

# МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

УДК 622.276.53:621.671(047)  
DOI: 10.31471/1993-9965-2021-1(50)-7-15

## МЕХАНІЗМИ ТА НАСЛІДКИ ОБВОДНЕННЯ МАСТИЛЬНИХ ОЛИВ У ТРАНСМІСІЯХ ШТАНГОВИХ СВЕРДЛОВИННИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

*І. І. Шостаківський\*, В. Р. Харун*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
e-mail: shostakivsky@gmail.com*

*У забезпеченні безвідмовної та тривалої роботи засобів механізованого видобування нафти важливу роль відіграє питання стану мастильних матеріалів, зокрема олів. Умови роботи штангових свердловинних насосних установок (ШСНУ) мають свої особливості – обладнання експлуатується щоденно і цілодобово, а для його роботи характерні перепади температур, вологості, значні і нерівномірні навантаження, вібрації, високі контактні тиски тощо. В процесі експлуатації в редукторах ШСНУ неминуче відбувається поступове накопичення води в різних формах: розчиненої, у вигляді емульсії або у вільному стані. Присутність води є, безсумнівно руйнівною: вона інтенсифікує процес старіння мастильних матеріалів та прискорює зношування деталей в трибоспряженнях. На основі наукових праць проаналізовано механізми, закономірності та наслідки шкідливого впливу обводнення мастильних олів з врахуванням специфіки виробничих умов експлуатації нафтопромислового обладнання. Окремо розглянуто та проаналізовано закономірності змін стану властивостей олів залежно від форми присутності води у мастильному середовищі: вільної, емульсованої чи розчиненої. Досліджено та проаналізовано шляхи та механізми обводнення, які умовно поділено на три групи: поглинання атмосферної вологи компонентами оливи, конденсація атмосферної вологи на внутрішніх поверхнях редуктора і дзеркалі мастильної ванни та безпосереднє потрапляння води в редуктор внаслідок технічних недосконалостей та дефектів обладнання. Особливу увагу приділено закономірностям конденсації атмосферної вологи як основного шляху обводнення та чинникам, що впливають на інтенсивність цього процесу у виробничих умовах експлуатації редукторів штангових свердловинних насосних установок. Сформульовано основні напрямки боротьби із обводненням як конструкторсько-технічного, так і організаційного характеру.*

*Ключові слова:* верстат-качалка; редуктор; трибоспряження; змащування; конденсат.

*В обеспечении безотказной и длительной работы средств механизированной добычи нефти важным является вопрос состояния смазочных материалов, в частности масел. Условия работы штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ) имеют свои особенности – оборудование эксплуатируется ежедневно и круглосуточно, для его работы характерны перепады температур, влажности, значительные и неравномерные нагрузки, вибрации, высокие контактные давления и т. п. В процессе эксплуатации в редукторах ШСНУ неизбежно происходит постепенное накопление воды в различных формах: растворенной, в виде эмульсии или в свободном состоянии. Присутствие воды является, несомненно, разрушительной силой: она интенсифицирует процесс старения смазочных материалов и ускоряет износ деталей в парах трения. На основе научных трудов проанализированы механизмы, закономерности и последствия вредного воздействия обводнения смазочных масел с учетом специфики производственных условий эксплуатации нефтепромыслового оборудования. Отдельно рассмотрены и проанализированы закономерности изменений состояния свойств масел в зависимости от формы присутствия воды в смазочной среде: свободной, эмульсированной или растворенной. Исследованы и проанализированы пути и механизмы обводнения, которые условно разделены на три группы: поглощение атмосферной влаги компонентами масла, конденсація атмосферной*

влагі на внутрішніх поверхностях редуктора і зеркалі смазочної ванни і безпосереднє попадання води в редуктор внаслідок технічного несовершенства і дефектів обладнання. Особливу увагу приділено закономірностям конденсації атмосферної вологи як основного шляху обводнення і факторам, впливаючим на інтенсивність цього процесу в промислових умовах експлуатації редукторів штангових скважинних насосних установок. Сформульовані основні напрями боротьби з обводненням як конструкторсько-технічного, так і організаційного характеру.

Ключеві слова: станок-качалка; редуктор; трибосопряження; смазування; конденсат.

*In ensuring the trouble-free and long-term operation of artificial lift facilities, an important role is played by the condition of lubricants and, in particular, oils. The operating conditions of sucker rod pumping units have their own characteristics - the equipment is operated daily and around the clock, its operation is characterized by temperature drops, humidity, significant and uneven loads, vibrations, high contact pressures, etc. there is a gradual accumulation of water in various forms: dissolved, in the form of an emulsion or in a free state. The presence of water is undoubtedly destructive; it naturally intensifies the aging process of lubricants and accelerates the wear of parts in friction pairs. On the basis of scientific papers, the mechanisms, patterns and consequences of the harmful effects of flooding of lubricating oils are analyzed, taking into account the specifics of the operating conditions of oilfield equipment. The regularities of changes in the state of the properties of oils, depending on the form of the presence of water in the lubricating medium: free, emulsified and dissolved, are separately considered and analyzed. The ways and mechanisms of flooding have been investigated and analyzed, which are conditionally divided into three groups: absorption of atmospheric moisture by oil components, condensation of atmospheric moisture on the inner surfaces of the gearbox and the mirror of the lubricant bath, and direct ingress of water into the gearbox due to technical imperfections and equipment defects. Particular attention is paid to the regularities of atmospheric moisture condensation, as the main path of flooding and the factors affecting the intensity of this process in the industrial operating conditions of the gearboxes of sucker rod pumping units. The main directions of the fight against flooding of both design and technical and organizational nature have been formulated.*

Key words: rocking machine; reducer; tribocoupling; lubrication; condensate.

### Вступ

Для сучасної нафтовидобувної промисловості України характерне активне використання засобів механізованого видобування [1]. У забезпеченні їх тривалої та безвідмовної роботи важливу роль відіграють питання стану оливи для відповідних вузлів та механізмів. При цьому використання мастильних матеріалів має свою специфіку – обладнання експлуатується щоденно і цілодобово, для його роботи характерні є перепади температур, вологості, значні і нерівномірні навантаження, вібрації, високі контактні тиски тощо.

Більшість нафтових свердловин із засобами механізованого видобування обладнані штанговими свердловинними насосними установками (ШСНУ). Так, наприклад, у ПАТ «Укрнафта», частка якого складає близько 70 % від загального видобутку нафти з газовим конденсатом в Україні, парк ШСНУ налічує більше 800 одиниць. Аналіз виробничого досвіду і статистичних даних вказує на те, що однією з найменш надійних і водночас найдорожчих складових наземного обладнання ШСНУ є редуктори верстатів-качалок. Забезпечення надійності зубчастих передач редукторів ШСНУ ускладнюється тим, що їх працездатність визначається багатьма експлуатаційними, конструктивними і технологічними чинниками. Серед них чільне місце займають стан мастильних матеріалів і умови роботи пар тертя.

В процесі експлуатації редуктор ШСНУ зазнає інтенсивного впливу зовнішнього середовища. Одним із наслідків такого впливу є поступове накопичення води в різних формах: розчину, в емульсії або у вільному стані. Присутність води в оливі не просто інтенсифікує процес її старіння, але й спричиняє пошкодження обладнання. Типові пошкодження [2] елементів зубчастих передач силових приводів пов'язані саме з руйнуванням поверхонь пар тертя. Незадовільна якість мастильної оливи та руйнування мастильного шару можуть бути особливо руйнівними для редукторів ШСНУ, що працюють у режимі періодичного відкачування з характерним пуском під навантаженням після тривалої зупинки. Тому доцільно проаналізувати впливи води на якісні показники мастильних трансмісійних оливи, виявити основні механізми та закономірності їх обводнення у реальних умовах експлуатації штангових свердловинних насосних установок з подальшою перспективою розроблення системних рекомендацій, заходів та технічних рішень щодо мінімізації даного процесу та його наслідків.

### Основний матеріал дослідження

Негативний вплив обводнення мастильних оливи є очевидним, проте на деяких чинниках варто зупинитися окремо.

Основні можливі наслідки обводнення мастильних оливи умовно зображено на рис. 1. Ін-



Рисунок 1 – Вплив обводнення на експлуатаційні та реологічні властивості оливи

тенсивність впливів залежить від агрегатного стану води. У присутності води підвищуються в'язкість та температура кристалізації в нафтопродуктах. [3] Це погіршує прокачуваність, фільтрованість і механізм циркуляції оливи за низьких температур. Присутність води активує корозійні процеси, посилює накопичення забруднень. Вода значно погіршує експлуатаційні властивості мастильних оливи – стабільність, змащувальні властивості тощо. Негативний вплив води може проявлятися також у гідролізі присадок, особливо високолузних.

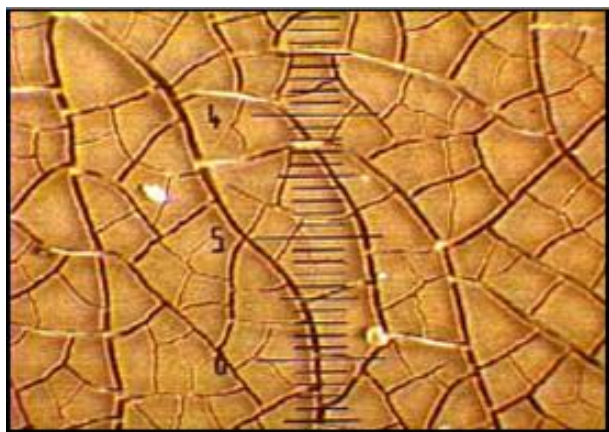
В умовах низьких температур [3] взаємодія води з нафтопродуктами слабшає. За подальшого зменшення температур вода відшаровується у вигляді мікрокрапель і замерзає. Сухі вуглеводні і палива мають нижчі температури початку кристалізації і кристалізації, які практично співпадають. У присутності води різниця між температурами початку кристалізації і замерзання стає суттєвою і сягає у алканів і цикланів  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а у аренів  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Зі збільшенням вмісту води різниця між температурами початку кристалізації і замерзання надалі зростає.

Відомо, що у присутності води [3] в'язкість нафтопродуктів збільшується. Особливо це помітно і важливо за умов від'ємних температур із утворенням кристалів льоду. У практиці використання мастильних матеріалів часто зустрічаються випадки, коли вода перебуває у стані тонкодисперсної емульсії. Така емульсія починає рухатися тільки після створення тисків, достатніх для подолання початкового опо-

ру зрушення. Зусилля, необхідне для перекачування «вологих» нафтопродуктів, завжди більше, ніж «сухих». Ця різниця збільшується із зростанням в'язкості і сягає максимуму при перекачуванні мазуту та мастильних оливи. Встановлено [4], що утворення стійких емульсій може також провокувати додаткові вібрації валів.

У складі забруднень, виділених та висушених з мастильних оливи [3], вода міститься у зв'язаному стані. Вода може бути частково видалена при нагріванні вище  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; а повне видалення води із забруднень може бути досягнуто лише за температур вище  $250\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вода, що видаляється при  $110\text{...}130\text{ }^{\circ}\text{C}$ , є структурно зв'язаною (фізичні зв'язки) у складі забруднень, а при  $250\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}$  – входить в комплексні з'єднання забруднень (хімічні зв'язки), наприклад гідратовані солі різних металів. Це демонструє велику поверхневу активність води. Структурна вода може знаходитися в порах частинок осаду і забруднень у вигляді плівкової, капілярної, парової зв'язаної і парової незв'язаної вологи. Плівкова вода утримується на поверхні частинок залишковими молекулярними силами і схильна до переміщення з місць з більшою товщиною плівки в місця з меншою товщиною. Капілярна волога утримується у капілярах всередині частинок твердих забруднень. Зв'язана волога в порах знаходиться поблизу точок зіткнення твердих частинок та її переміщення залежить від співвідношення капілярних сил.

Незв'язана хімічно вода знаходиться в об'ємах між твердими частинками і її міграція залежить від дії капілярних сил. Внаслідок високої поверхневої активності вода у вуглеводневому середовищі сприяє об'єднанню окремих дрібних частинок забруднень у скупчення. До поверхні сферичної водяної мікрокраплі притягуються частинки забруднень, які проникають всередину і утворюють більші частинки, вода і забруднення в яких міцно зв'язані силами міжмолекулярної взаємодії (макрографія продуктів окислення, рис. 2). При дослідженні лабораторних відстоїв оливок виявляються краплі емульсованої води і досить значні за розмірами агрегати твердих частинок осаду і забруднень, укрупнення яких обумовлене дією води. Таким чином, очевидним стає те, що вода є однією з найбільш активних речовин, що сприяють коагуляції і укрупненню частинок твердої фази в мастильних оливах. Проте, слід зауважити, що власне вода не збільшує кількість забруднень, а лише інтенсифікує процес коагуляції диспергованих домішок і випадіння їх в осад.



**Рисунок 2 – Макрографія продуктів окислення оливи**

Щодо інших негативних впливів, [4] обводнення оливок понад допустимі межі сприяє: різкому збільшенню швидкості окислення (в  $3 \div 5$  разів); росту кількості агресивних розчинних кислот (в  $40 \div 50$  разів); збільшенню ерозійної і корозійної активності (в  $300 \div 500$  разів). [5] При обводненні оливи концентрація в ній присадок може зменшуватися до  $50 \div 60$  % від початкової у зв'язку з їх гідролізом та випадінням в осад. Механізм випадіння присадок з оливи в присутності води у випадку багатозольних сульфатних присадок можна представити наступним чином: додаткові «носії лужності» – карбонати – знаходяться в присадках здебільшого у вигляді частинок відносно великого розміру. В присутності води можуть утворюва-

тися і рости кристали карбонату відповідного металу, в результаті чого карбонати випадають в осад. Це характерно не тільки для кальцієвмісних присадок, але й практично для більшості присадок і створює серйозні труднощі при практичному застосуванні оливок.

Контакт оливок з водяною парою або з крапельно-рідкою вологою призводить до гідролізу деяких присадок, а саме солей слабких органічних кислот та соляних лугів. Такі присадки, як, наприклад диалкілдитиофосфат цинку при контакті з водою розкладаються, утворюючи органічні кислоти і гідроокис цинку, що випадає в осад.

Гідролізу присадок лужного типу сприяє присутність в оливах поверхнево-активних мийних присадок, які сприяють утворенню емульсій і тим самим створюють умови (розвинену поверхню розділення фаз «вода-олива») для гідролізу.

На практиці зміни вмісту присадок прийнято оцінювати за зміною лужного числа. Обводнення оливи прискорює процес зниження лужності. Особливо активний вплив на швидкість зниження лужного числа спричиняє збільшення концентрації води в оливі, що працює.

Проте, слід зазначити [6], що тільки зміни лужного числа, визначеного шляхом лужного гідролізу ефірів, можуть характеризувати інтенсивність процесу окислювання мастильних оливок. Випробування стійкості оливок проти окислювання проводяться за стандартними процедурами, які зводяться до пропускання повітря через оливу, і оцінці кількості осаду, який випав або до окислювання оливи в ротаційних бомбах. Ці випробування є досить складними і вимагають дорогого спеціального обладнання, і при цьому не відповідають реальним умовам експлуатації. Екстракція осадів, як показник ступеня окислювання, проведена за допомогою різноманітних розчинників, не дає співставимих результатів. Таким чином, щодо методик визначення лужного та кислотного числа можна підсумувати: визначена інтенсивність корозійного впливу розчинів на матеріали не завжди відповідає змінам кислотного і лужного числа. Тому значення кислотного числа не можна вважати мірою корозійної активності мастильних оливок.

Значним є вплив води на інтенсифікацію корозійно-механічного спрацювання, особливо на його електрохімічну складову. Речовинами, що викликають електрохімічну корозію деталей, в основному є вода, водні розчини сірчаної, сірчанистої, вуглецевої та азотної кислот, а також високомолекулярні органічні кислоти,

що взаємодіють із залізом тільки після сукупної дії води та кисню і утворення на поверхні заліза шару гідрозакису.

Цікавим і безумовно актуальним в реальних умовах експлуатації ШСНУ є мікробіологічне зараження обводненої оливи, яке має безпосередній вплив на розвиток корозійних процесів. Окремі види бактерій можуть харчуватися оливами та деякими видами присадок. Окрім, власне, виснаження присадок вони в результаті життєдіяльності здатні продукувати сульфіді – активні корозійні речовини. У присутності води такі бактерії мають можливість активно розвиватися, викликаючи корозію металів біологічного походження, руйнування мастильних шарів, погіршення якості нафтопродуктів тощо.

Щодо безпосередньо умов роботи трибоспряжень, то вивчення впливу [5] обводненого мастильного середовища на режим рідинного тертя в підшипниках вказує, що невеликий вміст води в оливі (до 0,5 %) практично не впливає на гідродинамічний тиск в масляному клині, несучу здатність підшипника і роботу тертя в ньому. Подальше підвищення вмісту води в оливі (до 5,0 % і більше) демонструє суттєве зниження несучої здатності мастильного клину та різке збільшення роботи сил тертя, а також збільшення гідродинамічного тиску в мастильному шарі. За цих умов товщина мастильного клина стає співрозмірною з мінімально допустимою критичною величиною і, вочевидь, мають місце локальні контакти металевих поверхонь, що призводить до підвищеного зношування пар тертя. Частина води при цьому буде неминуче випаровуватись за рахунок тепла пар тертя і пара, що утворюватиметься, в свою чергу, буде руйнувати шар мастильного середовища.

Досліджено [7], що залежно від кількості вологи змінюється характер зношування пар тертя. За умови концентрації води в оливі до 5 %, для продуктів старіння характерним є темний сіро-коричневий колір, при цьому вони містять незначну кількість металевих частинок. За умов вмісту 50 % вологи продукти старіння оливи це, в основному, оксиди металів, а якщо більше 50 % (неприпустимо для виробничих умов), то в зоні тертя створюються передумови формування мономолекулярного шару води, який вкриває поверхню, відповідно для продуктів спрацювання в цьому випадку характерний сірий колір і складаються вони переважно з частинок металу. Більшість нафтових фірм за небезпечний приймає вміст води в кількості 0,2 % і вище.

Існує багато методів визначення вмісту води в оливі: від якісних (звук тріску під час нагрівання) до кількісних із різним ступенем точності. Спектральний метод відрізняється високою точністю, але потребує дорогої апаратури. Методи центрифугування і дистиляції є найпростішими, але відрізняються найбільшою похибкою.

Окремо слід розглянути форми присутності води у вуглеводнях. Їх прийнято поділяти на: розчинену воду, емульсовану та вільну. На практиці, як правило, ми маємо справу з комбінацією всіх трьох форм одночасно.

Відомо [3], що розчинність води у нафтопродуктах незначна, вона залежить, в першу чергу, від зовнішніх умов та хімічного складу останніх і зменшується з підвищенням молекулярної маси вуглеводнів. У мастильних оливах розчинність води мінімальна.

Вільна вода, яка є джерелом утворення емульсій, зазвичай накопичується на дні картера редуктора, вона обумовлює також насичення оливи розчинною водою. Стійкі емульсії води з вуглеводнями утворюються за умови, що густини нафтопродукту і води є близькими. Такі тонкі емульсії є малопомітні візуально та при кімнатній температурі можуть не випадати в осад протягом декількох місяців за вмісту води до 30%. Збільшенню стійкості емульсій сприяють смолянисті, високомолекулярні речовини, а також сірчисті, азотисті і кисневі з'єднання, які накопичуються на поверхні розділу „нафтопродукт-вода” та підвищують міцність поверхневих плівок. Концентрація речовин-емульгаторів поступово збільшується, їх дія посилюється і, як наслідок, збільшується стійкість емульсій. За відсутності або зменшення концентрації таких речовин розшарування та випад в осад емульсій відбувається значно швидше.

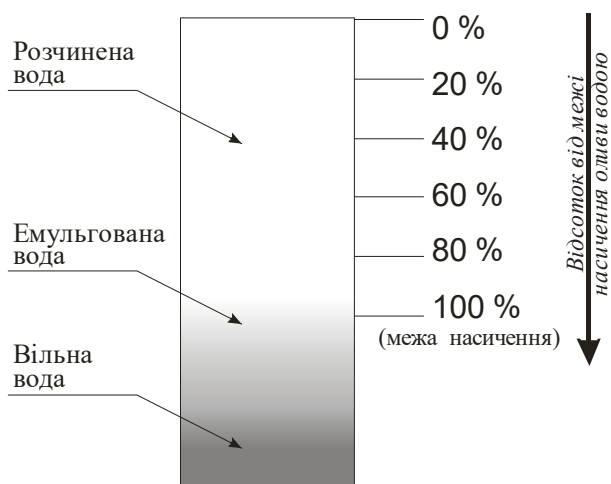
Стійкість емульсій залежить не тільки від природи та присутності емульгаторів, але і від розмірів мікрокрапель, в'язкості, різниці густини води і нафтопродукту, температури тощо.

Для кожного типу оливи існує своя межа насичення, за якої розчинена вода переходить в емульсований або вільний стан. Умовно цю залежність зображено на рисунку 3.

Обводнення мастильних олиг у процесі експлуатації, на жаль, є явищем не випадковим, а закономірним [3, 5]. Як підтверджує виробничий досвід та аналіз наукових праць, потрапляння вологи в мастильні системи є неминучим. До основних шляхів обводнення трансмісійних олиг нафтогазового обладнання слід віднести:



- поглинання оливою (особливо з присадками) води з атмосфери;
- безпосереднє потрапляння води в редуктори внаслідок негерметичності та порушення цілісності з'єднань та ущільнень;
- конденсація атмосферної вологи після зупинки редуктора і зміни температур, що при цьому мають місце;
- конденсація внаслідок добових і сезонних коливань температури і вологості.



**Рисунок 3 – Стан води в оливі залежно від досягнення границі насичення**

Якщо із розглянутих шляхів виключити безпосереднє потрапляння води в трансмісії внаслідок негерметичності та порушення цілісності з'єднань та ущільнень як таке, що не допускається регламентними вимогами та може і повинно бути усунене під час технічного обслуговування та ремонту обладнання, очевидним є те, що основним джерелом обводнення олив трансмісій ШСНУ буде поглинання води з навколишнього повітря та конденсація атмосферної вологи. Шляхом простих математичних розрахунків можна визначити, що з кожного кубічного метра повітря (наприклад, при добовому перепаді температур від +8 до +20 °С за відносної вологості 60 %) виділяється у вигляді роси приблизно 2 г води за добу.

На інтенсивність обводнення нафтопродуктів під час експлуатації в першу чергу впливають зовнішні чинники, зокрема, вологість середовища, що контактує з нафтопродуктами, температура, тиск; площа контакту; об'єм та характер руху вологонасиченого середовища (повітря).

Встановлено [3], що із збільшенням вологості та температури повітря, яке знаходиться в безпосередньому контакті з оливою, вміст води в останній зростатиме. За однакової температури із зовнішнім середовищем концентрація во-

ди в оливах перебуває в стані рівноваги з парами води у повітрі. Концентрація води у вуглеводнях залежить від тиску насиченої пари води та парціального тиску

$$C_B = \frac{C_{B \max}}{P_{SB}} \cdot P_{ПРЦ} \quad (1)$$

Таким чином, вміст води в оливах прямопропорційний відносній вологості повітря, рівній  $P_{ПРЦ} / P_{SB}$ . Розчинність води у вуглеводнях залежить також від температури

$$\lg C_{B \max} = a - \frac{b}{T} \quad (2)$$

де  $a, b$  – постійні для кожного вуглеводня величини. Існує також залежність між розчинністю води у вуглеводнях, відношенням масового вмісту водню  $H$  до вмісту вуглецю  $C$  і температурою  $T$ .

$$\lg C_B = 2 - \left( 4200 \frac{H}{C} + 1050 \right) \cdot \left( \frac{1}{T} - 0,0016 \right) \quad (3)$$

Конденсація води в редукторах ШСНУ відбувається не лише на металевих поверхнях корпусу та деталей. Важливим і цікавим чинником, що призводить до обводнення, є явище певної теплової інерційності нафтопродуктів у порівнянні із зовнішнім середовищем. Зазначений ефект полягає в тому, що з підвищенням температури повітря олива деякий час залишається холоднішою, її температура наче поволі «наздоганяє» температуру зовнішнього середовища, за умови, що остання підвищилася і залишається постійною. Навпаки, з пониженням температури зовнішнього середовища температура оливи протягом деякого часу залишається вищою і поволі знижується. Саме різниця температур між нафтопродуктом і зовнішнім середовищем впливає на зміну вмісту води в ньому. На рисунках 4 і 5 зображені термограми обладнання ШСНУ, на яких чітко виділяється зона пониженої температури в нижній частині редуктора, заповненої мастильною оливою.

Якщо температура повітря при певному потеплінні буде вищою за температуру оливи, то відбувається конденсація водяної пари з повітря на холодну поверхню мастильної ванни. Зі збільшенням градієнту перепаду температур між повітрям і рідкою фазою конденсація води і перехід її в оливу відбуваються при меншій відносній вологості. Вода з оливи виділятиметься при підвищенні її температури відносно температури атмосфери, що має постійну температуру і вологість. Проте, якщо оливу охолодити, то волога, що перейшла в атмосферу в замкнутому об'ємі редуктора, знову повернеться. Якщо ж водяну пару, що перейшла у повітря при нагріванні, видалити, то в замкнутому об'ємі

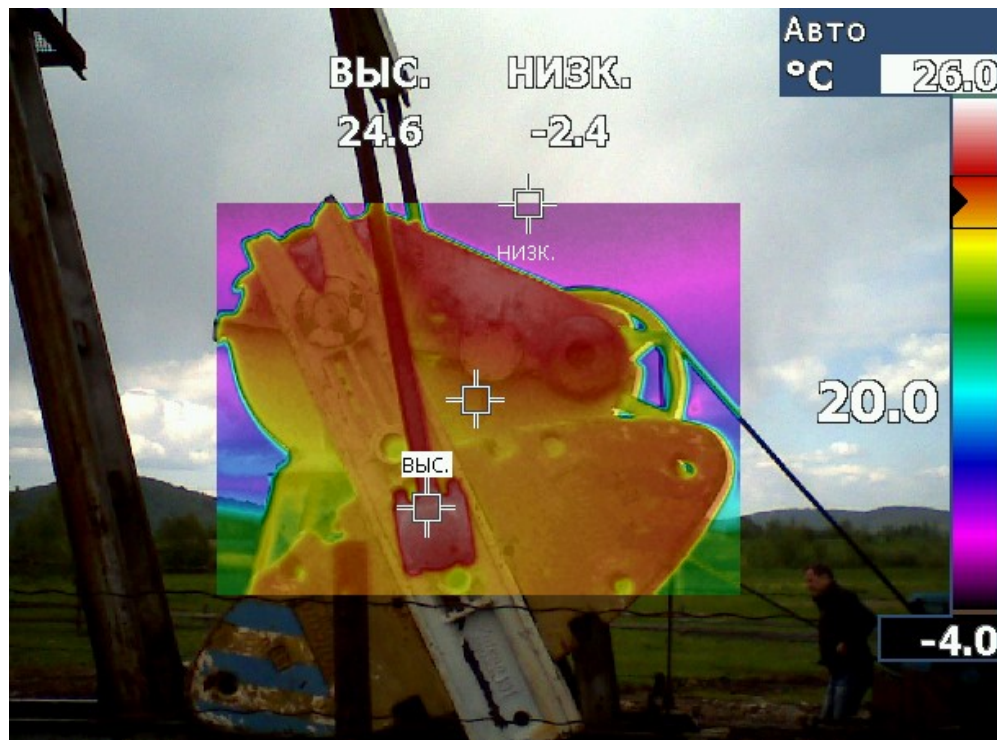


Рисунок 4 – Термограма фрагмента верстата-качалки

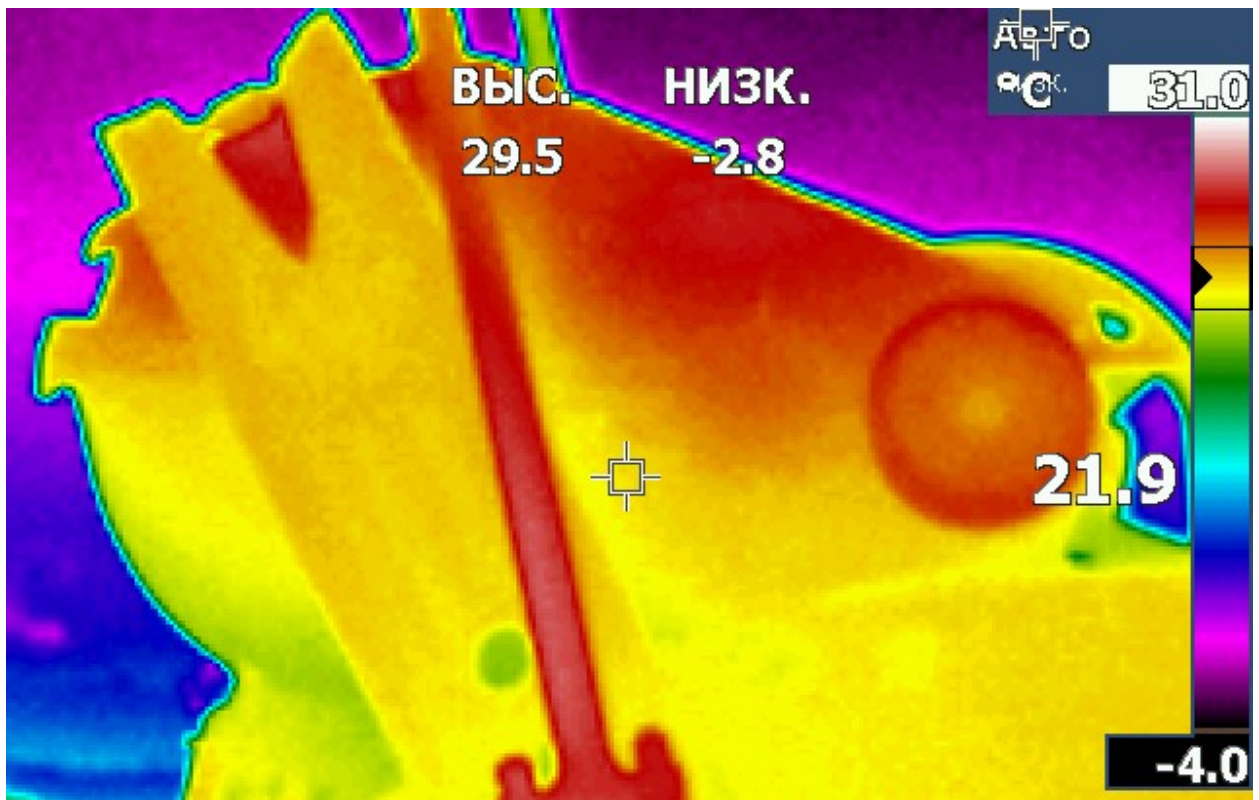


Рисунок 5 – Термограма редуктора верстата-качалки

при подальшому охолодженні рідкої фази обводнення не відбудеться. Якщо температура повітря і оливи знижуватимуться одночасно, то при постійній відносній вологості або при її збільшенні вміст розчиненої води в нафтопродуктах зменшиться. Це пояснюється переходом

води з оливи в атмосферу, оскільки при пониженні температури розчинність води зменшується. Типова крива насичення оливи водою – залежність абсолютного вмісту води в одиницях PPM (частина на мільйон) від температури оливи, наведена на рисунку 6. Ця залежність

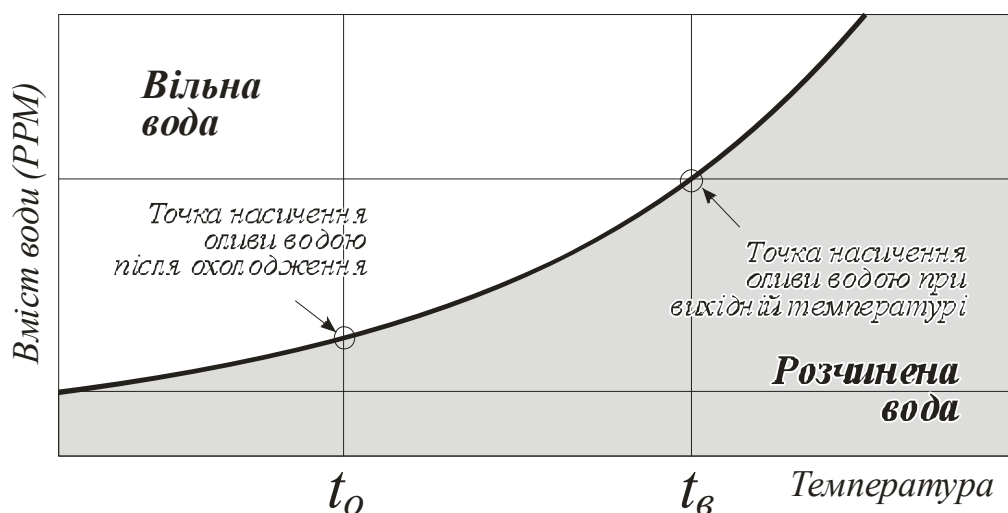


Рисунок 6 – Умовна типова крива насичення оливи водою

ілюструє той факт, що в оливі після максимально-можливого видалення вільної води при певній вихідній температурі  $t_v$  за умов охолодження до температури  $t_0$  знову буде присутня вільна вода.

Проте вода з нафтопродукту виділяється тільки в тому випадку, якщо його температура знижується достатньо повільно. При різкому пониженні температури вода не встигає перейти в атмосферу і випадає у вигляді дрібних крапель. Якщо виділення води з палива відбувається при негативних температурах, то краплі води, що виділилися, замерзають і перетворюються на кристали льоду.

Із збільшенням температури розчинність води в оливах (рис. 6) збільшується. Тому при одночасному підвищенні температури мастильної ванни і повітря вміст води в них зростає, причому тим більше, чим більше градієнт перепаду температур між нафтопродуктами і зовнішнім середовищем. Таким чином, сприятливі умови обводнення виникають при швидкому потепленні, коли температура нафтопродукту і повітря швидко підвищується. При цьому швидкість нагріву повітря значно перевищує швидкість нагріву оливи. Для практичного використання встановити прямий зв'язок між температурою нафтопродуктів і вмістом в них води важко. Це пояснюється тим, що фактичний вміст води в оливах визначається не тільки температурою, але і іншими чинниками, які слід розглядати комплексно.

Швидкість обводнення, наприклад, також залежить від тиску водяної пари над оливою [3]. Встановлено, що із підвищенням тиску вміст води в оливі збільшуватиметься. Ефект проявляється сильніше, якщо збільшення тиску відбувається при одночасному підвищенні від-

носної вологості. Ці дані мають практичне значення. При пониженні тиску, особливо різкому, розчинена вода може випасти з нафтопродуктів у вигляді другої рідкої фази і замерзнути при мінусових температурах.

### Висновки

Присутність води в оливі трансмісії є, безумовно, руйнівною для обладнання. Із збільшенням інтенсивності повітреобміну редуктора з атмосферою швидкість насичення або виділення води істотно збільшується. У виробничих умовах вплив потоків повітря на швидкість зміни вмісту води зростає із збільшенням об'єму газового простору і перепаду температур. З наведеного вище можна підсумувати, що вирішення проблеми боротьби із явищем обводнення мастильних олив у трансмісіях слід шукати у трьох напрямках:

- зменшення об'єму повітряної камери над поверхнею оливи;
- запобігання різкому охолодженню корпусу редуктора та ванни оливи;
- уникнення або зменшення повітреобміну з атмосферою.

Зменшення об'єму повітряної камери може бути досягнуто на стадії проектування редукторів, зокрема шляхом надання корпусу форми, що мінімізує відповідний простір. Проте, таке рішення може значно знизити технологічність виготовлення, монтажу та обслуговування трансмісії і, відповідно, збільшити витрати під час життєвого циклу обладнання. Крім того, це не вирішує проблему трансмісії, що уже перебувають в експлуатації. Зменшення об'єму повітряної камери можна досягти також дообладнанням існуючих трансмісій вставками відповідної форми із матеріалу з низьким коефіцієн-



том теплопровідності, проте і таке рішення є складним в реалізації.

Запобігти різким перепадам температур можна шляхом покриття редуктора термоізолюючими матеріалами, проте таке рішення теж є сумнівним, з огляду на умови роботи нафтопромислового обладнання.

На думку авторів, найбільш ефективно рішення буде полягати у відмежуванні повітряної камери редуктора від атмосферного повітря шляхом застосування сапунів з еластичною камерою. Подібні конструкції вже встигли добре зарекомендувати себе на автомобільній, транспортній та сільськогосподарській техніці. До обладнання існуючих трансмісій сапунами такого роду є нескладним технологічно та забезпечить, з одного боку, зрівноваження тиску трансмісії із атмосферним тиском, а, з іншого, надійно ізолює внутрішній простір редуктора від атмосферної вологи та забруднень.

Окрім того, ефективними можуть виявитися рішення організаційного характеру, наприклад, розроблення оптимального графіка періодичного пуску обладнання з врахуванням зміни добових температур.

### Література

1. Шостаківський І. І. Зміни стану мастильних олиव нафтогазопромислового обладнання у процесі експлуатації. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2002. № 4(5). С. 81-84.

2. Копей Б. В., Парайко Ю. І., Стефанишин О. І., Шостаківський І. І. Підвищення ресурсу редукторів штангових свердловинних насосних установок. *Проблеми тертя та зношування*. 2011. № 56. С. 94-105.

3 Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / Упор. В. Я. Чабанний. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. 500 с.

4 Гвоздев В. С. Обводнение турбинного масла и средства контроля и защиты его от влаги на турбогенераторах ТЭС: дис. канд. техн. наук: ВАК РФ 05.14.14. Новочеркасск, 2003. 155 с.

5 Тарасов В. В. Причины и пути обводнения смазочного масла, образования в нем загрязнений и влияние их на срок службы масла и надежность судовых дизелей. *Научные труды Дальрыбвтуза*. 2010. Vol. 22. С. 281-294.

6. Шостаківський І. І., Парайко Ю. І. Старіння мастильних олив та аналіз суперечностей систем оцінки їх стану. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2005. № 2. С. 74-79.

7. Копей В. Б., Копей Б. В., Євчук О. В., Стефанишин О. І. Вплив мастила на вібраційні характеристики редуктора верстата-гойдалки. *Нафтогазова галузь України*. 2013. № 1. С. 18-21.

### References

1. Shostakivskiy I. I. Zminy stanu mastylnykh olyv naftohazopromyslovoho obladdannia u protsesi ekspluatatsii. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2002. No 4(5). P. 81-84. [in Ukrainian]

2. Kopei B. V., Paraiiko Yu. I., Stefanyshyn O. I., Shostakivskiy I. I. Pidvyshchennia resursu reduktoriv shtanhovykh sverdlovyvnykh nasosnykh ustanovok. *Problemy tertia ta znoshuvannia*. 2011. No 56. P. 94-105. [in Ukrainian]

3 Palyvo-mastylni materialy, tekhnichni ridyny ta systemy yikh zabezpechennia / Upor. V. Ya. Chabannyyi. Kirovohrad: Tsentralno-Ukrainske vydavnytstvo, 2008. 500 p. [in Ukrainian]

4 Hvozdev V. S. Obvodnenye turbynnoho masla y sredstva kontrolya y zashchityi eho ot vlahy na turboheneratorakh TES: dys. kand. tekhn. nauk: VAK RF 05.14.14. Novocherkassk, 2003. 155 p. [in Russian]

5 Tarasov V. V. Prychyni y puty obvodneniya smazochnoho masla, obrazovanyia v nem zahriaznenyi y vlyanye ykh na srok sluzhbyi masla y nadezhnost sudovykh dyzelei. *Nauchnyie trudy Dalryibvtuza*. 2010. Vol. 22. P. 281-294. [in Russian]

6. Shostakivskiy I. I., Paraiiko Yu. I. Starinnia mastylnykh olyv ta analiz superechnostei system otsinky yikh stanu. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2005. No 2. P. 74-79. [in Ukrainian]

7. Kopei V. B., Kopei B. V., Yevchuk O. V., Stefanyshyn O. I. Vplyv mastyla na vibratsiini kharakterystyky reduktora verstata-hoidalky. *Naftohazova haluz Ukrainy*. 2013. No 1. P. 18-21. [in Ukrainian]