

З ІСТОРІЇ СТВОРЕННЯ ТАНКОВОГО ДИЗЕЛЯ В-2. ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ТРАНСМІСІЇ

Ларін А. О., канд. техн. наук, доцент

(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Рассмотрена история исследования крутильных колебаний трансмиссии танков на примере танка Т-34 с дизелем В-2. Приводится драматическая история создания и доводки этого первого в мире танкового дизель-мотора, ставшего основой советской бронетанковой техники в годы Второй мировой войны и в послевоенный период.

This paper deals with history of research of torsion vibrations of tank transmission with a diesel В-2. Dramatic history of development and bringing up this first tank diesel, which was the base of the Soviet armour technique in Second World War, is presented.

Основою бойової могутності сучасних сухопутних військ є бронетанкові війська. Танки, що з'явилися у роки Першої світової війни, до 1930-х років стали головною ударною силою. У Радянському Союзі до початку Великої Вітчизняної війни були створені кращі у світі зразки танків, серед котрих виділявся Т-34. Цей середній танк, створений на Харківському паровозобудівельному заводі імені Комінтерну (ХПЗ)*, залишався неперевершеним за своїми якостями у роки війни. Пізніше він з'явився зразком для створення танків у багатьох країнах.

Успіхи радянських танкобудівників багато в чому обумовлені застосуванням для середніх і важких машин дизельного двигуна сімейства В-2, створеного також на ХПЗ у 1930-і рр.

Двигун є найважливішим агрегатом бойової гусеничної машини і на його розробку витрачається більше часу, ніж на сам танк. Зате вдалий двигун служить основою для створення найрізно-

манітніших зразків бронетанкової техніки і визначає її розвиток на багато років. Так було і з дизелем В-2, модифікації котрого застосовувались в різноманітних танках. Пізніше він послужив прототипом для створення сучасних російських танкових двигунів. Він також знайшов широке застосування в різній техніці, став базовим для створення двигунів більш ніж для 30 об'єктів мирного призначення, причому не тільки для гусеничних машин, а також стаціонарних установок, невеликих суден, вузькоколіїних локомотивів тощо [1, с. 62].

В історії розвитку механіки особливе місце займає історія розвитку теорії коливань, що пов'язана з найбільш важким математичним апаратом. Історія теорії коливань висвітлена дуже мало, в основному тільки у рамках робіт по історії загальної механіки і теорії пружності, наприклад [2-4].

Важливою частиною теорії коливань являються коливання теплових машин, а саме двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Вони є машинами циклічної дії, і в них під впливом газових сил і сил інерції, що змінюються, з'яв-



* З 1957 р. завод транспортного машинобудування ім. В. О. Малишева

ляються інтенсивні коливання, визначаючи в підсумку міцність і надійність всього двигуна [5-7]. Нехтування коливаннями під час конструювання двигуна призводить до затримання процесу його доводки, а іноді робить конструкцію неприцездатною.

Історія створення танкового дизеля В-2 вивчена достатньо, цьому питанню присвячені монографії [1, 8, 9], але в них мало уделено уваги такій важливій проблемі, як боротьба з вібраціями. Однак саме в цьому дизелі поставали дуже серйозні проблеми коливань.

Виробництво танків на ХПЗ було розпочато після виходу у 1929 р. постанови ЦК ВКП(б) і Ради Народних комісарів «О состоянии обороны СССР». Цей завод був не тільки найкрупнішим виробником паровозів, він також мав і великий досвід будівництва дизелів різної потужності, на ньому в свій час ремонтувались трофейні автомобілі, трактори і танки, а також двигуни до них. На ХПЗ випускались найпотужніші у світі трактори з карбюраторними двигунами «Комунар» (90 к.с.) і «Комінтерн» (120 к.с.).

Перші середні танки Т-12, що випускалися на ХПЗ, було оснащено авіаційними бензиновими двигунами французької фірми «Іспано-Сюїза», потужність яких з ціллю збільшення ресурсу була знижена до 200 к.с. На наступну модель середнього танка – Т-24 – встановлювали аналогічний вітчизняний двигун М-6, що вироблявся на Запорізькому заводі №29. Якість перших радянських танків та іншої техніки була недостатня, і для прискорення технічного прогресу були придбані ліцензії на деякі зразки західної техніки, у тому числі на танк супроводження піхоти «Віккерс», що випускався в СРСР під маркою Т-26, і гусеничного шасі М1931 американського конструктора Уолтера Крісті [10, с.34]. На основі цього шасі на ХПЗ був сконструйований і випуска-

вся легкий швидкісний колісно-гусеничний танк БТ-2. Спершу ці танки оснащались американськими двигунами «Ліберті», а потім їх вітчизняними аналогами – авіамоторами М-5. Для наступних танків БТ-5 і БТ-7, а також важких п'ятибаштових машин Т-35 конструкції Ленінградського Кіровського заводу, що також випускалися на ХПЗ, застосовувався ліцензійний V-подібний 12-циліндровий авіамотор рідинного охолодження BMW-VI, що випускався на Рибінському авіамоторному заводі № 26 під маркою М-17. Для оснащення танків часто поступали двигуни, що відпрацювали свій термін в авіації (100 годин).

Висока потужність і гарні масогабаритні показники авіаційних двигунів М-17 цілком задовольняли вимогам їх застосування в танках усіх типів, однак вони були недостатньо витривалі для важких умов експлуатації в танку і недостатньо економічні за витратами палива. Але найголовнішим недоліком бензинових авіамоторів була їх висока пожеженобезпечність, що обумовлена летучістю і вибухонебезпечністю парів високооктанового авіаційного бензину.

Привабливішими для танків були дизельні двигуни. Однак дизелі, що вироблялися до 1930-х рр., були тиххідними і призначались в основному для суден або стаціонарних установок і через свої габарити не могли бути встановлені у танк. Існуючі ж тоді дизелі, призначені для автомобілів і тракторів, мали потужність на порядок меншу за потрібну.

Правда, в багатьох країнах проводились розробки авіаційного дизельмотора. Над такими двигунами працювали і в Москві в Центральному інституті авіаційного моторобудування (ЦІАМ), і в Харкові в Українському науково-дослідному авіадизельному інституті (УНДАДІ), створеному на базі лабораторії Харківського технологічного

інституту (ХТІ). Цей інститут, котрий очолював професор Я. М. Майер, колишній директор ХТІ, займався створенням чотирьохтактного V-подібного 12-циліндрового авіаційного дизеля АД-1, але далі випробувань одного відсіку творці цього двигуна не просунулись.

Навесні 1931 р. ВРНГ СРСР запропонувала Харківському паровозобудівному заводу взятися за виробництво автотракторного дизеля потужністю не нижче 300 к.с. В технічному завданні вказувалась схема – V-подібний, 12-циліндровий с номінальним режимом – 1600 об/хв. У постанові уряду двигун називався автотракторним, але це було зроблено із міркувань секретності, новий дизель призначався для танків, а тракторів і автомобілів, що потребують такого потужного двигуна, не було.

Дизельний відділ ХПЗ, що його очолював К. Ф. Челпан, приступив до завдання, коли прототипу для такого мотора а ні в СРСР, а ні за кордоном не було. В роботі використовувався досвід, що накопичувався на ХПЗ при виробництві стаціонарних і суднових дизелів, а також карбюраторних двигунів. Недарма головні розміри нового дизеля – діаметр циліндра 150 мм і хід поршня 180 мм були прийняті такими ж, як і у двигуна тягача «Ворошиловець», що на той час випускався на заводі. Це дало змогу використовувати обладнання і оснастку, які вже існували.

Наприкінці 1934 р. декілька дизелів БД-2 успішно пройшли випробування на тягачі «Ворошиловець», катерах і танках БТ-5 [8, с. 39]. 27 березня 1935 р. 31 робітник заводу було нагороджено орденами і Почесними грамотами ЦВК СРСР. Серед них вищу нагороду – орден Леніна – отримали директор заводу І. П. Бондаренко, начальник дизельного відділу К. Ф. Челпан, начальник КБ Я. Є. Віхман [8, с. 39-40]. Але слідом за першими успіхами почався довготривалий період доводки двигуна, котрий, як правило, більш важкий і до-

вгий, ніж сама розробка. Не випадково в акті один з членів комісії по дизелю БД-2 записав: «Мало двигатель построить, нужно его довести, а доводка во много раз труднее, чем сама постройка» [8, с.47]. При створенні швидкісних полегшених двигунів конструктори зустрінулись з новими проблемами, що раніш не зустрічались в важких тихохідних стаціонарних і суднових дизелях. Полегшені авіаційні і танкові двигуни мають більш низькі власні частоти і в той же час більші оберти. В зв'язку з цим у робочому діапазоні можуть виникнути резонансні коливання. Оскільки на ХПЗ не було дослідницької бази, йому був переданий УНДАДІ, що отримав назву НДІ-466. Цінність його для заводу полягала не тільки в залученні кваліфікованих спеціалістів, а і в тому, що НДІ-466 мав гарно обладнані дослідницькі лабораторії, такі як моторна (іспитова станція с трьома стендами), паливної апаратури, динамічна, хіммотології і дослідну базу з обробляючими та збиральним цехами. Були залучені також і співробітники ЦІАМ. Саме фахівці НДІ-466 і ЦІАМ доводили конструкцію танкового дизеля і налагоджували його виробництво.

Під час стендових випробувань виявився цілий ряд недоліків. Серед них були і претензії до динамічної міцності двигуна, а саме, недостатня жорсткість картера, блока і гільзи циліндрів. В зв'язку з цим корпус двигуна було посилено [8, с.48]. Перші шатуни двигуна БД-2 були вилкового типу і ламались, не витримуючи високих навантажень. Було проведено дослідження динаміки шатунно-поршневої групи дизеля (виконавці – співробітники НДІ-466 Ю. А. Гопп і М. М. Глаголев) [1, с. 81]. Коли перейшли на причіпні шатуни з невеликою різнохідністю по правому і лівому блокам, поломки припинились. Особливо багато було проблем з найбільш навантаженою деталлю двигуна – колінчастим валом, наприклад, його

поломка по щоках. Колінчасті вали авіа-моторів, як правило, були з щоками овальної форми, і на двигуні БД-2 перші вали зробили такі ж. Однак жорстка робота дизеля і більш високі навантаження, ніж в авіаційних двигунах, приводили до поломок. Для усунення цього дефекту перейшли до щік круглої форми.

А найважливішим недоліком була неможливість роботи двигуна в інтервалі 900-1200 об/хв через сильні крутильні коливання колінчастого вала, на якому утворювався вузол коливань. Колінчастий вал було посилено, однак проблема крутильних коливань залишилась, тільки резонансна зона перейшла вище, залишаючись при цьому в робочому діапазоні. Впоратись з цим при доводці двигуна не вдалось, тому було вирішено на тахометрі в відповідній зоні нанести червону смугу з надписом «Проходить быстро», що нагадувала механіку-водію про те, що на даних обертах довго працювати не рекомендується аби запобігти сталому руйнуванню колінчастого вала.

До 1937 р. одиничні дизель-мотори виготовляли кращі робочі – верстатники і збірники. Але при організації серійного виробництва двигунів виник ще ряд проблем. Всі роботи виконувались в цехах, що на це не були налаштовані, а будівництво моторного цеха затягувалось, оскільки не була ще готова конструкція двигуна. Одною з причин утруднень і затягування процесу доводки дизеля була хронічна недооцінка керівництвом галузі, і промисловості в цілому, значення дослідно-конструкторських і дослідницьких організацій, дослідних баз підприємств, що проявлялася і в післявоєнний період. За період, що розглядається, спостерігався непропорційний розвиток масового виробництва двигунів в збиток дослідному виробництву і проведенню необхідних досліджень. В результаті цього доводка виробів повсюди проводилась в умовах серійного виробництва.

Оскільки всі ці невдачі відбувались в 1936-1938 рр., на заводі розгорнулись масові репресії. Були заарештовані ведучі спеціалісти – інженери, конструктори і майстри, багато з них розстріляні. Були знищені директор заводу І. П. Бондаренко, начальник танкового КБ, конструктор танків серії БТ А. Й. Фірсов, начальник танкового відділу Л. І. Зайчик, начальник дизельного технологічного бюро А. А. Краснов [10, с. 41-57]. Не пощадили органи НКВС і творця першого в світі танкового дизеля К. Ф. Челпана, що був розстріляний 10 березня 1938 р. Головний інженер Ф. І. Ляц повернувся з ув'язнення тільки у 1950-і роки [10, с. 64]. Постраждав від репресій і співробітник ЦІАМ О. Д. Чаромський, що консультував спеціалістів УНДАДІ і ХПЗ з питань робочого процесу в дизелях. Після декількох років ув'язнення Чаромський був переведений в особливе технічне бюро в Тушино – так звану «Гуполевську шарашку», де розробив досліdnий опозитний дизель ОН-4, що став основою танкового дизеля нового покоління.

І все-таки в 1938 р. танковий дви-

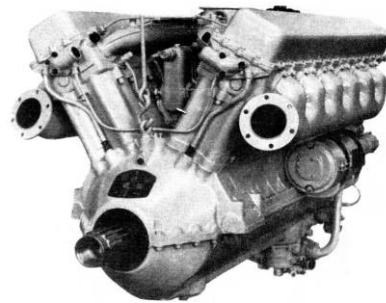


Рисунок 1. Танковий дизель В-2/34

гун, що отримав найменування В-2, був впроваджений у серійне виробництво. На початку 1939 р. дизельне виробництво із складу ХПЗ ім. Комінтерна було виділено в самостійний дизельний завод № 75 Наркомату авіаційної проми-

словості. Заводський НДІ-466 (колишній УНДАДІ) був переданий заводу № 75 і отримав назву відділ 1600.

У 1939 р. дизель В-2 було встановлено на танку БТ-7М замість авіаційного бензинового мотора М-17Т. У тому ж році були створені наступні модифікації дизеля:



Рисунок 2. Перші машини з дизелем В-2: артилерійський тягач «Ворошиловець», легкий колісно-гусеничний танк БТ-7М і середній танк Т-34

В-2/34 – потужністю 500 к.с. при 1800 об/хв для середнього танка Т-34;

В-2В – потужністю 375 к.с. при 1500 об/хв для артилерійського тягача «Ворошиловець»;

В-2К – потужністю 600 к.с. при 2000 об/хв для важкого танка КВ;

В-4 – рядного шестициліндрового

потужністю 250 к.с. при 1800 об/хв для легкого танка Т-50*.

Саме та обставина, що двигун В-2 було створено як багатоцільовий, дала змогу швидко розгорнути його в численне сімейство дизелів, виконаних на одній базі. В важкі роки Великої Вітчизняної війни це забезпечило комплектування усіх середніх і важких танків, а також самохідних артилерійських установок на їх базі одним і тим же дизелем типа В-2. Винятком були легкі танки Т-60, Т-70 і СУ-76, що оснащались шестициліндровим автомобільним двигуном ГАЗ, теж уніфікованим. Таким чином, усі двигунобудівні заводи Наркомату танкової промисловості змогли виготовляти один тип дизелів, що зіграло дуже важливу роль в забезпеченні танкобудівних заводів двигунами і полегшило ремонт та експлуатацію бронетанкової техніки.

Однак надійність бронетанкової техніки, що вироблялась у роки війни, залишалась ще невисокою. До причин виходу машин із строю відносяться і поломки двигунів, що викликані динамічними навантаженнями, особливо крутильними коливаннями валопроводів. Однак під час війни займатися цими питаннями було ніколи – нові танки готували від ескізного проекту до серійного виробництва у лічені місяці.

Тільки після війни – спочатку в авіації, а потім і в танкобудуванні були створені методики і обладнання для іспитів деталей, повнорозмірних моторів і навіть машин в умовах, що приближені до експлуатаційних [9, с. 71]. Перші масштабні експериментальні і теоретичні дослідження крутильних коливань танкових трансмісій було проведено тільки у 1948 р. В статті С. В. Форстена [11] приводяться ре-

* На початку війни танк Т-50 було знято з виробництва, оскільки його вартість наближалась до вартості Т-34, а характеристики були значно нижчі.

зультати торсіографування, що проведено для трьох танків вітчизняного виробництва. Особливо повні дослідження було проведено для танка, зашифрованого в статті літерою "А", в якому, однак, легко впізнати Т-34 с чотирьохступеневою коробкою зміни передач (КЗП). Схема трансмісії представлена на рисунку 3. Розрахунки проводились за допомогою побудування таблиць Толле з редуцією відгілкувань, що запропонована професором Житомирським в роботі [6]. Автор визначає п'ять перших власних частот, вважаючи, що решта не можуть попасти в робочий діапазон [11]. Перші чотири частоти обумовлені параметрами трансмісії і тільки на п'ятій вузол коливань утворюється на колінчастому валу.

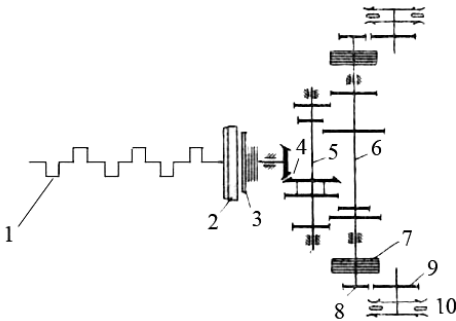


Рисунок 3. - Схема трансмісії танка Т-34

Для більш вдосконаленого дослідження проблеми, з якою зіткнулися інженери в 1940-і роки, було запропоновано метод реконструкції, а саме проведені більш масштабні розрахунки вільних коливань даної системи з допомогою сучасних програмних засобів. По-перше, було обчислено весь спектр власних частот. Крім того, були проведені розрахунки окремо для двигуна разом з маховиком, а також окремо трансмісії, також разом з маховиком. Аналіз результатів показав, яку важли-

ву роль грає маховик, який розділяє систему на дві частини – двигун і трансмісію. Це дозволяє не тільки відсікти від трансмісії коливання, що виникають в двигуні від трансмісії і, навпаки, коливання трансмісії від двигуна. Не менш важлива його роль при поєднанні вже вдосконаленого двигуна з новою трансмісією, що як раз і забезпечує універсальність двигуна.

Для дослідження впливу приєднаної до трансмісії маси гусениці танка автор статті [11] проводить розрахунки, варіюючи момент інерції колеса (поз. 10 рисунок 3), що веде відповідно від повністю знятої гусениці до її повного включення в систему. При цьому власні частоти, що пов'язані з трансмісією, дуже сильно змінюються. Результати впливу моменту інерції на дві перші власні частоти, що отримані автором статті, з яких видно, що частоти зростають, приведені на рисунку 4. Їх аналіз показав, що автор недостатньо володіє теорією коливань, оскільки результати чисельних експериментів суперечать теоремі Релея про те, що зростання маси в любому місці системи підвищує всі власні частоти.

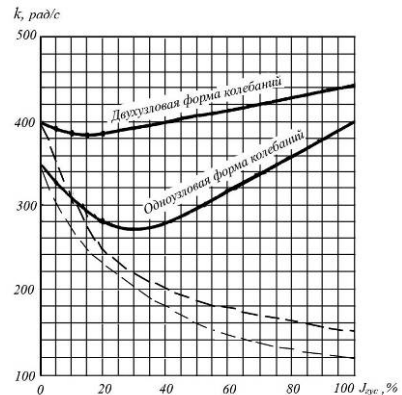


Рисунок 4. Залежності першої (одновузлова форма) і другої (двовузлова форма) власних частот від приведенного до ведучого колеса моменту інерції

гусениці

Правильні залежності частот від приведенного моменту інерції гусениці доведені на рисунку 4 пунктиром. Результати розрахунків, таким чином, показали, що якщо двигун має стабільні значення власних частот, то для трансмісії спектр є повністю заповнений, оскільки в коливаннях бере участь тільки частина гусениці, причому значення її моменту інерції весь час змінюється. Слід також відзначити, що і збудження для цієї частини валопроводу двигуна носить випадковий характер, тому для боротьби з вібраціями в трансмісії слід застосовувати не відстройку від резонансу, а просто добиватися більш ретельного виробництва її деталей та вузлів.

Відомо, що якість техніки, яка вироблялась у роки війни, поступалась продукції мирного часу, тому велика частина танків виходила з ладу через поламки, в тому числі і від підвищених коливань валопроводів. Особливо слабким місцем, окрім колінчастого валу, були КЗП та конічна передача між головним фрикціоном і КЗП. Ситуація покращилась з утворенням для Т-34 більш якісної п'ятиступеневої КЗП [12]. Що стосується проблеми конічної передачі, то від неї позбавились на наступних машинах – Т-44 і Т-54 – шляхом поперечного розміщення двигуна у корпусі танка. Однак це породило іншу проблему – у нових машин було укорочено вал, що єднає двигун з маховиком, завдяки чому власні частоти колінчастого валу стали вищими і тому більш небезпечними.

Крім розрахункових досліджень у 1948 р. проводились експерименти – торсіографування валопроводу танка Т-34. На рисунку 5 представлені залежності розмахів коливань, що записані на кінці колінчастого валу двигуна, від частоти його обертання при русі танка на четвертій передачі, а також при роботі на цій передачі при знятих гусени-

цях. Результати експериментів, що приведені в статті, свідчать, що в робочому діапазоні спостерігаються два резонанси, а в кінці його починається третій. Розмахи коливань на першій резонансній частоті 1350 об/хв (141 рад/с) настільки великі, що кут закручування колінчастого валу досягає $1,8^\circ$. Підвищення розмахів коливань пов'язане з основною – шостою – гармонікою збудження, частота якої дорівнює 848 рад/с. Окрім цього резонансу у валопроводі можуть виникнути ще інші, бо, як показує практика, у V-подібного 12-циліндрового двигуна виникають ще резонанси 1,5, 3,5 та 4,5-ї гармонік* збудження [13, с. 4]. Дійсно, у дизеля В-2 у зоні 1650 - 1700 об/хв спостерігається резонанс 4,5-ї гармоніки, а в кінці робочого діапазону починається ще резонанс 3,5-ї гармоніки (див. рисунок 5).

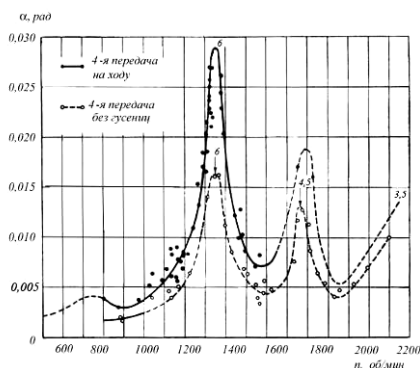


Рисунок 5. Торсіограма двигуна В-2/34 із статті С. В. Форстена [11], (1948 р.)

Метод реконструкції, запропонований в роботі, є хорошим засобом для досліджень в галузі історії науки і техніки; він дозволяє глибше вникнути в проблеми, що стояли перед вченими і

* У двигунобудуванні прийнято при розкладі закону руху колінчастого валу в ряд Фур'є відносити його не до періоду коливань (два оберти у чотирьохтактного двигуна), а до одного оберту. Звідси з'являються і половинні гармоніки.

конструкторами і добути з цієї історії відповідні уроки. В силу об'єктивних, а порою і суб'єктивних причин багато проблем, що виникали при створенні дизеля В-2, в тому числі і проблеми динаміки, вирішувались без відповідної розрахункової і експериментальної бази. Ціною неймовірних зусиль радянські конструктори і вчені створили перший в світі танковий дизель, без якого наша бронетанкова техніка не мала би такої переваги. Як не дивно, ні до війни, ні в її ході промисловість жодної країни не змогла створити не те що рівного радянському дизелю В-2, а просто жодного дизеля, що був би придатним

для установки в танк, хоча перевага створення танка с двигуном, що працює на важкому дизельному паливі, перед бензиновим двигуном, була очевидною.

Наприкінці 1950-х років також у Харкові було створено новий танковий дизель 5ТД з поршнями, що рухаються назустріч один одному. Він став основою для цілого сімейства двигунів. Досвід, що накопичено при розробці В-2, використовувався при створенні дизелів нового покоління. Однак і для них проблеми вібрацій стояли ще багато років. Вивчення історії рішення цього питання – тема для подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зубов Е. А. Двигатели танков (из истории танкостроения). – М.: НТЦ “Информтехника”, 1991. – 112 с.

2. История механики с конца XVIII века до середины XX века – М.: Наука, 1972. – 414 с.

3. История механики в России. – К.: Наук. думка, 1987. – 392 с.

4. Развитие общей механики России и Украины в 20-80-е годы XX века. – Москва: Наука, Киев: Феникс, 1998. – 404 с.

5. Диментберг Ф.М. Применение метода «динамической жесткости» для расчета связанных колебаний // Динамика и прочность коленчатых валов. – М–Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – С. 248-301

6. Житомирский В. К. Крутильные колебания валов авиационных двигателей // Динамика и прочность коленчатых валов. – М–Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – С. 49-81

7. Терских В. П. Метод цепных дробей. – Л.: Судпромгиз, 1955. – 420 с.

8. Дроботенко А. П. Рожденный на ХПЗ. Историко-технический очерк. – Харьков: ЧП Юшко, 2004. – 170 с.

9. История двигателестроения на ХПЗ – заводе имени Малышева. 1911-2001. Историко-технические очерки о двигателях и их создателях. – Х.: «Митець» ГП Завод имени Малышева, 2001. – 480 с.

10. Товажнянский Л. Л., Александров Е. Е., Бесов Л. М., Александрова И. Е. Танкоград: История. Люди. События – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 236 с.

11. Форстен С. В. Особенности расчета танковых установок на крутильные колебания // Динамика и прочность коленчатых валов. – М–Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – С. 82-109

12. Танк Т-34 руководство М.: Военное изд-во НКО, 1944. – 204с.

13. Гопп Ю. А. Демпферы крутильных колебаний коленчатых валов быстроходных двигателей. – Харьков.: Гостехиздат, 1938. – 272 с.