

ДІАГНОСТУВАННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ШЛЯХОМ КОНТРОЛЮ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ОЛИВ

Журавель Д.П., д.т.н.,

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

По зміні хімотологічних показників працюючих олиव можна діагностувати технічний стан окремих вузлів і агрегатів мобільних енергетичних засобів. Основна мета діагностування - попередження відмов в процесі експлуатації. Окремі хімотологічні показники працюючої оливи можуть служити діагностичним параметром, за яким без розбирання агрегату можна оцінити не тільки справність об'єкта в момент діагностування, але і можливість подальшого безвідмовного його використання протягом певного періоду [1-5].

Для діагностування стану окремих вузлів і агрегатів відбирають пробу оливи в кількості 0,3 ... 0,5 л. Олива в дизельному двигуні повинна пропрацювати не менше 100 ... 150 год. Відібрану пробу ретельно перемішують і проводять аналіз окремих хімотологічних показників. Для діагностики двигуна рекомендується в оливах визначити кінематичну в'язкість, температуру спалаху, лужне та кислотне числа, вміст води і забруднень, щільність, колір оливи та ін. Комплексний аналіз результатів даних показників дозволяє провести діагностику стану двигуна з малими трудовитратами і певною вірогідністю.

При встановленні граничних показників в'язкості оливи, яка не пропрацювала свій гарантійний термін експлуатації, потрібно визначення часу заміни оливи і встановлення причин, що викликали прискорену зміну в'язкості. Істотно знижують в'язкість оливи неправильне регулювання паливної апаратури, поганий стан циліндро-поршневої групи, недостатньо гарне сумішоутворення і важкий фракційний склад пальних. При цьому в оливу потрапляють не тільки продукти неповного згоряння, але й сконденсоване пальне. Зменшення в'язкості внаслідок розрідження оливи паливом може спостерігатися і при несприятливих режимах експлуатації: тривала робота на режимах холостого ходу, періодична короткочасна робота з малими навантаженнями і частими зупинками при недостатньому прогріві оливи [6-10].

Для загущених олив зменшення в'язкості може бути обумовлено механічною, термічною або термоокислювальною деструкцією в'язкісних полімерних присадок. Зниження в'язкості через деструкцію в'язкісних присадок зазвичай спостерігається в початковий період роботи оливи після зміни. У подальшому в'язкість зростає в результаті випа-

ровування легких фракцій, накопичення продуктів окислення і полімеризації, а також нерозчинних продуктів. Якщо виявлено прискорене зростання в'язкості, то це свідчить про несправність окремих вузлів і систем двигуна. Так збільшення в'язкості через накопичення часток металу і пилу може бути обумовлено несправностями оливоочисних агрегатів або системи очищення повітря. Прискорене зростання в'язкості оливи може бути викликане і накопиченням у ній розчинних продуктів окислення через спрацювання антиокислювальних присадок. Причинами можуть бути несприятливі режими експлуатації (перегрів двигуна), а також несправності циліндро-поршневої групи, прорив в картер вихлопних газів.

З практики експлуатації відомо, що кожен тракторист або водій щодня оцінює роботу машини і якість оливи насамперед по тиску її в системі.

Якщо відбулося різке падіння тиску (протягом однієї-двох змін), то в даному випадку можна з певною часткою впевненості сказати про серйозні несправності машини і про необхідність усунення дефекту в роботі паливної системи. Підтвердженням правильності діагнозу в даному випадку можуть стати оцінка в'язкості оливи і температури спалаху.

Температура спалаху оливи є показником наявності в ній фракцій дистилатів паливних. Вона змінюється при попаданні в неї незгорілого пального, витоках пального в результаті несправності паливного насоса і форсунок, тривалій роботі на холостому ходу недостатньо прогрітого двигуна. Як критерій працездатності моторної оливи температура спалаху визначається для виявлення гранично-допустимого розрідження оливи паливним, так як не завжди можна визначити розрідження по нижній межі в'язкості. В'язкість є показником, взаємопов'язаним з температурою спалаху. Внаслідок окислення і забруднення оливи в'язкість зростає, і тим самим розрідження оливи паливним може приховуватися. Для працюючих олив граничне значення температури спалаху складає 170...180 °С, а для високов'язких, з високою температурою спалаху, вважають граничним зниження температури спалаху на 40...50 °С. При попаданні в оливу 1% бензину температура спалаху знижується з 200 до 170 °С, а наявність в оливі 6% бензину знижує її майже в 2 рази. Розрідження оливи паливним викликає різке погіршення його протизносних властивостей, прискорює процеси нагаро- й лакоутворення на поршнях. Внаслідок попадання пального на стінки циліндрів через несправності в роботі форсунок виникає великий знос циліндрів і поршневих кілець. При вмісті в оливі 4 і 8 % пального знос деталей циліндро-поршневої групи зростає відповідно на 25 і 50 %.

Взаємопов'язаним показником з температурою спалаху є кислотне число. Так як кислотність дизельних паливних значно вище кислотності дизельних олив, то при попаданні дизельного пального в оливу кислотність останнього зростає. Лужне число є умовною мірою здат-

ності оливи нейтралізувати кислоти, що утворюються з продуктів згорання пального та окислення основи оливи. Лужність, обумовлена наявністю лужних присадок, витрачається на нейтралізацію кислот з різною швидкістю.

При регулярному доливанні на угар свіжої оливи лужне число зазвичай убуває досить повільно, а кислотне зростає за експоненціальним законом. Іноді зростання лужного числа обумовлюється значним випаровуванням основи оливи і концентрацією присадок в ній, що залишаються в картері. Межею працездатності олив дуже часто вважають рівність загального лужного числа загальному кислотному числу. Допустиме значення лужного числа обмежується 1,5...2,0 мг КОН/г, або 50 % лужного числа свіжої оливи. Експлуатація двигуна на оливі з лужним числом нижче граничного веде до прискореного зносу поршневих кілець і циліндрів, іноді спостерігається інтенсифікація лако- й нагароутворення. Низьке лужне число призводить до корозії і руйнування найбільш вразливих деталей двигуна, зокрема вкладишів підшипників колінчастого валу.

У довгостроково працюючій оливі спочатку введені присадки можуть бути повністю витрачені, наприклад, при нейтралізації карбонічних кислот, проте їх солі (продукти нейтралізації) стають носіями лужності в працюючій оливі, а лужне число збільшується.

В цілому можна говорити про те, що різке зниження лужного числа або швидке зростання кислотного числа свідчить про технічні несправності двигуна, в першу чергу циліндро-поршневої групи (ЦПГ). У той же час швидкість зниження лужного числа залежить і від вмісту сірки в пальному. При збільшенні вмісту сірки в пальному 0,2...1% швидкість витрачання нейтралізуючої присадки зростає в 2 рази.

Сучасні моторні оливи, до яких відносяться М-10Г₂К, М-8Г₂К та інші, мають досить високий показник лужного числа - 7,5 мг КОН/г і більше. Разом з тим, у зв'язку з комерціалізацією величезної маси підприємств, що займаються фасуванням та торгівлею мастильними матеріалами, поки досить високий ризик придбання і використання неякісних олив. Такі оливи, як правило, ні за зовнішнім виглядом, ні за текучістю, ні за запахом не відрізняються від якісних. При заправці в двигун такої оливи, як правило, відразу сильно змінюється його колір в перші ж 5...10 годин роботи. Змінюється текучість (в'язкість) і, як наслідок, аварійний вихід з ладу двигуна. Виключити подібного роду ситуації можна тільки періодичним експрес-контролем лужного числа оливи. Дуже важливо правильно оцінити цей показник при придбанні свіжої оливи.

Негативно позначається на процесі окислення оливи наявність води, пилу і продуктів зносу металевих деталей, які надають каталітичну дію на процес окислення оливи, прискорюючи його.

Вміст води служить показником попадання води з системи охолодження або заправки двигуна обводненою оливою. У працюючій

оливі вміст води зазвичай більше, ніж у свіжій. Вода потрапляє в оливу в результаті конденсації її парів з повітря і газів, що прориваються в картер при температурі нижче точки роси. Обводненню оливи цим шляхом запобігти практично не можна. Його можна зменшити шляхом підтримання оптимальних температур оливи і охолоджуючої рідини і забезпечення необхідної примусової вентиляції картера.

Для справного двигуна вміст води в оливі складає 0,03...0,05%. Перевищення гранично допустимих значень прискорює окислюваність оливи, піддаються гідролізу присадки, порушується колоїдна стабільність забруднень, і внаслідок їх коагуляції блокуються масляні фільтри, погіршуються протикорозійні та протизносні властивості оливи. Вода в певних умовах може зіграти основну роль в аварійному виході двигуна з ладу деколи навіть більшою мірою, ніж недостатня кількість присадок в оливі.

З перших же годин експлуатації відбудеться змішування води з оливою в масляній системі, і тоді (навіть якщо вміст води 0,1%) починається різкий процес деструкції присадок. Така олива, потрапляючи по масляним каналам до поршневих кілець, викликає інтенсивне зростання відкладень під кільцями (присадки як би спікаються під кільцями, утворюючи дуже тверді відкладення) за рахунок дії високих температур, що може призвести до їх поломки. Подібного роду процеси відбуваються і в спряженні вкладиш-шийка колінчастого валу. У двигунах з гранично зношеними деталями ЦПГ такі процеси відбуваються ще більш інтенсивно. У деяких випадках подібного роду відхилення можна спостерігати на датчику системи змащення (зміна тиску), в інших випадках змінюється потужність двигуна. У всіх випадках необхідно негайно припинити роботу, заглушити двигун, злити оливу, змінити масляний фільтр, промити систему мащення і заправити свіжою оливу.

Механічні домішки накопичуються в моторній оливі в результаті попадання пилу з повітря або через нещільності картерного простору, а також внаслідок утворень нерозчинних продуктів окислення та зносу деталей ЦПГ. Вважається, що найбільш інтенсивно механічні домішки накопичуються в моторній оливі в перші 60...120 годин роботи, а потім процес стабілізується. У цей період кількість накопичених в оливі і утримуваних вузлами очищення (фільтрами, центрифуги) механічних домішок робиться постійним, що є визначальним для рівноважного стану. Інтенсивне накопичення механічних домішок в перший період роботи оливи пояснюється окисленням малостабільних вуглеводнів оливи у всьому об'ємі змащувальної системи, а потім цей процес протікає, в основному, в оливі, що доливається на угар.

За стандартом вміст механічних домішок у моторних оливах має бути не вище 0,015%. Граничним показником вмісту механічних домішок в працюючих оливах є значення від 1 до 3%, залежно від типу двигуна. Найбільш небезпечні мінеральні домішки. Органічні продук-

ти забруднення, перебуваючи в оливі в тонкодисперсному стані, можуть підвищувати його протизносні властивості. Це відбувається як за рахунок підвищеної поверхневої активності асфальтосмолистої речовини, що збільшують маслянистість оливи, так і буферної дії вуглецевих частинок, що покривають мікронерівності поверхонь тертя і цим оберігають їх від безпосереднього контакту. Крім того, органічні продукти забруднення адсорбуються на неорганічних (мінеральних) частинках і тим самим перешкоджають їх безпосередньому контакту з металевими поверхнями деталей, що знижує знос останніх. Це показує, що знос викликається відносно великими, більше мінімальної товщини масляної плівки, частками неорганічних забруднень. В той же час в результаті високих концентрацій органічних і неорганічних домішок відбувається інтенсивне засмічення трубопроводів і фільтрів, порушення термічних режимів роботи деталей, закоксовування поршневих кілець, що побічно позначається на підвищенні зносу і знижує надійність роботи двигуна. Дослідження працюючих олив показують, що основну масу зважених часток складають домішки розміром 1...3 мкм. Як більш великих, так і дрібних частинок відносно небагато. Зниження концентрації дрібних частинок можливе лише при спрацюванні значної частини присадок, коли відбувається агрегація з наступним осадженням фільтруючими пристроями частинок розміром більше 5 мкм або відкладенням на нагріті поверхні циліндро-поршневої групи (утворення нагару). У відсутності коагуляції частинки даних розмірів найбільш стійкі, практично не осідають, їх кількість стає значною, і вони починають чинити абразивну дію на деталі двигуна.

За зношуванням деталей двигуна можна простежити по концентрації продуктів зносу в оливі. Встановлено, що при тривалій роботі оливи в двигуні, постійної інтенсивності очищення та постійній витраті концентрація продуктів зносу, стабілізується, як і концентрація загальних механічних домішок. Значне підвищення концентрації того чи іншого елемента в оливі свідчить про інтенсивність зношування деталей, для яких цей елемент характерний. Наприклад, по концентрації алюмінію можна судити про знос поршнів, по наявності хрому - про знос хромованих поршневих кілець і т.д.

Для спостереження за процесом зношування двигуна широко застосовується спосіб визначення заліза в оливі. Вміст заліза характеризує протизносні властивості оливи та їх зміни в процесі роботи, зносостійкість деталей двигуна і ефективність засобів очищення, включених в систему змащення. Із збільшенням вмісту заліза в оливі змінюються фрикційні, протизносні, антиокислювальні і миючі властивості оливи. Це є наслідком порушення режиму змащування деталей, які труться, що в свою чергу викликає зростання навантаження і температури в спряженнях. Все це призводить до їх підвищеного зносу, зростання вмісту механічних домішок і кислотного числа оливи. Тому

вміст заліза в оливі обмежується виходячи з його негативного впливу на експлуатаційні властивості оливи з одного боку і з міркувань безпеки і надійності експлуатації двигуна - з іншого. Граничний вміст заліза в моторній оливі для дизелів складає приблизно 0,01...0,02%. Різка збільшення вмісту заліза свідчить про інтенсифікацію процесів зносу. Однак за вмістом заліза в оливі можна оцінити лише сумарний знос всіх сталевих і чавунних деталей двигуна і дуже важко прослідкувати за процесом зношування окремих деталей, наприклад, поршневих кілець або гільз циліндрів.

Аналізуючи причини зміни окремих хімотологічних показників якості працюючої оливи, можна відзначити, що кожен показник адекватно реагує на прояв зовнішніх порушень в роботі вузлів і систем двигуна. При цьому дуже багато показників взаємопов'язані. Наприклад, збільшення вмісту нерозчинного осаду спричинює збільшення в'язкості оливи, низька температура спалаху свідчить про розрідження оливи пальним, що тягне за собою зменшення в'язкості; збільшення вмісту в оливі заліза та інших металів викликає підвищення кислотності і вміст механічних домішок і, як наслідок, в'язкості і т. д.

Аналіз показників якості працюючих трансмісійних і гідравлічних олив для діагностування стану агрегатів, в яких вони використовуються, застосовується рідше, ніж для моторних. У той же час, визначивши в трансмісійній або гідравлічній оливі підвищений вміст механічних домішок, можна зробити загальний висновок про несправність у відповідних системах. Інші показники, наприклад, в'язкість, температура спалаху, кислотне число, вміст води, не настільки інформативні, як для моторних олив. Однак їх облік та аналіз сприяє вибору раціональних умов експлуатації агрегатів трансмісій і гідросистем.

Зміна оливи в дизелях по фактичній необхідності, встановлюваної шляхом регулярно виконуваних аналізів працюючої оливи, має наступну основну перевагу перед зміною оливи після заданого напруження і незалежно від його фактичного стану - запобігається експлуатація дизелів на оливі, яка втратила працездатність в межах її призначеного ресурсу, і повністю виключається передчасна заміна працездатної оливи.

Проведення систематичного аналізу оливи, працюючої в дизельному двигуні, при правильній інтерпретації одержуваних даних, оперативному і комплексному їх використанню дає можливість істотно скоротити експлуатаційні витрати на пальне, оливу, запасні частини, ремонт, зменшити вимушені простої техніки і швидко окупити витрати на контроль якості.

Для правильної інтерпретації результатів аналізу працюючих дизельних олив в цілях діагностування двигунів, виявлення їх неполадок на самій ранній стадії дуже важливо дати споживачеві статистично встановлені, нормативні значення найважливіших показників стану працюючої оливи конкретної марки. Ряд зарубіжних виробників дизе-

льних двигунів дає таку інформацію споживачам їх продукції. Наприклад, фірма «Катерпіллер» (США) - для суднових дизелів типів Д 379, Д 398 і Д 399, експлуатованих на оливах по специфікації MIL-L-2104 С, дає чотири діагностичних градації стану двигунів в залежності від вмісту в оливі металів (продуктів зносу) і кремнію, а також рекомендації щодо порядку їх подальшої експлуатації, навіть необхідності її негайного припинення щоб уникнути аварії. Подібні рекомендації для інтерпретації результатів аналізу олив, відповідних специфікації ЕМД, дає фірма «Дженерал моторс» для тепловозних дизелів, фірма «Юнін Риг» (США) - для дизелів кар'єрних самоскидів (180 т) і т.п.

На деяких зарубіжних заводах-виробниках та розробників двигунів уже на стадії доведення і стендових випробувань прагнуть встановити специфіку процесу старіння оливи в його поєднанні з дизелем, уточнити найважливіші характеристики оливи і їх взаємозв'язки, що визначають працездатний і граничний стан оливи в умовах експлуатації (таблиця 1).

Таблиця 1

**Бракувальні показники моторних олив
для середньофорсованих двигунів**

№ п/п	Показники	Максимальне значення показника, до якого допускається робота моторної оливи	Рекомендує- мий бракувальний показ- ник для замі- ни оливи	Метод випро- бувань
1	Відхилення в'язкості, %	30	25	ГОСТ 33
2	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	160	170	ГОСТ 4333
3	Кислотність, мг КОН/г	3,0 0,8	2,5 0,6	ГОСТ 5985
4	Лужність, мг КОН/г (не нижче)	0,8	1,0	ГОСТ 11362
5	Водневий показник, г-ІОН/л (не нижче)	5,0	6,0	експеримен- тальний
6	Коксованість, %	4,0	3,5	ГОСТ 5987
7	Механічні домішки, %	1,2	1,0	ГОСТ 6370
8	Нерозчинені в бензині домішки, %	3,0	2,5	Метод центрифугу- вання
9	Вода, %	0,6	0,5	ГОСТ 2474
10	Диспергуюча властивість	1,4	1,35	метод «п'ятна»
11	Витрата оливи на угар, %	4,0	3,1	відомчі вимоги
12	Строк служби, год	240	240	відомчі вимоги

Встановлюючи граничні значення показників стану оливи, працюючої в двигуні, дуже важливо не переоцінювати фактор стабілізації

показників граничного стану оливи в процесі старіння, брати до уваги велику ймовірність випадання з оливи відкладень або різке погіршення його антикорозійних, антиокислювальних і протизносних властивостей навіть при незначній зміні робочих умов, коли олива має велике напрацювання і, отже, піддавалася глибокому старінню.

В дійсності стабілізація властивостей оливи в процесі роботи швидше уявна, а деяке формальне поліпшення її властивостей зі збільшенням напрацювання (наприклад, помітне зменшення вмісту нерозчинних забруднень) може служити сигналом порушення агрегативної стійкості оливи і початку коагуляції забруднень, що знаходяться в ній. Для сучасних олив, здатних утримувати в диспергованому стані велику кількість домішок, період старіння, наступаючий після початкової інтенсивної зміни її властивостей і поступової їх стабілізації, має більше значення, ніж для оливи з малим вмістом детергентно-диспергуючих присадок. Цей період прогресивно зростаючої інтенсивності старіння оливи, який С.В. Венцель назвав третім періодом, найчастіше викликає неполадки в змащуванні дизелів або призводить до виходу їх з ладу. Для сучасних олив з високими диспергуючими властивостями припинення зростання вмісту в них нерозчинних забруднень або зменшення їх вмісту в працюючій оливі при звичайній мірі його освіження для компенсації на угар служить ознакою укрупнення часток домішок, інтенсивного їх відфільтровування або випадання в осад, тобто ознакою необхідності заміни оливи.

Збільшення напрацювання дизелів від заправки змащувальної системи свіжою оливою до її заміни згідно з вказівками інструкції з експлуатації або у зв'язку з втратою оливою працездатності було і залишається в даний час актуальним завданням. Однак задачі збільшення термінів заміни дизельних олив істотно змінилися. При кожному наступному збільшенні терміну заміни економія дизельної оливи ставала все менше.

В сучасних умовах при існуючих об'ємах змащувальних систем дизелів, терміни заміни олив і їх витратах на угар, подальше збільшення строків заміни в більшій мірі має не отримання економії оливи, а скорочення трудовитрат на технічне обслуговування двигунів, зменшення вимушених простоїв транспортних засобів та іншого обладнання в зв'язку зі зміною оливи. На практиці вирішення завдання збільшення термінів заміни дизельних олив має три варіанти:

- 1) за рахунок нереалізованого запасу експлуатаційних властивостей оливи;
- 2) шляхом застосування нових марок олив, що мають більш високі експлуатаційні властивості;
- 3) комплексне вирішення задачі, що включає поліпшення конструкції дизелів і підвищення рівня експлуатаційних властивостей олив.

Як відомо, заміну оливи в дизелях виконують або при їх технічному обслуговуванні після заданого напрацювання (призначений ресурс роботи оливи), або по досягненні олією граничного стану, встановлюваного шляхом його періодичного аналізу (фактичне напрацювання оливи до заміни). Якщо досвід експлуатації дизелів показує, що вони при роботі на даній оливі відпрацьовують свій ресурс без відмов, пов'язаних з якістю застосовуваної оливи, а олива, що зливається при заміні після заданого напрацювання, в переважній більшості випадків ще має значний запас експлуатаційних властивостей, є всі підстави для подальшого збільшення призначеного ресурсу оливи, поступового і поетапного зменшення існуючого «запасу міцності».

Збільшення термінів заміни дизельних олив шляхом заміни застосовуваних марок новими, мають більш високі експлуатаційні властивості, але, природно, і більш дорогими, доцільно в тих випадках, коли досягається економія матеріальних і трудових витрат перевищує збільшення витрат на виробництво нових олив. Ефективність заміни застосовуваної оливи новою, яка за рівнем експлуатаційних властивостей перевершує ту, яка замінюється на одну групу класифікації, може бути різною в залежності від конкретних умов роботи оливи в двигуні. Так, наприклад, заміна оливи марки М-20Бп оливою М-20В₂Ф дозволяє збільшити напрацювання дизелів без зміни оливи вдвічі або більше. Заміна ж оливи М-14В₂ оливою марки М-14Г₂ сприяє збільшенню середнього напрацювання між черговими замінами оливи менш ніж на 30%.

Зазвичай олива, яка довго працює, відрізняються високою стійкістю до старіння, великим запасом антиокислювальних і нейтралізуючих властивостей, здатністю диспергувати велику кількість нерозчинних забруднень.

Особливе значення в комплексі заходів, спрямованих на збільшення терміну заміни оливи, має ефективність його очищення фільтрами, центрифугами та іншими оливоочисними пристроями, характеристики та брудоемність яких повинні бути узгоджені з диспергуючими властивостями застосовуваної оливи і швидкістю її забруднення. Досить ефективно і перспективно використання частково-поточкових фільтрів надтонкого очищення додатково до повнопоточного, а також оптимізація чаду оливи з метою уповільнення її старіння.

Таким чином, намічаючи комплекс заходів, спрямованих на збільшення терміну заміни оливи, необхідно перш за все зібрати і проаналізувати статистичні дані про фактичне напрацювання оливи до заміни, виявити показники, за якими вона втрачає працездатність у більшості випадків, встановити дисперсію напрацювання оливи до заміни. Наявність такої інформації дає можливість встановити, які властивості оливи необхідно поліпшити, відмови яких вузлів чи деталей супроводжуються непереборним псуванням оливи. У тих випадках, коли найбільш частою причиною заміни оливи буває його граничне

забруднення твердими продуктами неповного згоряння пального, важливо всіма способами зменшити утворення таких продуктів і їх проникнення в картерну оливу. Якщо дисперсія напрацювання оливи до заміни велика, регламентувати заміну призначеним ресурсом недоцільно.

Список літератури.

1. Журавель Д.П. Моделювання процесів зміни кількісних і якісних показників моторних масел при їх використанні. *Праці ТДАТА*. Вип.2, т.14. Мелітополь, 2000. С. 37-40.
2. Журавель Д.П. Эффективность использования восстановленных моторных масел в тракторных двигателях. *Труды ТГАТА*. Вип.1, т.18. Мелітополь, 2001. С. 24-28.
3. Журавель Д.П. Исследование смазочной способности масел в сопряжениях автотракторных двигателей. Отраслевое машиностроение. *Труды ТГАТА*. Вып. 2, т.1. Мелітополь, 1997. С. 46-48.
4. Журавель Д.П. Моделирование триботехнических процессов в сопряжениях автотракторных двигателей. Отраслевое машиностроение. *Труды ТГАТА*. Вып. 1, т.6. Мелітополь, 1998. С. 38-43.
5. Журавель Д.П. Метод оценки состояния триботехнических свойств моторных масел. Отраслевое машиностроение. *Труды ТГАТА*. Вып.1, т.13. Мелітополь, 1999. С. 65-67.
6. Журавель Д. П. Методологія підвищення надійності сільськогосподарської техніки при використанні біопально-мастильних матеріалів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Тавр. держ. агротехнол. ун-т. Мелітополь, 2018. 44 с.
7. Журавель Д.П., Новік О.Ю., Бондар А.М., Петренко К.Г. Триботехніка. Курс лекцій з навчальної дисципліни для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 280 с.
8. Журавель Д. П. Вплив забрудненості абразивом біопаливо-мастильних матеріалів на енергоємність поверхневих шарів металів вузлів і агрегатів мобільної техніки. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Херсон, 2017. Вип. 5. С.56-65.
9. Журавель Д. П. Оцінка зносу трибоспряжень в середовищі біопаливо-мастильних матеріалів. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2012. Вип. 12. т.2. С. 28-33.
10. Журавель Д. П., Юдовинський В.Б. Моделювання хіміотологічних та триботехнічних процесів в спряженнях тертя. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2007. Вип. 7, т. 3. С. 30-38.