

УДК 662.6

Демідова Н.П.
ОНМА

ВПЛИВ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ЯКОСТІ ПАЛИВ

В останні роки на світовому бункерному ринку намітилася стійка тенденція зниження якості палива, яка пов'язана з більш глибокою переробкою нафти і збільшенням в паливі частки важких залишкових фракцій. Це викликало необхідність розробки нової класифікації та стандартів на суднове паливо, вимагало вирішення ряду експлуатаційних проблем, пов'язаних з роботою ДВС на залишкових паливах. На суднах виникли проблеми у зв'язку з високим вмістом в паливі асфальтосмолистих речовин, високим значенням коксового залишку, нестабільністю палив, що призводить до утворення відкладень у танках та паливній системі. Погіршився процес згоряння палив, підвищилася небезпека відкладень в камері згорання і вихлопному тракті. Крім того, у багатьох випадках для ефективного використання важких палив потрібне застосування спеціальних присадок.

В'язкість є однією з основних характеристик котельних і важких палив, оскільки від неї залежать процеси згоряння палива, надійність роботи та довговічність паливної апаратури, і можливість використання палива при низьких температурах.

У процесі підготовки палива необхідна в'язкість забезпечується його підігрівом, саме від цього параметра залежить якість розпилювання палива та ефективність його згоряння у циліндрі дизеля. Межі величини в'язкості уприскуваного палива регламентуються інструкціями по обслуговуванню двигуна. Температуру підігріву палива визначають за номограмою, наданою на рис. 1.

Від в'язкості значною мірою залежить швидкість осадження механічних домішок, а також здатність палива відстоюватися від води. Наприклад, при збільшенні в'язкості палива в 2 рази при всіх інших рівних умовах час осадження частинок зростає також в 2 рази.

В'язкість палива у відстійній цистерні знижують шляхом його підігріву. Для відкритих систем, якою є відстійна цистерна, діє вимога Правил Регістру, згідно з якою нагрівати паливо в цистерні можна до температури не менше ніж на 15°C нижче температури спалаху, і не вище 90°C. Нагрівання вище 90°C не допускається, оскільки в

цьому випадку легко можна досягти температури кипіння води. Скипання води, що знаходиться в нижній частині цистерни, може призвести до викиду палива з цистерни.

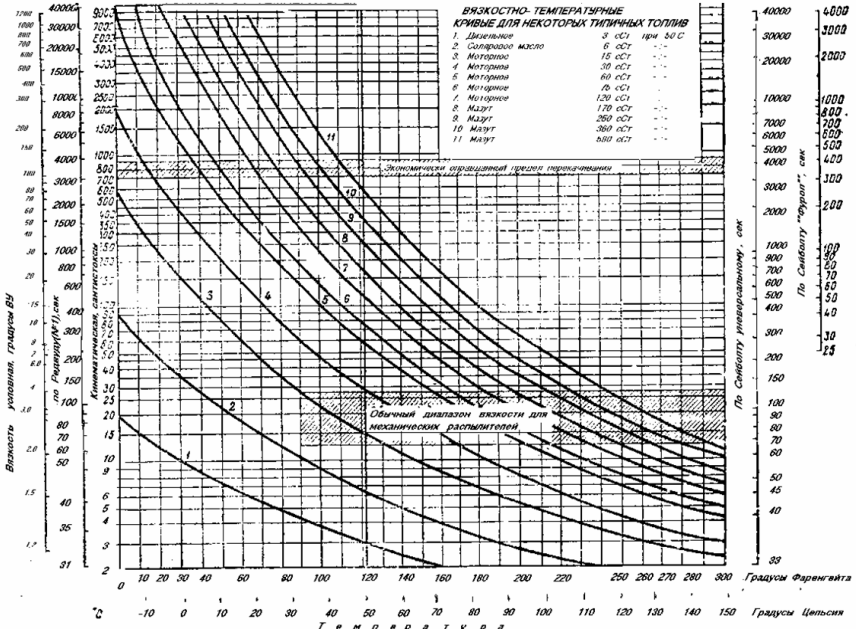


Рис. 1. Номограма залежності в'язкості палива від температури

Осадження води у відстійних цистернах відбувається тільки в тому випадку, якщо вона не утворює з паливом стійкої емульсії. В цьому випадку навіть при низькій в'язкості палива осадження води не відбувається. Необхідно відзначити, що емульсійна вода впливає на величину в'язкості. При вмісті 10% емульсійної води в'язкість може збільшитися на 15 – 20%.

Густина характеризує фракційний склад, випаровуваність палива і його хімічні властивості.

Висока густина означає відносно більш високе співвідношення «вуглець-водень» С/Н.

Густина має велике значення при очищенні палива шляхом сепарації. Якщо густина палива наближається до густини води, то це створює додаткові труднощі, оскільки відділення води від палива засноване на різниці їхніх густин.

У відцентровому паливному сепараторі важкою фазою є вода. Для отримання стійкої поверхні розділу між паливом і прісною водою густина палива не повинна перевищувати 0,992 г/см³. Чим вище густина палива, тим складнішим стає регулювання сепаратора. Незначні зміни в'язкості, температури або густини палива призводять до втрат палива з водою або до погіршення очищення палива.

Вода міститься в паливі у вигляді суспензії або емульсії. В залежності від кількості та дисперсності вода чинить різний вплив на згоряння палива. Наявність у паливі води до 1...2% не спричиняє помітного впливу на роботу двигуна за умови її рівномірного розподілу в масі палива. При більшому вмісті води в паливі можуть виникнути труднощі при спалюванні палива в двигуні, особливо при утворенні відстійної води в момент надходження палива у двигун. У цьому випадку неминучі пропуски спалаху в окремих циліндрах, а при тривалому використанні обводненого палива, можлива навіть зупинка двигуна.

Міжнародний стандарт ISO 8217:2010 припускає вміст води в паливах марки DMB до 0,3 Volume %, проте в паливах, які пройшли морські перевезення, допускається більш високий вміст води, а саме: RMB – RMK – до 0,5 Volume %.

Особливо несприятливий вплив на характеристики палива спричиняє морська вода. Натрій, що міститься в ній, вступає у взаємодію з ванадієм, присутнім у паливі, і при згорянні утворює продукти, що сприяють різкому посиленню температурної корозії, а іноді, і збільшенню нагароутворення.

Присутність в паливі найдрібніших часток води забезпечує додаткове розпилювання палива в камері згоряння і покращує сумішоутворення за рахунок мікроривів частинок води. На цьому ґрунтується застосування водопаливних емульсій. При роботі на водопаливних емульсіях процес затримки займання скорочується, в результаті чого згоряння палива відбувається з більшою ефективністю. Застосування водопаливних емульсій вимагає установки додаткового обладнання: змішувача або гомогенізатора для забезпечення стійких емульсій із заданим вмістом води і розмірами частинок води. Зазвичай вміст емульсійної води у водопаливних емульсіях становить 4 – 7%.

Механічні домішки в паливі мають неорганічне і органічне походження. До неорганічних домішок відносяться іржа Fe₂O₃ і пісок,

які можуть потрапляти в паливо ззовні. До органічних домішок – карбени і карбоїди – тверді частинки, що утворюються в паливі у процесі переробки нафти.

Механічні домішки неорганічного походження за своєю природою є абразивними частками і тому можуть викликати не тільки завісання рухомих деталей прецизійних пар, але й абразивне руйнування тертьових поверхонь, притертих поверхонь клапанів, форсуночної голки розпилювача, а також соплових отворів. Особливо небезпечною є наявність у паливі частинок розміром більше 6 мкм. Зазвичай ці частинки з палива можна повністю видалити шляхом сепарації.

Механічні домішки органічного походження можуть викликати завісання плунжерів і форсуночних голок. Потрапляючи в момент посадки клапанів або форсуночної голки на сідло, карбени і карбоїди прилипають до притертої поверхні, що також призводить до порушення їхньої роботи. Крім того, карбени і карбоїди, потрапляючи в циліндри дизеля, сприяють утворенню нагарів на стінках камери згоряння поршня і у випускному тракті. В силу своєї незначної твердості механічні домішки органічного походження мало впливають на зношування деталей паливної апаратури.

Міжнародним стандартом ISO 8217:2010 вміст механічних домішок в паливі не нормується.

Коксовий залишок – масова частка вуглекислого залишку (у %), що утворюється після спалювання в стандартному приладі випробуваного пального або його 10%-вого залишку. Величина коксового залишку характеризує неповне згоряння палива і утворення нагару. Для залишкових палив величина коксового залишку визначається методом Конрадсона. Величина коксового залишку по Конрадсону зазвичай пропорційна концентрації висококиплячих важких молекул у паливі, вмісту асфальтенів і, отже, густині палива. Тому, чим вище величина коксового залишку за Конрадсоном, тим, як правило, гірше паливо.

Коксовий залишок палив, що виробляються в Україні, досягає 10%. В імпортних паливах допускається вміст коксу до 20% (ISO 10370).

Зазвичай при використанні палива з високим вмістом коксу різко зростає нагароутворення. Тому при спалюванні важкого палива необхідно особливо ретельно стежити за технічним станом форсунок

і паливних насосів, а також за розподілом навантаження по циліндрах.

Температура спалаху залежить від кількості легких фракцій в паливі і характеризує нижню межу займання випробуваного пального в суміші з повітрям. Для більшості палив температуру спалаху визначають шляхом нагрівання палива в закритому тиглі (крім мазутів топкових 40 і 100). Важливість цієї характеристики палива пов'язана з його вогнебезпечністю, а не з його придатністю для дизельних двигунів або котлів. Згідно з Правилами Регістру, на судах можна використовувати лише паливо з температурою спалаху не нижче 61°C.

Палива з високою в'язкістю, як правило, мають температуру спалаху набагато вище цієї межі. Однак слід звернути увагу на відсутність корекції між в'язкістю і температурою спалаху, а також на той факт, що потрапляння навіть незначної кількості палива з низькою температурою спалаху у важке паливо різко знижує температуру спалаху. Відомі випадки вибухів і пожеж при попаданні сирої нафти у важке паливо, при цьому температура спалаху знижувалася до 25°C.

Від температури застигання залежить можливість транспортування палива по трубопроводах без його підігріву. Палива, які зберігаються при температурі нижче точки застигання, перетворюються у тверду масу. При зберіганні палива при температурі, близькій до точки застигання, можлива часткова кристалізація. Результатом такого зберігання можуть бути відкладення в танках, замічення фільтрів і трубопроводів, неможливість перекачування палива.

У міжнародних стандартах ISO і CIMAC на дистильтне паливо встановлена величина температури застигання від 0 до мінус 6°C для зимових палив, від 0 до 6°C – для літніх; на залишкове паливо – від 0 до 30°C взимку і від 6 до 30°C влітку.

Палива з високими точками застигання часто мають хороші характеристики згоряння, що викликано доброю якістю згоряння парафінів.

Для запобігання корозії циліндрових втулок крейцкопфних двигунів, що працюють на важкому паливі, циліндрові оливи повинні містити лужні присадки. Мірою лужності мастила або його здат-

ності нейтралізувати кислоти є «загальна лужність» (лужне число TBN).

Сучасні циліндрові оливи зазвичай мають лужне число в межах 70 – 100 мг КОН на 1 г мастила. У тронкових двигунах, де змащення циліндрів забезпечується розбризкуванням і більш інтенсивне, при роботі на важких паливах використовують оливи з лужним числом 20 – 50.

Для правильного вибору величини загального лужного числа циліндрових олив у залежності від вмісту сірки в паливі на рис. 2 представлений графік, запропонований датською фірмою «MAN Burmeister & Wain».

Мінімальний знос циліндрів досягається при виборі лужності циліндрової оливи в заштрихованій області (див. рис. 2). При виборі циліндрових олив слід мати на увазі, що надмірна лужність при використанні палив з низьким вмістом сірки зазвичай не викликає проблем при правильно встановленому дозуванні циліндрової оливи.

Сірка присутня в паливі, в основному, у складі органічних сполук. При згорянні сірка утворює сірчистий SO₂ і сірчаній SO₃ ангідриди, які при з'єднанні з водою утворюють сірчисту H₂SO₃ і сірчану H₂SO₄ кислоти, викликають сильну корозію поверхонь, на яких вони можуть конденсуватися. Слід мати на увазі, що корозійні проблеми виникають також з-за дуже низьких температур охолоджуючої води і продувочного повітря, що викликає конденсацію парів сірчаної кислоти на холодних поверхнях.

В паливах, вироблених в Україні, вміст сірки обмежується 3,5 mass % (у мазутів), а в імпортованих – для дистильованих палив DMX - DMB від 1 до 2 mass %, для залишкових палив RMA - RMK – не нормується.

Вміст золи є мірою вмісту неорганічних негорючих домішок у паливі. Ці домішки частково є природними компонентами сирої нафти, частково виносяться у процесі її переробки (наприклад, при каталітичному крекінгу), а також при зберіганні, обробці, транспортуванні.

Золоутворюючі матеріали існують у вигляді твердих складових, механічних домішок і розчинених речовин у паливі.

Нерозчинні у воді речовини, такі, як сполуки нікелю або ванадію не можуть бути вилучені у системах підготовки палива на борту судна. Водорозчинні (наприклад, сполуки натрію) видаляються шляхом

промивання водою і центрифугування. Промивання водою для видалення сполук натрію використовується тільки при підготовці палива для газових турбін.



Рис. 2. Рекомендована лужність циліндрових оливи для двигунів з циліндрами великих діаметрів: 1 – газойль; 2 – дизельне паливо; 3 – паливо середньої в'язкості; 4 – важке паливо.

Тверді домішки – пісок, пил, залишки каталітичного крекінгу – можна видалити механічними засобами: шляхом фільтрування та центрифугування. Ефективність видалення залежить від прийнятої системи очищення, розмірів частинок, густини матеріалів порівняно з густиною палива.

Зазвичай максимальний вміст золи в дистильованих паливах не повинен перевищувати 0,010 mass % (ISO 6245), проте нові стандарти допускають 0,04 і 0,15 mass % для найбільш важких сортів палив (RMA – 0,04%; RMB – RME – 0,07%; RMG – 0,1%; RMK – 0,15%).

Присутність в паливі ванадію і натрію має велике значення як причина високотемпературної корозії на найбільш гарячих металевих поверхнях, таких як поверхні вихлопних клапанів в дизельних двигунах і трубки пароперегрівачів у котлах.

При одночасному вмісті ванадію і натрію в паливі утворюються ванадати натрію NaVO_3 з температурою плавлення приблизно 630°C і тому небезпечні за умовами шлакування і корозії. Ці речовини викликають розм'якшення шару оксиду, який зазвичай захищає металеву поверхню, що викликає руйнування меж зерен і корозійне пошкодження більшості металів, тому вміст натрію повинен бути менше $\frac{1}{2}$ вмісту ванадію. Якщо вміст натрію в паливі незначний, то утворюється п'ятиокис ванадію V_2O_5 , що діє подібно ванадату, хоча він має більш високу температуру плавлення (675°C).

Щоб уникнути проблем, викликаних високотемпературною корозією, важливо видаляти водорозчинні солі натрію, що досягається шляхом промивання палива водою і ефективного центрифугування.

Важливо також уникати умов, при яких збільшується термічне навантаження, наприклад, дотримувати правил експлуатації та регулювання двигуна, уникати його перевантаження.

Ванадієві сполуки в паливі повністю розчиняються і важко видаляються. Їхній вплив може бути ослаблений шляхом включення в паливо присадок, які вступають в реакцію з ванадієм у процесі згоряння, утворюючи сполуки, температура плавлення яких вище, ніж у пентаоксида ванадію V_2O_5 . Найчастіше для цих цілей використовується магній. Він може додаватися в паливо у вигляді органічного або неорганічного розчину сульфату магнію MgSO_4 . В цьому випадку утворюється ванадат магнію $\text{Mg}_3(\text{VO}_4)_3$, температура плавлення якого вище 1000°C . Недолік використання магнієвої присадки полягає в тому, що при цьому посилюється тенденція до утворення зольних відкладень на лопатках турбін.

Як правило, ванадій міститься в асфальтосмолистій частині палива. При зарубіжних бункеровках вміст ванадію у важкому паливі може коливатися в значних межах залежно від походження та технології переробки компонентів, що використовуються в паливі. Наприклад, деякі порти США регулярно постачають паливо з вмістом ванадію від 300 до 500 ppm, Саудівської Аравії – від 30 до 40 ppm, Нідерландів – від 60 до 130 ppm.

Вміст ванадію в легких паливах (газойль і палива типу Marine Diesel) незначний. Стандарти вітчизняних моторних палив і мазутів не обмежують вміст ванадію, за винятком газотурбінного палива, в якому вміст ванадію не повинен перевищувати 4 ppm.

Залишки процесу каталітичного крекінгу в зрідженому шарі можуть містити високопористі алюмосилікатні сполуки, які можуть викликати важкі абразивні пошкодження елементів паливних систем, а також поршнів, поршневих кілець і втулок циліндрів. Пористість частинок сильно ускладнює їх видалення шляхом осадження та центрифугування. При правильній роботі відцентрових сепараторів представляється можливим видаляти близько 75% частинок силікатів при одноступінчастому центрифугуванні і 85% – при двоступінчастому.

Вміст алюмінію і кремнію вітчизняними стандартами не обмежений, але оскільки за кордоном важкі палива отримують шляхом каталітичного крекінгу, то ці показники введені в стандарт ISO 8217:2010.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Калугин В.Н. Характеристики и свойства морских сортов топлива, особенности топливоиспользования: учебное пособие. – Одесса: ОГМА, 2000. – 51 с.
2. Камкин С.В., Возницкий И.В. и др. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок. – М.: «Транспорт», 1996. – 432 с.
3. Калугин В.Н., Логишев И.В. Использование морских топлив на судах: учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2010. – 191с.
4. Логишев І.В., Голіков О.О., Зав'ялов О.А. Технології використання палив у суднових енергетичних установках: навчальний посібник. – Одесса: ОНМА, 2011. – 135 с.
5. Пахомов Ю.А., Коробков Ю.П. и др. Топливо и топливные системы судовых дизелей. – М.: РКонсульт, 2004. – 496 с.
6. Четверта редакція Міжнародного стандарта ISO 8217:2010.