Для розвантаження блока циліндрів, що виконано із алюмінієвого сплаву, від зусиль, що розтягують, картери колінчастих валів з'єднані між собою шістьма парами сталевих анкерних болтів. Особливістю валопроводу є відсутність маховика, який є звичайним засобом відділення двигуна від трансмісії [1, с. 30].

Двигун має турбінне наддування із комбінованим зв'язком компресора, газової турбіни і випускного колінчастого вала. Турбіна, що обертає вал компресора, працює від енергії вихлопних газів, а у разі її недостатці, знімає потужність від головної передачі. Складнішу проблему здійснення силового зв'язку між турбіною і компресором, що знаходяться з різних боків двигуна, блискуче вирішив конструктор Г. А. Волков, який запропонував зробити її у вигляді з'єднання, що розташовується всередині кулачкового вала паливних насосів. Привід складається з трьох тонких валів (ресор), послідовно з'єднаних між собою сталевими цементованими шліцьовими втулками, що обертаються в бронзових підшипниках ковзання [2, с. 397].

Для зниження ударного навантаження до величин, що допускаються, застосовується фрикційна муфта постійної затяжки, розроблена і освоєна силами ХКБД.

Серед робіт з удосконалення вузлів, деталей і систем 5ТДФ виділяється привід стартер-генератора, що являє собою гідромеханічну передачу з автоматичною зміною передаточного відношення під час переходу із стартерного режиму в генераторний. Для того, щоб подолати динамічне навантаження, яке виникає в приводі під час пуску, а також в різноманітних ситуаціях, характерних для експлуатації танкового дизеля, знадобилися роки наполегливих зусиль [2, с. 513].

З цим двигуном у КБ під керуванням О. О. Морозова був створений новий танк – об'єкт 430. Хоча і танк, і двигун показали високі якості, в серійне виробництво вони не пішли, оскільки їхні тактико-технічні характеристики не задовольняли новим підвищеним вимогам [2, с. 432–433]. Але, оскільки у нового двигуна були ще великі можливості для форсування, розробка цієї схеми продовжувалась. У результаті з'явився форсований дизель 5ТДФ, виготовлення перших зразків якого почалось в 1964 р. З початку воно відбувалось у цехах, що випускали серійну продукцію, а в грудні 1965 р. наказом міністра оборонної промисловості СРСР С. О. Зверева при заводі ім. Малишева був організований самостійний підрозділ – Харківське конструкторське бюро з двигунобудування (ХКБД) [2, с. 505].

У 1966 р. дизель 5ТДФ успішно пройшов 200-годинні випробування. За період його конструкторського і технічного доведення з 1962 до 1967 рр. змінились фактично усі вузли двигуна [3, с. 10]. Головними перевагами нового дизеля були мала висота – усього 581 мм та двобічний відбір потужності.

КБ Морозова почало роботу над новим танком – об'єктом 432 (Т-64), намагаючись домогтись вищих тактико-технічних якостей. У новій машині була встановлена гармата У-5ТС калібру 115 мм, вперше в танкобудуванні застосовано комплексний багаточаровий комбінований захист. Також вперше у світі застосовано механізм заряджання, що дало можливість зменшити екіпаж танка до трьох осіб, завдяки чому був також зменшений і об'єм бойового відділення. Крім того, машина мала нову конструкцію ходової частини та гусениць [4, с. 98–100].

Унікальні масово-габаритні характеристики 5ТДФ дали змогу створити компактне моторно-трансмісійне відділення (МТВ), що загалом дуже посприяло компоюванню усього танка. Плоский двигун уможливив розмістити радіатори систем охолодження і змащування зверху і, незважаючи на це, знизити висоту танка до 2,17 м. Для порівняння, сучасні танки інших країн мають висоту не менше 2,7 м. Відбір потужності з обох боків випускного колінчастого вала дав змогу радикально змінити компоювання МТВ і відмовитись від головного і бортових фрикціонів. Танк оснащений двома планетарними коробками зміни передач (КЗП) та планетарними бортовими передачами. Повороти здійснюються включенням в КЗП борта, що відстає, нейтральної передачі або передачі на ступінь нижче, ніж у того, що випереджає.

Незважаючи на те, що історія створення сімейства танкових дизелів ТД докладно описана в фундаментальних монографіях, наприклад [2, с. 395–407, 505–518], в них фактично не приділяється

уваги такій найважливішій проблемі створення нового дизеля, як боротьба з вібраціями. Однак ці проблеми для дизеля 5ТДФ були навіть більшими, ніж для інших двигунів. Це пояснюється більшим його навантаженням, а також легкою конструкцією корпусу і новим типом схеми.

Так, під часри його створення сподівались, що він розвиватиме потужність 1000 к.с. при 3000 об/хв. Однак в кінці робочого діапазону виникав резонанс крутильних коливань, крім того, двигун виявився перевантаженим. Отже, довелося обмежити максимальні оберти до 2800 об/хв і знизити потужність до 700 к.с. Однак в наступні роки потужність дизеля 5ТДФ була підвищена спочатку до 750, а потім і до 840 к.с. (див. таблицю).

Танкові двигуни сімейства ТД

Марка двигуна	Рік	Потужність, к.с.	Режим, об/хв	Машини
5ТД	1958	580	3000	Об'єкт 430
5ТДФ	1969	700	2800	Т-64, Т-64А, Т-64Б, Т-64БВ
	1971	750		
	1980	840		
6ТД-1	1979	1000	2800	Т-64АМ, Т-64БМ, Т-80УД
6ТД-2	1985	1200	2600	Т-84
5ТДФМ	1986	1000	2600	Т-64АГ, Т-55АГМ,
3ТД-1	1990-і	280	2600	Автобуси, БТР, БМП
3ТД-2		400	2600	
3ТД-3		500	2600	
3ТД-4		600	2600	

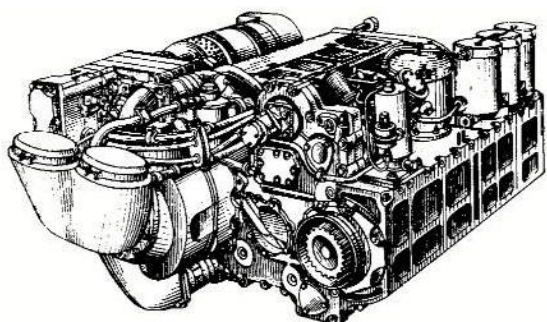
Наказом Міністра оборонної промисловості №62 від 6 травня 1965 р. танкове КБ (відділ 60) і дослідницький цех танкового виробництва (цех 190) були об'єднані в самостійне підприємство “Харківське конструкторське бюро з машинобудування” (ХКБМ). Начальником і головним конструктором нового КБ був призначений О. О. Морозов [4, с. 103–104]. Першим досягненням ХЗТМ став новий танк, який у 1967 р. був представлений на Державні випробування. Він був створений на базі серійного Т-64 і він мав 2007 вузлів і 7797 деталей, у тому числі 798 вузлів і 1968 деталей, що відрізнялися від базової моделі. Головною перевагою нової машини став потужніший комплекс озброєння – на танк була встановлена гладкоствольна 125-мм гармата Д-81 з унікальними балістичними характеристиками. Крім того, було підсилений броньовий захист, зокрема від кумулятивних снарядів, хімічної та ядерної зброї. Незважаючи на великі труднощі перебудови вже налагодженого виробництва, постановою ЦК КПРС і Ради міністрів СРСР від 20 травня 1968 р. № 360-137 і частковими змінами постанови ЦК КПРС і Ради міністрів СРСР від 15 серпня 1967 р. № 802-266 ініціатива ХКБМ і заводу ім. Малишева була прийнята. Танку надали шифр Т-64А і дали можливість заводу випустити установочну партію з десяти машин [5, оп. 25, од. зб. 82, л. 67–68].

Т-64А успішно пройшов військові випробування і був прийнятий на озброєння Радянської армії. Спеціалісти порівнюють появу цієї машини тільки зі створенням видатної тридцятичетвірки. Т-64А реалізував концепцію основного танка, що поєднував бронювання і озброєння важкого танка з масово-габаритними характеристиками і маневреністю середнього. Його поява уможливила відмовитись від розподілу танків на класи (важкі, середні та легкі).

Оскільки створити танковий дизель потужністю 1000 к.с. конструкторам ХКБД не вдалось, у 1975 р. розгорнулись роботи зі створення на базі 5ТДФ шестициліндрового дизеля. Окрім шостого циліндра, для розміщення якого у танку були резерви простору, збільшили циліндрову потужність за рахунок турбінного наддування. На створення нового дизеля, що отримав назву 6ТД-1, з моменту випуску креслень до державних випробувань, що були проведені у 1979 р., пішло усього чотири роки. Паралельно з ХЗТМ разом зі співробітниками ХКБД виконали роботи зі створення моторно-трансмійної установки з новим дизелем [2, с. 516].

Ще за шість років у двигунах сімейства ТД все-таки вдалось досягнути циліндрової потужності 200 к.с. – новий двигун 6ТД-2 розвиває потужність 1200 к.с., а модернізований 5ТДФМ – 1000 к.с. Це стало можливим завдяки застосуванню потужнішої турбіни в системі забезпечення повітрям. Хоча оберти цих двигунів досягають 3000 за хв, максимальна потужність розвивається на режимі 2600 об/хв. Шестициліндрові дизелі дали змогу створити нові танки Т-80УД і Т-84, що успішно конкурують з кращими зразками танків на світовому ринку озброєнь. Вони також дали змогу зайнятися радикальною модернізацією танкового парку, причому не тільки підвищити потужність Т-64, але й замінити V-подібні дизелі у машинах російського виробництва Т-72, а також у самих численних за усю історію світового танкобудування танках Т-55. Модернізація проводиться не тільки для української, а й для іноземних армій, що уможливило забезпечити ХЗТМ замовленнями.

З того часу, як Україна отримала незалежність, були порушені зв'язки з країнами, що постачали різноманітні бойові і транспортні машини, а також двигуни до них. Для заміни двигунів автобусів “Ікарус”, бойових машин піхоти (БМП), бронетранспортерів і другої техніки, що вийшли із ладу, терміново знадобилися двигуни, потужність і габарити яких менші за танкові. Для них на базі дизелів 6ТД-1 і 6ТД-2 був розроблений новий модельний ряд трициліндрових двигунів. Дизелі 3ТД випускаються у чотирьох основних варіантах з потужністю від 280 до 600 к.с. Заміна в бронетранспортерах БТР-60, БТР-70 і БТР-80 двох бензинових двигунів на потужніший дизель дає змогу продовжити термін служби цих машин. Крім того, дизелі типу 3ТД дали можливість створити вітчизняні бронетранспортери БТР-3 і БТР-4, які за своїми характеристиками близькі до БМП. Застосування дизелів сімейства ТД для створення нової і модернізації існуючої бронетанкової техніки наведено у таблиці.



Зовнішній вигляд дизеля 5ТДФ

Впровадження у танкобудуванні нового сімейства двотактних дизелів з поршнями, що рухаються назустріч один одному, створило дуже багато проблем. Серед них не останнє місце займають проблеми вібрацій. Специфічна схема двигуна породила нові для двигунобудівників проблеми.

Протягом багатьох років склалася така практика розробки ДВЗ: спочатку створюється одна секція майбутнього двигуна і на ній відпрацьовуються усі параметри його робочого процесу. Після того, як робочий процес відпрацьовано, приступають до створення багатоциліндрового двигуна, або навіть цілого сімейства. При цьому попередніх розрахунків коливань не проводили навіть для найпростіших моделей крутильних коливань. Найбільше, на що були спроможні заводські КБ, – це розрахунок власних частот крутильної системи методом ланцюгових дробів [6, с. 84], що у 1970-ті рр. вже безнадійно зстарів. Однак, як відомо автору, ним продовжували користуватися ще й у 1980-ті рр., і пізніше. До проведення масштабніших динамічних розрахунків зверталися тільки у разі небезпечних коливань, що призводять до руйнування двигуна.

Це приводило до того, що за відпрацювання двигуна, у разі небезпечних резонансних коливань для відстройки від резонансу можна було варіювати тільки деякими параметрами, оскільки змінювати конструкцію циліндро-поршневої групи вже було неможливо.

Вже на ранніх стадіях доводки двигуна 5ТДФ було відмічено випадки поломок ресор приводу турбінного наддування на експлуатаційних режимах. Металографічні дослідження показали, що причиною руйнування є високі напруги. Проведене тензометрування допомогло виявити, що значні напруги в ресорах виникають при переключенні передач під дією сил інерції, що посилюються

впливом фрикційних автоколивань. Двигун 5ТДФ оснащено всережимним регулятором, з'єднаним за допомогою жорсткого зв'язку з випускним валом. Під час стендових випробувань були виявлені коливання низької частоти, що збуджувались взаємодією приводу наддування з регулятором, які і стали причиною поломок. Спеціалісти ХКБД здійснили спроби теоретичного обґрунтування цього явища, але вони не мали успіху, оскільки для дослідження нелінійної системи застосовувались звичайні частотні методи розрахунку стійкості лінійних систем [3, с. 1–4].

Тоді конструктори двигуна змушені були звернутися за допомогою у Харківський політехнічний інститут (ХПІ). Цей і усі подальші розрахунки коливань дизелів 5ТДФ і 6ТД проводились у групі силових передач Проблемної лабораторії динамічної міцності деталей машин ХПІ, яку очолював професор Л.І. Штейнвольф. З участю співробітників ХПІ були проведені експериментальні дослідження стійкості системи регулювання з різними варіантами регуляторів, за яких було виявлено, що на режимах, що відповідають частотам 15-17 Гц, а також на робочих режимах від 2000 об/хв до верхньої межі робочого діапазону, спостерігаються інтенсивні коливання, за яких навіть відбувається втрата стійкості системи регулювання. Однак це не відображається на її роботі, оскільки резонанси приводу турбінного наддування відповідають режиму запуску двигуна, а втрата стійкості у робочому діапазоні відбувається тільки під час переключень КЗП танка або під час роботи двигуна без навантаження [3, с. 33].

Для отримання детальніших даних про роботу системи регулювання були проведені численні експерименти, які показали, що на частотах 17 і 33 Гц резонує низькочастотний привід турбінного наддування, що викликає також інтенсивні коливання регулятора. Якщо муфта постійної затяжки ковзає, ці коливання обмежуються за амплітудою, але при цьому виникають високочастотні (від 120 Гц) фрикційні автоколивання, які зникають за з'єднання обох часток муфти. Однак фрикційна муфта постійної затяжки хоч і захищає привід від руйнування, сама може бути недовговічною.

Проведені дослідження характеристик муфт показали, що вони залежать від багатьох чинників і змінюються в процесі експлуатації. Головну роль у характеристиці муфти відіграє змащування поверхонь тертя, а падіння моментів сил тертя під час експлуатації насамперед залежить від їхнього зношення. В результаті проведених досліджень були отримані необхідні статистичні дані і розроблена методика визначення ресурсу муфт.

Ще одна проблема, з якою стикнулися двигунобудівники, – критичні оберти ротора нагнітача. У рамках госпдоговору № 21922/1320П від 12 березня 1971 р. між підприємством п/с № В-8748 (ХКБД) і ХПІ була виконана робота з визначення критичних швидкостей роторів різноманітних конструкцій. Дослідження, що були проведені, показали, що під час розрахунків критичних швидкостей пружність вала і гіроскопічний момент крильчатки мало впливають на першу критичну швидкість, що дає змогу істотно спростити модель. Результати розрахунків показали, що на деяких режимах роботи може бути критичний стан ротора нагнітача, тому були зроблені пропозиції щодо зміни його параметрів [7, с. 77–121].

Досвід експлуатації дизеля 5ТДФ також показав, що під час його запуску у приводі стартер-генератора виникає складний перехідний процес типу проходу через резонанс, що визначається зовнішніми неперіодичними силами, які прикладені до ротора і двигуна. Аналогічний процес виникає також і за аварійної зупинки двигуна. Небезпечні динамічні процеси, як сталі, так і перехідні, виникають також у приводі до турбіни і нагнітачі, що має низькі власні частоти. Сталі субгармонійні коливання можуть проявлятися у цьому приводі і від низькочастотних гармонік, що збуджують, які виникають за нерівномірної роботи циліндрів.

Динамічні розрахунки приводу стартер-генератора були проведені у рамках того самого госпдоговору № 21922/1320П. Вони показали, що найнебезпечнішими з точки зору міцності є процеси, що виникають під час запуску і гальмування двигуна [7, с. 122–151].

Подальші дослідження показали, що однією з причин поломок зубчастих коліс привода стартер-генератора був нерівномірний розподіл навантаження по ширині зуба, яке виникає

внаслідок деформацій згину валів у плоскостях, паралельних до площини зачеплення. При цьому сумарний кут перекосу залежить від податливості опор і корпусу двигуна [8, с. 150–151].

Ще однією динамічною проблемою дизеля 5ТДФ стали інтенсивні крутильні коливання основної системи валопроводу. Однак, оскільки виходу з ладу двигунів з цієї причини не відбувалося, до початку 1970-рр. серйозних досліджень динамічної міцності основного валопроводу дизеля 5ТДФ не проводилось. Однак у зв'язку зі створенням дизеля 6ТД виникла необхідність в оцінці ступеня небезпечності крутильних коливань [9, с. 7]. Тому на початку 1970-х рр. були проведені експериментальні дослідження крутильних коливань валопроводу дизеля 5ТДФ, які здійснювались на спеціальному стенді. Навантаження на двигун створювалось за допомогою гідрогальму або спеціальних генераторів [9, с. 49–50]. Результати випробувань дизеля 5ТДФ, що наведені у звіті з госпдоговірної теми [9, с. 65, 70–73], показали, що на найімовірніших експлуатаційних режимах виникають резонансні коливання.

Розглядалось також завдання міцності колінчастих валів. При цьому обов'язково потрібно було враховувати податливість виконаного зі сплаву на основі алюмінію корпусу двигуна, який встановлюється у танку на трьох опорах і дуже деформується, особливо для шестициліндрового двигуна, розмір якого більший. Крім того, треба було враховувати також зубчасту передачу, що з'єднує колінчасті вали, оскільки вона призводить до істотного зниження власних частот. Під час роботи була розроблена методика розрахунку спектральних характеристик колінчастих валів як просторових рам на пружних опорах на основі застосування методу скінченних елементів [8, с. 64–77].

Корпуси двигунів, крім того, потерпали від коливань у вертикальному положенні, що збуджуються неврівноваженими силами інерції. У зв'язку з цим у [8, с. 57–61] була запропонована методика досліджень внутрішньої неврівноваженості конструктивних схем двовальних ДВЗ з урахуванням процесу сумісного деформування пружної системи колінчасті вали – корпус у квазістатичній постановці. Дослідження вільних і вимушених плоско-просторових коливань корпусу проводилось за допомогою стрижневої плоскої пружно-інерційної механічної системи [8, с. 62–64]. Виявлено характер розподілу зусиль у силових елементах двигуна за різного порядку роботи циліндрів.

Дослідження коливань танкових дизелів сімейства ТД проводились в групі професора Штейнвольфа упродовж багатьох років. Завдяки цьому було розроблено багато методів розрахунків коливань дискретних механічних систем як в лінійній, так і в нелінійній постановці. Детальніше про це можна дізнатися у [6; 10].

Загалом проведені наприкінці 60-х – початку 70-х рр. ХХ ст. науковцями ХПІ розрахунки показали необхідність подальшого співробітництва у справі покращання динамічних характеристик дизеля 5ТДФ, а головне – для доробки нового дизеля 6ТД. Це співробітництво було продовжено і принесло свої плоди.

Упродовж багатьох років проводились розрахунково-експериментальні дослідження коливань валопроводу дизеля 6ТД. Розрахунки сталих коливань, що були проведені для визначення максимальних значень пружних моментів на колінчастих валах і на елементах приводів турбіни і компресора, дали змогу знищити небезпечні резонанси у двигунах 6ТД-1 6ТД-2. Ці роботи досконало описані в монографії доктора технічних наук, професора В.М. Шатохіна [11, с. 320–364], який зробив вагомий внесок в проведення цих робіт.

Зменшення кількості циліндрів підвищило власні частоти системи валопроводу і резонанс, зумовлений наявністю пружної муфти у головній передачі з основною для цього двигуна третьою гармонікою, потрапив вже не на режим запуску, а в робочий діапазон. В результаті досліджень, що були проведені В.М. Шатохіним разом з співробітниками ХКБД, були підібрані параметри системи. Для заспокоєння коливань був застосований силіконовий демпфер, а крім того, раціональніше вибране місце встановлення муфти. Ці роботи також описані в монографії [11, с. 410–429].

Варто відзначити, що виконання важливих оборонних завдань не тільки покращило характеристики танкових двигунів, а й сприяло формуванню творчого колективу у межах проблемної лабораторії динамічної міцності деталей машин ХПІ. Під час їхнього виконання більше десяти співробітників інституту захистили кандидатські дисертації. Продовжуючи дослідження у галузі динамічної міцності у машинобудуванні п'ять з них пізніше стали докторами технічних наук.

1. Ларін А.О. З історії створення танкового дизеля В-2. Дослідження крутильних коливань трансмісії / А. О. Ларін // Питання історії науки і техніки. – 2009. – № 2. – С. 83–89 2. ХПЗ – Завод імені Малышева. 1895–1995. Краткая история развития / А. В. Быстриченко, Е.И. Добровольский, А.П. Дроботенко и др. – Х.: Прапор, 1995. – 792 с. 3. Исследование переходных процессов и автоколебаний привода, связанных с системой регулирования / Отчет по НИР (окончательный) / Харьковский политехнический институт. – Инв. № 2869. – Харьков, 1969. – 164 с. 4. Харьковское конструкторское бюро по машиностроению имени А.А. Морозова / А. И. Веретенников, И. И. Рассказов, К. В. Сидоров, Е. И. Решетило. – Харьков, 2007. – 188 с. 5. Фонды Центрального Государственного Архива общественных объединений Украины 6. Ларин А. А. Вклад ученых Харьковского политехнического института в развитие методов расчета крутильных колебаний валопроводов / А. А. Ларин // Вестник Национального технического университета “ХПИ”. История науки и техники. – 2009. – Вып. 29. – С. 83–91 7. Определение надежности и ресурса динамически нагруженных приводов турбопоршневого двигателя. Ч. 1 / Отчет по НИР / Харьковский политехнический институт Инв. № 2869. – Харьков, 1972. – 161 с. 8. [Халыпа КТН] Халыпа В. М. Исследование связанных колебаний коленчатых валов и внутренней неуравновешенности ДВС с учетом податливости корпуса / В.М. Халыпа // Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1982. – 180 с. 9. Исследование и выбор параметров динамически нагруженных приводов турбопоршневого двигателя. Ч. 1 / Отчет по теме № 21511/202 ОП № ГР 71030993. – Инв. № ДПМ-III-75-38. – Харьков, 1975. – 124 с. 10. Ларин А. А. О творческом наследии Льва Израилевича Штейнвольфа – ученого и педагога / А. А. Ларин // Вестник Национального технического университета “ХПИ” “Динамика и прочность машин”. – Харьков, 2006. – Вып. 21. – С. 3–6. 11. Шатохин В. М. Анализ и параметрический синтез нелинейных силовых передач машин / В. М. Шатохин. – Харьков: НТУ (ХПИ), 2008. – 456 с.