МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ХІМІЯ НАФТИ І ГАЗУ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Хімія нафти і газу» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. В. Нестеренко, Д. Ф. Донской, М. Я. Бурова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 97 с.

Укладачі : канд. техн. наук, доц. С. В. Нестеренко,
канд. техн. наук, доц. Д. Ф. Донской,
ст. викл. М. Я. Бурова

Рецензент

Г. І. Гуріна, кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою хімії та інтегрованих технологій, протокол № 9 від 24.09.2020.

ЗМІСТ

Вступ…… 4
Інструкція з техніки безпеки для студентів, які виконують лабораторний практикум……..... 5
Методи відбирання проб газу……..... 7
Лабораторна робота № 1 Визначення кольору нафтопродуктів……..... 13
Лабораторна робота № 2 Вивчення властивостей фракцій під час первинної перегонки нафти……... 17
Лабораторна робота № 3 Визначення густини вуглеводнів різними методами та розрахунок їхньої молекулярної маси…… 21
Лабораторна робота № 4 Визначення в'язкості нафтопродуктів і розрахунок індексу в'язкості……... 39
Лабораторна робота № 5 Визначення йодного числа та вмісту ненасичених вуглеводнів у нафтопродукті…….. 51
Лабораторна робота № 6 Визначення наявності в нафті або газовому конденсаті водорозчинних кислот та лугів…….. 54
Лабораторна робота № 7 Визначення схильності нафти до піноутворення та стабільності піни……... 56
Лабораторна робота № 8 Деемульсація водонафтових емульсій та визначення показника агрегативної стійкості. Визначення стійкості асфальтеновмісних дисперсних систем……..... 58
Лабораторна робота № 9 Випробування моторного палива на мідній пластинці…… 65
Лабораторна робота № 10 Визначення зольності нафти та нафтопродуктів……... 67
Лабораторна робота № 11 Оцінка якості нафтопродуктів найпростішими методами…….. 69
Лабораторна робота № 12 Визначення вмісту води в дизельному паливі…… 72
Лабораторна робота № 13 Температура спалаху та застигання дизельного палива……... 74
Лабораторна робота № 14 Контроль якості картерної оливи за методом паперової хроматографії…… 78
Лабораторна робота № 15 Визначення температури плавлення пластичних мастил…….. 81
Список джерел…… 83
Додатки..... 84

ВСТУП

Метою цих рекомендацій є розвиток у студентів навичок наукового експериментування і дослідницького підходу до вивчення предмета і закріплення теоретичного матеріалу із навчальної дисципліни «Хімія нафти і газу». Наведений матеріал має бути базою для вивчення основних спецдисциплін відповідно до програми навчання студентів, зі спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології. Рекомендації повинні сприяти формуванню у студента уявлень про властивості нафти і газу, а також нафтопродуктів. Сучасних теоретичних досягнень нафтохімії. Досягнення міцного й свідомого засвоєння провідних хімічних понять про властивості нафти і газу, а також нафтопродуктів; сприяння розвитку у студентів навичок роботи в лабораторії і постановки хімічного експерименту із визначення властивостей та показників нафтопродуктів.

ІНСТРУКЦІЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ДЛЯ СТУДЕНТІВ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

У хімічній лабораторії кафедри студент виконує лабораторний практикум, вивчаючи фізичні й хімічні властивості нафти, газового конденсату та продуктів їхньої переробки. Вивчення властивостей передбачає перегонку нафти та нафтопродуктів, їхню термічну обробку. Разом із тим завжди потрібно пам'ятати, що нафта, газовий конденсат й продукти їхньої переробки є легколеткими та легкозаймистими органічними рідинами і можуть стати джерелом пожежі.

Під час виконання робіт використовуються перегонні апарати, електронагрівальні пристрої (колбонагрівачі, електроплити із закритою спіраллю), центрифуги, екстрактори. Працюючи на них, потрібно пам'ятати, що необережне поводження спричиняє небезпеку теплового опіку та ураження електричним струмом. Студенти повинні виконувати такі правила:

1. Лабораторні роботи студенти проводять невеликими групами по 2–4 особи на постійному робочому місці (частина хімічного столу). Під час проведення лабораторних робіт на робочому місці потрібно дотримуватись чистоти й порядку. Безлад і недбалість часто псують результат роботи і можуть призвести до нещасних випадків.

2. Не дозволяється працювати в лабораторії за відсутності лаборанта або викладача, а також проводити в лабораторії роботи, не пов'язані з виконанням завдання. Кожен дослід необхідно проводити не поспішаючи, уважно прочитавши зміст методики і звернувши особливу увагу на послідовність дій під час додавання реактивів. Якщо є незрозумілість у проведенні досліду, обов'язково перед початком роботи з'ясувати всі питання з лаборантом чи викладачем. До кожної лабораторної роботи студент допускається, попередньо ознайомившись із її змістом та законспектувавши її у робочий зошит.

3. Під час проведення дослідів із легкозаймистими рідинами (етиловим спиртом, бензолом та ін. сполуками) потрібно використовувати невеликі кількості речовин, а нагрівання проводити за невеликої потужності нагрівача! При цьому:

– будьте гранично уважні;

– отвір нагріваної колби має бути спрямований у бік, протилежний від виконавця досліду, щоб запобігти потраплянню гарячої реакційної маси на одяг і відкриті частини тіла у разі непередбаченого викиду вмісту;

– у разі різкого закипання реакційної маси потрібно вимкнути нагрівання.

4. Категорично забороняється пробувати будь-які речовини на смак; ні в якому разі не можна підносити посудину до носа і робити глибокий вдих. Визначати запах речовин можна тільки у разі цілковитої впевненості, що вони не отруйні.

5. Категорично забороняється виносити з лабораторії будь-які реактиви.

6. Під час роботи з олійними або парафіновими банями виключити потрапляння води. Невелика кількість води під час нагрівання під шаром оливи перегрівається і відбувається викид гарячої оливи.

7. Пролиту ртуть має бути негайно зібрано за допомогою скляної пастки (двогорлової склянки) з відсмоктуванням грушею чи іншим пристроєм. Найдрібніші частинки ртуті, пролиті на підлогу, збирають амальгамованими пластинками, після чого підлогу обробляють 3 %-вим розчином перманганату калію з додаванням 5 мл концентрованої соляної кислоти на 1 л розчину або 20 %-вим розчином хлориду заліза. Роботи у приміщенні можна проводити лише після негативного результату аналізу повітря на ртуть.

8. Особливо уважно потрібно працювати з легкозаймистими рідинами (далі – ЛЗР). Вони легко займаються, швидко горять, виділяючи тепло в 10 разів інтенсивніше, ніж деревина. Залежно від температури спалаху ЛЗР можна умовно поділити на три групи:

а) особливо небезпечні: бензин, гексан, ацетон, ефір та ін.;

б) постійно небезпечні: бензол, гептан, лігроїн, толуол, етанол та ін.;

в) небезпечні за підвищеної температури: бромбензол, бутанол, гас, пропанол, стирол, оцтова кислота, хлорбензол та ін. Ці речовини (рідини та пари) негативно впливають на організм людини, викликаючи розлад функцій нервової системи, вражають верхні дихальні шляхи та органи травного тракту. Тому під час роботи з ЛЗР необхідно:

– не допускати потрапляння горючих парів в атмосферу (запобігати утворенню пожежонебезпечних сумішей);

– виключити можливість займання (не нагрівати ЛЗР на відкритому вогні), такі речовини нагрівають і відганяють на водяній бані з електронагрівом із закритими нагрівальними та струмовідними частинами;

– не виливати відходи ЛЗР у каналізацію, відпрацьовані рідини має бути зібрано у спеціальну герметичну тару, яку наприкінці робочого дня необхідно видалити з лабораторії;

– усі дії під час проведення лабораторної роботи потрібно проводити у витяжній шафі за умови, що вентиляцію увімкнено;

– у разі потрапляння на шкіру нафту негайно витерти сухою ганчіркою та ретельно вимити руки водою з використанням мийних засобів;

– бензин після промивання циліндра вилити у спеціальну ємність, яка закривається герметично, ретельно закрити кришку;

– після закінчення роботи вимити руки водою з використанням мийних засобів.

9. У дослідах, де використовується металічний натрій, потрібно дотримуватися особливої обережності під час його зберігання (тільки під шаром гасу), не допускаючи його контакту з водою. Забороняється брати натрій руками. Невикористані шматочки натрію та відходи в жодному разі не кидати у раковину чи ящик для сміття, а віддати лаборантові.

10. Під час роботи з їдкими лугами і концентрованими кислотами не допускати потрапляння їх на шкіру, особливо берегти очі. Дотримуватись

правил змішування концентрованих кислот і лугів із водою, додаючи кислоту або луг у воду невеликими порціями.

11. У разі виникнення пожежі потрібно:

– негайно вимкнути газ та електроенергію в усій лабораторії;

– прибрати всі горючі речовини подалі від вогню;

– засипати піском або накрити ковдрою вогнище пожежі;

– велике полум’я гасити вуглекислотним вогнегасником;

– одяг, що зайнявся, накрити повстяною ковдрою і не знімати її, доки не згасне полум’я;

– про пожежу повідомити чергового пожежної охорони або за номером телефону 101.

12. Перша допомога при опіках та отруєннях:

– при термічних опіках негайно робіть примочку розчином калію перманганату або етиловим спиртом, а потім змастіть місце опіку маззю від опіків;

– при опіках кислотами добре промийте місце опіку сильним струменем води, а потім слабким розчином соди та знову водою;

– у разі потрапляння в очі кислоти – промити очі водою, а потім 3 %-вим розчином бікарбонату натрію;

– при опіках їдкими лугами добре промийте опік проточною водою, а потім розведеною оцтовою кислотою і знову водою;

– у разі потрапляння в очі лугу – негайно промити очі водою, а потім розчином борної кислоти;

– при всіх випадках поранень, опіків та отруєнь після надання першої допомоги потерпілому його направляють до медпункту або поліклініки.

МЕТОДИ ВІДБОРУ ПРОБ ГАЗУ

Загальні положення

Під час відбирання проб визначення газових компонентів і парів газова система розглядається як гомогенна. Для визначення механічних домішок та рідких суспензій – як гетерогенна. Умови та місце відбирання проб установлюються залежно від хімічного складу газу та видів аналізу.

Місце відбирання проб має бути зручним для обслуговування та мати пробовідбірне обладнання для приєднання вхідного штуцера пробовідбірника. Під час відбирання проб потрібно дотримуватися правил техніки безпеки. Залежно від складу газу, його стану та умов відбирання особливі запобіжні заходи під час відбирання проб варто застосовувати в таких випадках:

– у газі містяться завислі рідини і потік має двофазний стан; температура газу вища за температуру середовища, в умовах якого проводиться відбирання проб;

– у газі містяться сірководень та інші корозійні домішки;

– концентрація визначуваного компонента (домішки) дуже мала;

– у газові потоки вносяться хімічні реагенти та інші домішки, що впливають на склад газу;

– температура і тиск потоку змінюється під час відбирання проб або коли тиск у пробовідбірнику не дорівнює тиску в системі, з якої відбирають пробу газу.

Апаратура та матеріали

Пробовідбірні лінії. Пробовідбірні лінії повинні бути якомога коротшими і невеликого діаметра, що скорочує час продування та обмін газу під час відбирання. Для відбирання газу під тиском пробовідбірні лінії виготовляють зі сталевих згідно з ГОСТ 14162, мідних згідно з ГОСТ 617 або алюмінієвих трубок внутрішнім діаметром 2–6 мм. Пробовідбірні лінії повинні бути розраховані на робочу температуру і максимальний робочий тиск відбираного газу. На пробовідбірних лініях установлюються прилади контролю тиску (манометри пружинні, зразкові) та температури газу (термометр згідно з ГОСТ 2045).

Для відбирання газу, що містить сірководень, пробовідбірні лінії виготовляють із трубок внутрішнім діаметром 2–4 мм, з нержавіючої сталі.

Проби газу, у якому міститься крапельна рідина, відбирають через проміжну ємність і фільтр зі скляної вати для виділення рідини та аерозолів із газу до його надходження у пробовідбірник.

Якщо газ містить механічні домішки (пил), які не потрібно визначати, у лінії відбирання встановлюють фільтр зі скляної вати чи іншого фільтрувального матеріалу, що не змінює склад газу.

Під час відбирання газу з ліній низького тиску можна використовувати трубки зі скла згідно з ГОСТ 9964, пластмас згідно з ГОСТ 19034, кварцу, фарфору, які з’єднують у стик гумовими або пластмасовими муфтами.

Для відбирання газу з колодязів, шурфів та інших місць, де немає надлишкового тиску та утруднений доступ оператора, допускається застосування трубок із гнучких пластмас згідно з ГОСТ 19034 різних типів та гумових трубок згідно з ГОСТ 3399 або ГОСТ 5496, що мають низьку проникність та не реагують із газом.

Пробовідбірники. Об’єм пробовідбірників має відповідати об’єму газу, потрібного для виконання всіх видів можливих аналізів. Для відбирання проб природних газів під тиском застосовують металеві пробовідбірники (контейнери) об’ємом до 1 дм^3, балони об’ємом до 40 дм^3 згідно з ГОСТ 9731 з одним або двома вентилями, виготовленими зі сталі чи іншого міцного газонепроникного металу або сплаву, що не взаємодіє з газом, та розраховані на робочу температуру і максимальний робочий тиск відбираного газу.

Проби газу під атмосферним тиском можна відбирати в газові піпетки згідно з ГОСТ 18954, що мають на одному кінці триходовий, а на другому – двоходовий крани, а також у пляшки згідно з ГОСТ 10117 (СТ СЭВ 824).

Допоміжне обладнання

1. Краплеуловлювач – металева посудина, що має вхідний та вихідний вентилі для під'єднання до пробовідбірника та пробовідбірної лінії. Краплеуловлювач призначений для відділення рідини перед надходженням газу у пробовідбірник.

2. Фільтр – металевий патрон з ущільнювальною кришкою, заповнений скляною ватою, призначений для запобігання потраплянню пилу та інших механічних зависей у пробу.

3. Ручні вакуумні або інші насоси призначено для відбирання проб газу із систем, тиск газу в яких недостатній для продування та заповнення пробовідбірників.

4. Пробовідбірники-концентратори – металеві або скляні трубки різної форми, балони та інші посудини, заповнені адсорбентами, із запірними кранами, що герметично закриваються. Концентратори застосовують для визначення парів метанолу, гліколів, бензолу, толуолу та домішок інших висококиплячих компонентів, що містяться в газах у малих кількостях.

5. Поглинальні посудини для промивання газу згідно з ГОСТ 10378 застосовують для селективного виділення з газу сірководню, двоокису вуглецю та інших домішок абсорбційним способом.

6. Матеріали пробовідбірних ліній, пробовідбірників (контейнери, балони та ін.) та допоміжного обладнання, що використовуються під час відбирання проб, мають відповідати робочим умовам та не впливати на склад газу.

7. Запірні рідини.

7.1 Запірні рідини застосовують у тих випадках, коли тиск газу недостатній для продування та заповнення пробовідбірників, й у випадках відбирання зі свердловин, природних виходів, а також коли газ відбирають у пляшки згідно з ГОСТ 10117 (СТ РЕВ (Стандарт Ради економічної взаємодопомоги) 824), газометри згідно з ГОСТ 11582 та для витіснення проб газу з ємностей в аналізатори, коли немає надлишкового тиску.

7.2 Як запірні рідини застосовують розчини хлористого натрію згідно з ГОСТ 13830 (22 %-й розчин у дистильованій воді згідно з ГОСТ 6709), гліцерин згідно з ГОСТ 6259, суміш рівних об'ємів води та гліцерину.

Методи відбирання проб

Об'єм проб. Об'єм проби газу залежить від методів аналізу, приладів, на яких проводитиметься аналіз, а також об'єму газу, потрібного на продування лінії.

Місце відбирання проб

1. Проби природного газу відбирають із газових свердловин, промислових збірних ліній, газопроводів та міських розподільних мереж, апаратів, резервуарів зберігання газу та інших об'єктів. Місцем відбирання проб із газових свердловин слугує пробовідбірний вентиль або манометричний штуцер із редукційним вентилем, установленим на головці свердловини або

викидної лінії фонтанної арматури, або викидної лінії затруб'я. Місцем відбирання проб газу газоконденсатних свердловин, що дають двофазний потік, слугує пробовідбірний вентиль, установлений на виході газу першого після свердловини сепаратора. Пробу рідини відбирають із вентиля, встановленого на рівнемірі.

2. Проби газу зі свердловин відбирають тільки у процесі безперервного газообміну пласт-устя, коли досягається максимальне наближення до умов, за яких на вибої свердловин та фонтанної арматури не відбувається накопичення рідини і в свердловину не вносяться хімічні реагенти.

3. Місцем відбирання проб із газопроводу, промислового та технологічного колектора слугує штуцер із запірним вентилем або манометричний штуцер, розташований у верхній частині горизонтальної ділянки або на вертикальній ділянці трубопроводу.

4. Місцем відбирання проб газу з апаратів слугує вентиль, установлений на вихідному трубопроводі основного потоку газу, якомога ближче до сепаратора. Проби відбирають за усталених технологічних режимів роботи апарата.

Умови відбирання проб

Під час відбирання проб потрібно виконувати такі правила:

1. Відбирання проб для визначення вуглеводнів, азоту, кисню, водню, гелію, аргону та двоокису вуглецю із системи з тиском газу вище від атмосферного і точкою роси води нижче від температури газу здійснюють у контейнери або балони способом сухого продування і заповнюють їх до тиску, що дорівнює тиску в точці відбирання.

2. Перед відбиранням проб пробовідбірну лінію продувають газом протягом 1–2 хв до повного видалення залишкового газу (повітря) і речовин, що конденсуються.

3. Вихідний кінець пробовідбірної лінії приєднують до верхнього вентиля контейнера, встановленого вертикально. При повністю відкритому верхньому та частково відкритому нижньому вентилі продувають контейнер протягом 10–15 хв зі швидкістю газу 2–3 $дм^3$/хв, закривають нижній вентиль пробовідбірника, протягом 1–2 хв вирівнюють тиск у ньому до тиску в місці відбирання, повністю закривають верхній вентиль пробовідбірника та вентиль на пробовідбірній лінії. Звільнивши одну з накидних гайок пробовідбірної лінії, скидають тиск і від'єднують пробовідбірник.

4. Контейнер перевіряють на герметичність почерговим зануренням вентилів у посудину з водою або способом мильної плівки. Вентилі висушують і по можливості закривають запобіжними ковпаками (гайками). Пробу маркують.

5. Під час відбирання великих об'ємів газу (визначення теплоти згоряння газу, густини та ін.) проби відбирають у сталеві балони об'ємом до 40 $дм^3$ способом сухого продування і заповненням, не перевищуючи допустимого тиску.

6. Підключення та продування пробовідбірної лінії – згідно з п. 2. Вихідний кінець пробовідбірної лінії під'єднують до вентиля балона, який має

бути повністю відкритий. Відкривають вентиль пробовідбірної лінії та регулюють швидкість потоку, заповнюють балон газом до відповідного тиску. Закривши вхідний вентиль на пробовідбірній лінії, повільно знижують тиск у балоні через вентиль приблизно до атмосферного так, щоб не відбувалася конденсація газу. Наповнюють і випускають газ із балона 5–8 разів залежно від тиску газу в місці відбирання, потім заповнюють балон газом до потрібного тиску, закривають вентиль балона, від'єднують його від пробовідбірної лінії, перевіряють на герметичність і пробу маркують.

7. Для визначення вмісту сірководню, меркаптанової сірки, парів води, метанолу, гліколів, інших домішок і температури точок роси вологи та вуглеводнів проби відбирають безпосередньо у прилад для аналізу.

8. Під час відбирання малих об'ємів газу (якщо вміст сірководню в газі понад 5 %) проби відбирають у сухі скляні таровані піпетки способом сухого продування та створенням невеликого (порівняно з атмосферним) надлишкового тиску. Для відбирання проб верхній кран піпетки приєднують у стик гумовою трубкою до пробовідбірної лінії, виготовленої з корозійностійкого матеріалу (нержавіючої сталі, алюмінію, скла). Відкривають нижній, а потім верхній крани піпетки і пропускають газ до повного витіснення повітря (10–15-кратний об'єм піпетки). Закривають нижній, потім верхній крани піпетки (створюють невеликий надлишковий тиск) і від'єднують від пробовідбірної лінії. Піпетку перевіряють на герметичність зануренням кранів у посудину з водою. Пробу маркують.

9. Для визначення органічних сполук сірки та двоокису вуглецю, якщо її вміст у газі понад 10 %, проби відбирають у сухі пробовідбірники зі скла або нержавіючої сталі. Відбирають проби газу способом сухого продування в контейнери за п. 1, у скляні піпетки – за п. 8.

10. Проби газу, що містить конденсовані вуглеводні, відбирають у сухі, чисті пробовідбірники з дотриманням заходів, що запобігають конденсації фракції у процесі відбирання.

11. Для запобігання конденсації проби газу температура пробовідбірної лінії та контейнера має бути не нижчою за температуру газу. При введенні проб на аналіз контейнер має бути нагрітий до температури, що перевищує температуру відбирання проб. Проби відбирають способом, описаним у пп. 2–4.

12. Під час відбирання проб газу з двофазного потоку попередньо, перед забором проби газу в контейнер, з нього виділяють рідину. Для цього на лінії відбирання проб перед контейнером установлюють краплевловлювач.

13. Для відбирання проб газу приєднувальний штуцер пробовідбірної трубки встановлюють перпендикулярно до осі трубопроводу. Пробовідбірну трубку приєднують до вхідного вентиля краплевловлювача.

При закритому вихідному вентилі краплевловлювача через відкритий нижній вентиль продувають краплевловлювач і систему з поступовим відновленням тиску в ньому до тиску в точці відбирання. За умов сталого постійного тиску і температури до вихідного вентиля краплевловлювача під'єднують контейнер, що встановлюється у вертикальному положенні, до нижнього вентиля якого приєднують шлангом газовий лічильник для

вимірювання об’єму газу, що пропускається через систему в період відбирання проби газу.

14. Відбирання проб у контейнер роблять способом сухого продування під тиском (пп. 3 та 4).

15. Якщо в уловлювальній посудині збирається рідина, вимірюють кількість зібраної рідини у вимірювальній посудині під тиском для подальшого аналізу газової та рідкої частини цієї проби фракціонуванням або іншим способом.

16. Для визначення вмісту сірководню, меркаптанової сірки, гліколів та інших домішок, які визначають виділенням їх із газу поглинальними розчинами, газ відбирають безпосередньо в поглинальні посудини без проміжного відбирання проб.

17. Пробовідбірну лінію безперервно продувають тим самим газом через трійник, установлений перед входом газу в поглинальні посудини.

18. Швидкість газового потоку через поглинальні посудини, кількість газу, що пропускається, способи їхнього вимірювання, будова поглинальних посудин та інші положення забору газу встановлено у стандартах на методи аналізу компонентів, зазначених у п. 16.

19. Для визначення вологості та температури точки роси вуглеводнів і води відбирають газ безпосередньо з контрольованої системи у вимірювальний прилад.

20. Трубки пробовідбірної лінії мають бути виготовлені з нержавіючої сталі, внутрішнім діаметром 2–4 мм. Якщо аналізатори встановлюють на відстані 10–20 м, то лінії підведення газу обладнують із труб діаметром 25,4–50,8 мм. Цими лініями здійснюється безперервний газообмін за тих тисків, що й у точці відбирання газу, зі скиданням газу на свічку або колектор.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ НАФТОПРОДУКТІВ

Мета роботи: визначення візуальним методом кольору різних нафтопродуктів, зокрема мастил, пічного палива, моторного мазуту та нафтових парафінів.

Апаратура, матеріали та реактиви

Зразки нафти, дизельних палив, масл; розріджувач гас; колориметр, що складається із джерела світла, кольорового стандартного скла, гнізда з кришкою, у якому міститься посудина зі зразком, та окуляра, як зазначено в додатку; посуд для зразка із прозорого безбарвного скла. Для арбітражних випробувань використовують скляний циліндр, показаний на кресленні (рис. 1.1). Для традиційних випробувань можна використовувати скляний циліндр, застосовуваний під час визначення температур помутніння і застигання, тобто циліндричний посуд із плоским дном, внутрішній діаметр якого 30–33,5 мм, а висота зовнішньої частини 115–125 мм.

Хід роботи

Рідкі нафтопродукти. У циліндр (рис. 1.1) наливають зразок до рівня 50 мм або більше і перевіряють колір зразка. Якщо зразок непрозорий, його нагрівають до температури, що перевищує на 6 °С температуру, за якої він стає прозорим, і визначають колір. Якщо колір зразка темніший 8 одиниць за колірною шкалою (табл. 1.1), то розбавляють 15 об’ємів зразка 85 об’ємами розріджувача і визначають колір суміші.

Нафтові парафіни, разом з петролатумом. Зразок нагрівають до температури, що перевищує на 11–17 °С точку плавлення парафіну. Якщо колір зразка темніший 8 одиниць за колірною шкалою (табл. 1.1), змішують 15 мл розплавленого зразка з 85 мл розріджувача, нагрівають до зазначеної температури і визначають колір суміші. Розріджувач гас використовують для розведення темних зразків. Колір цього розчинника має бути світлішим за розчин біхромату калію ($K_2Cr_2O_7$), приготовленого розчиненням 4,8 мг чистого безводного біхромату калію в 1 $дм^3$ дистильованої води. Посудину для зразка, заповнену дистильованою водою до рівня (не менше 50 мм), ставлять у комірку колориметра і за допомогою стандартного скла спостерігають колір. Зразок наливають у циліндр, який встановлюють в іншу комірку колориметра. Обидві посудини закривають, щоб не проникало зовнішнє світло. Увімкнувши джерело світла колориметра, визначають колір зразка. Для цього порівнюють його зі стандартним склом і визначають, який еталон більше підходить за кольором до зразка.

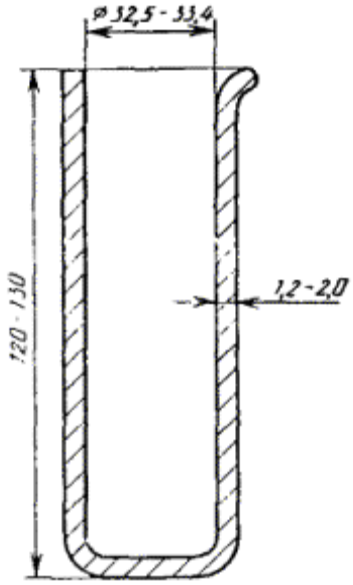

Рисунок 1.1 – Скляний циліндр

Опис колориметра. Прилад повинен освітлювати і забезпечувати спостереження одночасно за зразком та одним із кольорових стандартних стекол безпосередньо або за допомогою оптичного окуляра. У приладі має бути видно два поля однакового розміру і форми – одне, освітлене світлом, що його пропускає стандартне скло, друге – світлом, що пропускається зразком. Ці поля повинні розташовуватися симетрично біля вертикальної середньої лінії і на деякій відстані одне від одного по горизонталі. Відстань між найближчими точками по горизонталі повинна бути такою, щоб відрізок прямої, що з'єднує їх, розглядався під кутом не менше 2° і не більше 3,6°.

Кожне освітлене поле утворює коло, що розглядається під кутом 2,2°. Коло може бути збільшено до будь-якого розміру і форми за умови, що відстань між двома освітленими точками по горизонталі розглядається під кутом не більше 10°.

Примітка 1. Кут, утворений лінією завдовжки *d*, у площині, перпендикулярній візирній лінії, що знаходиться на відстані *D* від ока спостерігача, характеризується значенням 57,3 *d/D*. Кут, утворений зображенням цієї лінії, видимої при перегляді крізь окуляр зі збільшенням M, характеризується значенням 57,3 *Md/D*, де *D* – відстань між оком спостерігача і площиною зображення.

Джерело складається з лампи з колірною температурою 2 750 К, скляного фільтра денного світла та відпаленого матового скла. Спектральні характеристики цих елементів повинні відповідати характеристикам розсіяного денного світла. Конкретне джерело світла забезпечує просвічувальний фон яскравістю (900 ± 100) лк, за якого можна розглядати стандартне скло та зразок. Фон, створений освітленим матовим склом, не повинен давати відсвічування чи тіней, а зовнішнє світло не повинне заважати спостереженню.

Примітка 2. Скляний фільтр денного світла вважається придатним, якщо під час спектрофотометричної перевірки він покаже коефіцієнт пропускання енергії випромінювання не менше ніж 0,60 за довжини хвилі 410 нм. Хід кривої має бути плавним до точки, що характеризує коефіцієнт пропускання менше 0,10 за довжини хвилі 700 нм.

Крім того, ця крива не повинна мати яскраво вираженого максимуму, характерного для надлишку кобальту, причому типова крива, що характеризує кобальт, дає підвищений коефіцієнт пропускання за довжини хвилі 570 нм відносно прямої, проведеної між точками, що характеризують значення коефіцієнта за довжин хвиль 540 і 590 нм, а також смуги пропускання за довжини хвилі понад 660 нм. Коефіцієнт пропускання відповідного фільтра за довжини хвилі 570 нм не повинен перевищувати більш ніж на 0,03 значення, виражене прямою, проведеною між точками, що характеризують коефіцієнт пропускання за довжин хвиль 540 і 590 нм. Коефіцієнт пропускання за довжини хвилі 700 нм не повинен перевищувати більш ніж на 0,03 значення, що характеризується більш короткою хвилею (наприклад, 660 нм). Відповідний фільтр денного світла повинен мати такі самі характеристики.

Координати хроматичності *x, y, z* та коефіцієнт пропускання світла t(l), обчислені відповідно до значення спектрального коефіцієнта пропускання на основі еталонного джерела світла *A* Міжнародної комісії зі світлотехніки, повинні мати такі значення:

t(l) 0,107 – 0,160; *x* 0,314 – 0,330; *y* 0,337 – 0,341; *z* 0,329 – 0,349.

Кольорові стандартні стекла. Кольорові стекла встановлюють у положенні, зручному для переміщення. Товщина стандартного скла має бути не менше 14 мм.

Опрацювання результатів

Колір зразка виражають у вигляді умовного позначення стандартного скла, близького за кольором, наприклад, «Колір 7,5 згідно з ГОСТ 28582-90».

Якщо колір зразка є проміжним між кольором двох стандартних стекол, записують умовне позначення темнішого скла, поставивши попереду літеру «L», наприклад «Колір L 7,5 згідно з ГОСТ 28582-90». Якщо колір зразка темніший за певний стандарт скла, то це не відзначається. Винятком є колір зразка, темніший 8, що позначається «Колір D 8 згідно з ГОСТ 28582-90».

Якщо зразок розбавлений розчинником, після кольору суміші записують скороченням «Розб.» (Dil), наприклад «Колір L 7,5 Розб. згідно з ГОСТ 28582-90».

Точність та відтворюваність результатів. Розбіжності між результатами двох послідовних визначень, проведених одним оператором на тому самому приладі (з 95 %-ю довірчою ймовірністю), не повинні перевищувати 0,5 колірного номера. Розбіжності між результатами двох лабораторій (з 95 %-ю довірчою ймовірністю) не повинні перевищувати 0,5 колірного номера.

Таблиця 1.1 – Шкала для 16-кольорових стандартних стекол

Колір	Координати хроматичності*			Коефіцієнт пропускання t(l)
	Червоний	Зелений	Синій	
0,5	0,462	0,473	0,065	0,86 ± 0,06
1,0	0,489	0,475	0,036	0,77 ± 0,06
1,5	0,521	0,464	0,015	0,67 ± 0,06
2,0	0,552	0,442	0,006	0,55 ± 0,06
2,5	0,582	0,416	0,002	0,44 ± 0,04
3,0	0,611	0,388	0,001	0,31 ± 0,04
3,5	0,640	0,359	0,001	0,22 ± 0,04
4,0	0,671	0,328	0,001	0,152 ± 0,022
4,5	0,703	0,296	0,001	0,109 ± 0,016
5,0	0,736	0,264	0,000	0,081 ± 0,012
5,5	0,770	0,230	0,000	0,058 ± 0,010
6,0	0,805	0,195	0,000	0,040 ± 0,008
6,5	0,841	0,159	0,000	0,026 ± 0,006
7,0	0,877	0,123	0,000	0,016 ± 0,004
7,5	0,915	0,085	0,000	0,008 1 ± 0,001 6
8,0	0,956	0,044	0,000	0,002 5 ± 0,000 6
* Допустимі відхилення координат хроматичності ±0,006.				

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мета роботи; хід роботи; одержані результати визначення кольору для різних зразків нафти та нафтопродуктів; дату випробування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФРАКЦІЙ ПІД ЧАС ПЕРВИННОЇ ПЕРЕГОНКИ НАФТИ

Мета роботи: ознайомитися з методикою проведення перегонки нафти (газового конденсату) в лабораторних умовах. Провести розгонку запропонованого зразка з виділенням перелічених вище фракцій. Визначити густину кожної фракції. Розрахувати матеріальний баланс процесу перегонки.

Апаратура та реактиви

Термометр ТИН-4-1 та ТИН 4-2 (ГОСТ 400), термометри АСТМ 7С та 8С; перегінна колба (колба Енґлера); скляний холодильник; алонж; приймач; мірний циліндр об'ємом 100 $см^3$, 25 $см^3$, 10 $см^3$, 5 $см^3$; скляні конуси об'ємом 50 $см^3$.

Теоретична частина

Найбільш важливими джерелами вуглеводнів є нафта та горючі (природні й попутні) гази. **Природними** називають гази, що утворюють самостійне родовище, які містять до 96–98 % метану.

Попутними називаються гази, які супроводжують нафту під час її видобутку. Поряд із метаном (вміст до 70 %) у них містяться також етан, пропан, бутан та пари низькомолекулярних рідких вуглеводнів. До складу природних і попутних газів входять, поряд з вуглеводнями, деякі неорганічні гази – наприклад, азот, сірководень, гелій, вуглекислий газ та ін.

Всі нафти містять алкани, циклоалкани та арени (метанові, нафтенові й ароматичні вуглеводні). Кількісний вміст цих вуглеводнів у різних нафтах неоднаковий і також залежить від родовища. Крім того, у нафті є гетероатомні сполуки, що містять кисень, сірку, азот. Нафта також містить мінеральні речовини у вигляді різних солей.

Перегонка нафти становить процес поділу на фракції за температурами кипіння і лежить в основі переробки нафти в моторне паливо, мастила та інші цінні хімічні продукти.

З перегонки нафти починають вивчення її хімічного складу. Основні фракцій та продукти, які отримують під час прямої перегонки нафти:

1. Бензинова фракція (**від початку кипіння до 150–205 °С** (залежно від технологічної мети отримання авто-, авіа- чи іншого спеціального бензину) – суміш алканів, нафтенів та ароматичних вуглеводнів. У всіх цих вуглеводнях міститься від 5 до 10 атомів вуглецю.

2. Гасова фракція (**180–270 °С**) – містить вуглеводні C_{10}-C_{15}, використовується як компонент моторного палива для реактивних і дизельних двигунів, для побутових потреб (освітлювальний гас).

3. Газойлева фракція (**270–350 °С**) містить вуглеводні C_{16}-C_{20}, може бути використана як компонент дизельного палива, а також як сировина для крекінгу.

4. Мазут – нафтовий залишок, що кипить вище за **320–350 °С**. Мазут може використовуватися як котельне паливо або піддаватися подальшій переробці або крекінгу, або перегонці за зниженого тиску (у вакуумі) задля запобігання його термічному розкладанню. При цьому відбирають олійні фракції (для отримання солярової, трансформаторної, веретенної, машинної та ін. олив) або широку фракцію вакуумного газойлю (що також слугує сировиною для каталітичного крекінгу з метою отримання високооктанового компонента бензину).

5. Гудрон – майже твердий залишок після відгону від мазуту оливних фракцій. З нього отримують так звані залишкові оливи та бітум, з якого окисленням одержують асфальт, що використовується у будівництві доріг тощо. З гудрону та інших залишків вторинного походження може бути отримано коксуванням кокс, що застосовується у металургійній промисловості.

Хід роботи

У колбу Енґлера (об'ємом 125 мл) наливають 100 $см^3$ сирої нафти (конденсату). Колбу закривають пробкою з термометром і з'єднують із холодильником, до якого приєднують алонж та приймачі (рис. 2.1). Масу взятої нафти обчислюють за формулою:

$$m = V \times \rho, \qquad (2.1)$$

де V – об'єм, $см^3$ а ρ – густина нафти, $г/см^3$.

Як приймачі використовують три невеликі конічні колбочки, які попередньо зважують. Колбу обережно нагрівають на піщаній бані або азбестовій сітці. Відзначають початок кипіння (п. к.) першої фракції і відбирають продукт до 180 °С (коли температура відгонюваних парів досягає 135 °С, припиняють подачу води в холодильник). Потім колбу-приймач змінюють і відбирають гасову (180–270 °С) та газойлеву (270–350 °С) фракції.

Приймачі з відібраними дистилятами зважують і за різницею визначають масу кожної фракції (табл. 2.1).

Потім за допомогою мензурок визначають об'єм кожної фракції та обчислюють густину ($\rho_{розрах.}$) для кожної фракції, використовуючи формулу 2.1. Переконуються, що густина фракцій зростає зі збільшенням температури їхнього кипіння.

Після цього аналогічні фракції від усіх дослідів зливаються в одну мензурку і густина всіх фракцій визначається за допомогою ареометрів або пікнометрів ($\rho_{екс.}$). Одержані дані порівнюються з обчисленими.

Результати перегонки та розрахунків заносять до таблиці 2.2.

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мету роботи; хід роботи; одержані результати вимірювань та обчислень, занесені до таблиці, висновок, дату випробування.

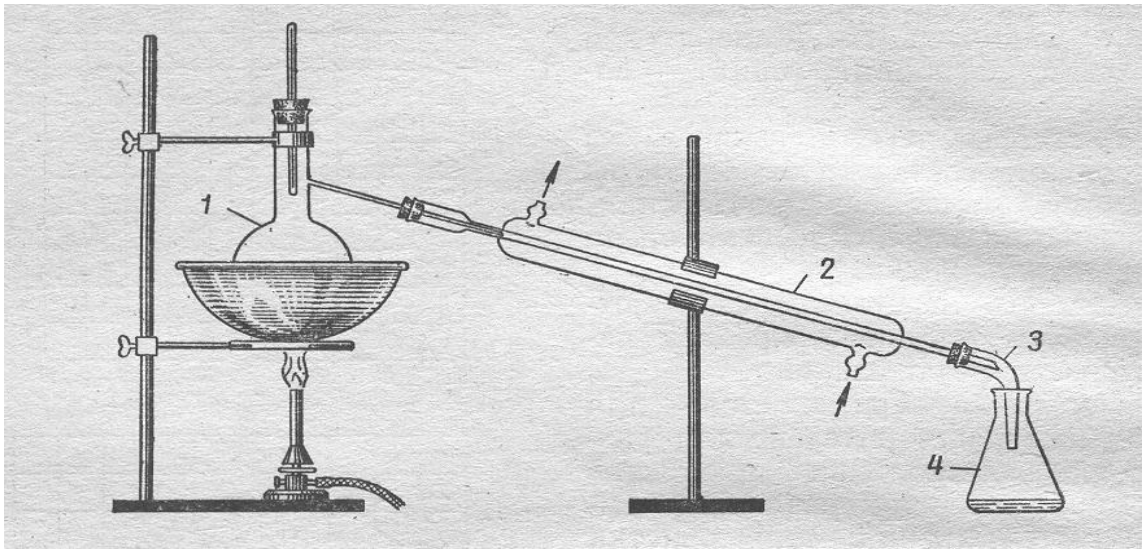

Рисунок 2.1 – Установка для перегонки нафти
1 – перегінна колба (колба Енглера); 2 – холодильник;
3 – алонж; 4 – приймач

Таблиця 2.1 – Результати зважування

Ч.ч	m (пустого приймача)	m (приймача з фракцією)	m (фракції)
1			
2			
3			

Таблиця 2.2 – Матеріальний баланс фракційної перегонки нафти

Назва продукту (фракції)	Межі кипіння, °С	Об’єм, $см^3$	Маса, г	Густина, $г/см^3$		Вихід, %	
				Обч.	Екс.	Об’ємний	Ваговий
Взято: Нафта (конденсат)		100				100	100
Отримано: 1. Бензин 2. Гас 3. Газойль 4. Залишок (мазут)	 п.к.–I80° 180–270° 270–350° > 350°						
Всього отримано:		100				100	100

Контрольні запитання

1. Що становить нафта? Газ? Газоконденсат?

2. Наведіть приклади вуглеводнів, що містяться в нафті.

3. Що таке первинна перегонка нафти?

4. У чому полягає атмосферна перегонка нафти? На які фракції поділяють нафту під час перегонки?

5. У чому полягає вакуумна перегонка? Коли вона застосовується? На які фракції ділять мазут у вакуумній перегонці?

6. Що визначає температуру кипіння фракції?

7. Від чого залежить фракційний склад нафти?

8. Що таке густина нафти та густина нафтопродуктів? У яких межах змінюється густина нафти? Як змінюється густина фракції залежно від температури? Якими двома методами можна визначити густину нафтопродукту?

9. Вуглеводні яких класів містяться у нафті?

10. Вуглеводні з яким числом вуглецевих атомів містяться у бензиновій фракції? Які вуглеводні входять до складу газойлевої фракції? Гасової фракції? Мазуту?

11. У якій фракції містяться вуглеводні: C_6H_6, C_6H_{12}, C_6H_5-CH_3? Вуглеводні C_6H_5-C_2H_5, C_7H_{16}, C_8H_{18}? Вуглеводні C_8H_{18}, C_6H_6? Назвіть їх.

12. Охарактеризуйте фракційний склад нафти та поясніть використання у нафтопереробці таких нафтових фракцій: а) бензинової фракції; б) гасової фракції; в) дизельної фракції; г) мазуту; д) вакуумного газойлю; е) оливних фракцій; ж) гудрону.

13. Чому мазут переганяють за зниженого тиску?

14. Як ви уявляєте собі роботу ректифікаційної колони?

15. Що таке крекінг?

16. За якими основними параметрами якості оцінюють товарну нафту?

17. Дайте визначення поняття «глибина переробки нафти».

18. Охарактеризуйте основні напрями переробки нафти (паливний, оливний та нафтохімічний).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ВУГЛЕВОДНІВ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ ТА РОЗРАХУНОК ЇХНЬОЇ МОЛЕКУЛЯРНОЇ МАСИ

Мета роботи: навчитися визначати густину окремих фракцій нафти, газового конденсату за нормальної температури навколишнього середовища з допомогою скляного ареометра й обчислити її значення за нормальної температури 20 °С; навчитися визначати густину за допомогою пікнометра; навчитися обчислювати середню молекулярну масу, навчитися визначати густину природного газу за допомогою пікнометра.

Прилади та реактиви

Циліндри для ареометрів скляні згідно з ГОСТ 18481 ємністю 900 $см^3$; циліндри для ареометрів скляні ємністю 900 $см^3$; ареометри для нафти АНТ-1 згідно з ГОСТ 18481; термометри ртутні скляні Тл 4 № 2 або ТИН 5 згідно з ГОСТ 400; термостат або водяна баня для підтримання температури з похибкою 0.2 °С; пікнометри типів ПЖ-1, ПЖ-2, ПЖ-3 або ПТ згідно з ГОСТ 22524; ПГ згідно з ГОСТ 22524; аналітичні терези з похибкою зважування не більше 0.0002 г; піпетка з відтягнутим носиком; вода дистильована pH 5.4-6.6. Розчинники для промивання; хромова суміш; м'яка безворсова тканина; зразки нафти або газового конденсату; автомобільний бензин; дизельне паливо.

Теоретична частина

Густиною називають масу речовини, що міститься в одиниці об'єму. Одиниця густини – кілограм на кубічний метр ($кг/м^3$). Густина палива (мастила) залежить від групового хімічного складу. Найменшу густину мають парафінові вуглеводні, найбільшу – нафтенові та ароматичні вуглеводні. Густина необхідна для розрахунку маси продукту, питомої рефракції та інших показників, що характеризують хімічний склад і властивості нафтопродуктів. Густина є нормованим показником якості деяких нафтопродуктів, її вимірювання передбачено стандартами багатьох країн. За густиною можна орієнтовно судити про склад нафти та нафтопродуктів і, як наслідок, про її якість та вартість.

Густина залежить від температури (табл. 3.1). З підвищенням температури густина нафтопродукту зменшується. Знаючи густину за температури t, можна визначити густину за 20 °С. При визначенні густини високов'язких нафтопродуктів (кінематичної в'язкості за 50 °С,200 $мм^2/с$) їх змішують з рівним об'ємом гасу (або паливом Т-1, ТС-1), густина якого відома, і визначають, як зазначалося раніше, густину суміші. Густина належить до найпоширеніших показників, визначуваних для нафтопродуктів.

Для нафти і нафтопродуктів визначають відносну густину p_4^{20}, що становить відношення густини нафтопродукту за 20 °С до густини води за 4 °С і є безрозмірною величиною. Оскільки густина води за 4 °С дорівнює

1 000 кг/м^3, відносна густина чисельно дорівнює абсолютній. Нині для гармонізації нормативної документації дедалі більше застосовується показник густини 415, що відповідає температурі випробування 60 °F (за Фаренгейтом), прийнятої Американським інститутом нафти (API). Практикується також вираження густини в градусах API (табл. 3.2).

Густина нафти та нафтопродуктів зменшується з підвищенням температури нагрівання. Зміна її залежно від температури підпорядковується лінійному закону згідно з формулою (3.1), запропонованому Д. І. Менделєєвим:

$$\rho_4^t = \rho_4^{20} - A(t - 20), \qquad (3.1)$$

де ρ_4^t – відносна густина нафтопродукту за заданої температури; ρ_4^{20} – відносна густина нафтопродукту за стандартної температури (20 °С); а – поправка на зміну густини у разі зміни температури на один градус (табл. 3.3).

На значення густини впливає фракційний склад нафтопродукту. Чим вищі температурні межі википання фракцій палива (оливи), тим більша їхня густина. Стандартизовано 2 методи визначення густини: ареометричний та пікнометричний (ГОСТ 3900-85)

Метод визначення густини ареометром. Метод застосовується для визначення густини нафти і нафтопродуктів ареометром для нафти. Сутність методу полягає в зануренні ареометра у досліджуваний нафтопродукт, знятті показання за шкалою ареометра за температури визначення та перерахунку результатів на густину за температури 20 °С.

У США стандартизовано метод визначення густини рідких нафтопродуктів ареометром для нафти ASTM 1298-90.

Метод визначення густини пікнометром. Пікнометр – це скляна посудина з шийкою і міткою у верхній її частині та кришкою-ковпачком, що щільно прилягає. Пікнометри застосовують для дуже точного вимірювання густин різних речовин, зокрема й газів.

Вимірювання густини пікнометром ґрунтується на зважуванні наявної в ньому речовини (зазвичай у рідкому стані), що заповнює пікнометр до мітки на горловині або до верхнього краю капіляра, що відповідає номінальній місткості пікнометра. Вимірювання об’єму значно спрощуються, якщо замість однієї мітки пікнометр має шкалу. Дуже зручний у роботі пікнометр з боковою капілярною трубкою, у якої пробкою слугує тіло термометра. Густину твердих тіл визначають, занурюючи їх у пікнометр із рідиною. Для вимірювання густини газів застосовують пікнометри спеціальної форми (кулясті та ін.).

До основних переваг пікнометричного методу належать: висока точність вимірювань (до 10^{-5} г/см^3); можливість використання малих кількостей речовини (0,5–100 см^3); мала площа вільної поверхні рідини в пікнометрі, що практично виключає випаровування рідини та поглинання вологи з повітря; роздільне проведення операцій.

Таблиця 3.1 – Визначення густини продукту

Середнє значення виміряної температури, °С	Округлене значення густини продукту, кг/м^3										
	750	**760**	**770**	**780**	**790**	**800**	**810**	**820**	**830**	**840**	**850**
	Густина за температури 20 °С, кг/м^3										
1	2										
10,0	742,0	752,2	762,4	772,6	782,7	792,9	803,0	813,1	823,2	833,3	843,4
10,5	742,4	752,6	762,8	772,9	783,1	793,2	803,3	813,4	823,5	833,6	843,7
11,0	742,8	753,0	763,2	773,3	783,4	793,6	803,7	813,7	823,9	834,0	844,0
11,5	743,2	753,4	763,5	773,7	783,8	793,9	804,1	814,1	824,2	834,3	844,4
12,0	743,6	753,8	763,9	774,1	784,2	794,3	804,4	814,5	824,6	834,6	844,7
12,5	744,0	754,2	764,3	774,4	784,6	794,7	804,8	814,8	824,9	835,0	845,0
13,0	744,4	754,6	764,7	774,8	784,9	795,0	805,1	815,2	825,3	835,3	845,4
13,5	744,8	755,0	765,1	775,2	785,3	795,4	805,5	815,5	825,6	835,6	845,7
14,0	745,2	755,3	765,5	775,6	785,7	795,7	805,8	815,9	825,9	836,0	846,0
14,5	745,6	755,7	765,8	775,9	786,0	796,1	806,2	816,2	826,3	836,3	846,4
15,0	746,0	756,1	766,2	776,3	786,4	796,5	806,5	816,6	826,6	836,7	846,7
15,5	746,4	756,5	766,6	776,7	786,8	796,8	806,9	816,9	827,0	837,0	847,0
16,0	746,8	756,9	767,0	777,0	787,1	797,2	807,2	817,3	827,3	837,3	847,4
16,5	747,2	757,3	767,4	777,4	787,5	797,5	807,6	817,6	827,6	837,7	847,7
17,0	747,6	757,7	767,7	777,8	787,8	797,9	807,9	817,9	828,0	838,0	848,0
17,5	748,0	758,1	768,1	778,2	788,2	798,2	808,3	818,3	828,3	838,3	848,3
18,0	748,4	758,5	768,5	778,5	788,6	798,6	808,6	818,6	828,7	838,7	848,7
18,5	748,8	758,8	768,9	778,9	788,9	798,9	809,0	819,0	829,0	839,0	849,0
19,0	749,2	759,2	769,2	779,3	789,3	799,3	809,3	819,3	829,3	839,3	849,3

Продовження таблиці 3.1

1	2										
19,5	749,6	759,6	769,6	779,6	789,6	799,6	809,7	819,7	829,7	839,7	849,7
20,0	750,0	760,0	770,0	780,0	790,0	800,0	810,0	820,0	830,0	840,0	850,0
20,5	750,4	760,4	770,4	780,4	790,4	800,4	810,3	820,3	830,3	840,3	850,3
21,0	750,8	760,8	770,7	780,7	790,7	800,7	810,7	820,7	830,7	840,7	850,7
21,5	751,2	761,1	771,1	781,1	791,1	801,1	811,0	821,0	831,0	841,0	851,0
22,0	751,6	761,5	771,5	781,5	791,4	801,4	811,4	821,4	831,3	841,3	851,3
22,5	752,0	761,9	771,9	781,8	791,8	801,8	811,7	821,7	831,7	841,7	851,6
23,0	752,3	762,3	772,2	782,2	792,1	802,1	812,1	822,0	832,0	842,0	852,0
23,5	752,7	762,7	772,6	782,6	792,5	802,5	812,4	822,4	832,3	842,3	852,3
24,0	753,1	763,0	773,0	782,9	792,9	802,8	812,8	822,7	832,7	842,7	852,6
24,5	753,5	763,4	773,3	783,3	793,2	803,2	813,1	823,1	833,0	843,0	853,0
25,0	753,9	763,8	773,7	783,6	793,6	803,5	813,4	823,4	833,4	843,3	853,3
25,5	754,3	764,2	774,1	784,0	793,9	803,8	813,8	823,7	833,7	843,6	853,6
26,0	754,7	764,5	774,5	784,4	794,3	804,2	814,1	824,1	834,0	844,0	853,9
26,5	755,0	764,9	774,8	784,7	794,6	804,5	814,5	824,4	834,4	844,3	854,3
27,0	755,4	765,3	775,2	785,1	795,0	804,9	814,8	824,7	834,7	844,6	854,6
27,5	755,8	765,7	775,6	785,4	795,3	805,2	815,2	825,1	835,0	845,0	854,9
28,0	756,2	766,0	775,9	785,8	795,7	805,6	815,5	825,4	835,4	845,3	855,2
28,5	756,6	766,4	776,3	786,1	796,0	805,9	815,8	825,7	835,7	845,6	855,6
29,0	757,0	766	776,6	786,5	796,4	806,3	816,2	826,1	836,0	845,9	855,9
29,5	757,3	767,2	777,0	786,9	796,7	806,6	816,5	826,4	836,3	846,3	856,2
30,0	757,7	767,5	777,4	787,2	797,1	807,0	816,9	826,8	836,7	846,6	856,5

Таблиця 3.2 – Густина в градусах API

API	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1,0760	1,0752	1,0744	1,0736	1,0728	1,0720	1,0712	1,0703	1,0695	1,0687
1	1,0679	1,0671	1,0663	1,0655	1,0647	1,0639	1,0631	1,0623	1,0615	1,0607
2	1,0599	1,0591	1,0583	1,0575	1,0568	1,0560	1,0552	1,0544	1,0536	1,0528
3	1,0520	1,0513	1,0505	1,0497	1,0489	1,0481	1,0474	1,0466	1,0458	1,0451
4	1,0443	1,0435	1,0427	1,0420	1,0412	1,0404	1,0397	1,0389	1,0382	1,0374
5	1,0366	1,0359	1,0351	1,0344	1,0336	1,0328	1,0321	1,0313	1,0306	1,0298
6	1,0291	1,0283	1,0276	1,0269	1,0261	1,0254	1,0246	1,0239	1,0231	1,0224
7	1,0213	1,0209	1,0202	1,0195	1,0187	1,0180	1,0173	1,0165	1,0158	1,0151
8	1,0143	1,0136	1,0129	1,0122	1,0114	1,0107	1,0100	1,0093	1,0086	1,0078
9	1,0071	1,0064	1,0057	1,0050	1,0043	1,0035	1,0028	1,0021	1,0014	1,0007
10	1,0000	0,9993	0,9986	0,9979	0,9972	0,9965	0,9958	0,9951	0,9944	0,9937
11	0,9930	0,9923	0,9916	0,9909	0,9902	0,9895	0,9888	0,9881	0,9874	0,9868
12	0,9861	0,9854	0,9847	0,9840	0,9833	0,9826	0,9820	0,9813	0,9806	0,9799
13	0,9792	0,9786	0,9779	0,9772	0,9765	0,9759	0,9752	0,9745	0,9738	0,9732
14	0,9725	0,9718	0,9712	0,9705	0,9698	0,9692	0,9685	0,9679	0,9672	0,9665
15	0,9659	0,9652	0,9646	0,9639	0,9632	0,9626	0,9619	0,9613	0,9606	0,9600
16	0,9593	0,9587	0,9580	0,9574	0,9567	0,9561	0,9554	0,9548	0,9541	0,9535
17	0,9529	0,9522	0,9516	0,9509	0,9503	0,9497	0,9490	0,9484	0,9478	0,9471
18	0,9465	0,9459	0,9452	0,9446	0,9440	0,9433	0,9427	0,9421	0,9415	0,9408
19	0,9402	0,9396	0,9390	0,9383	0,9377	0,9471	0,9365	0,9358	0,9352	0,9346
20	0,9340	0,9334	0,9328	0,9321	0,9315	0,9309	0,9303	0,9297	0,9291	0,9285
21	0,9279	0,9273	0,9267	0,9260	0,9254	0,9248	0,9242	0,9236	0,9230	0,9224
22	0,9218	0,9212	0,9206	0,9220	0,9194	0,9188	0,9182	0,9176	0,9170	0,9165
23	0,9159	0,9153	0,9147	0,9141	0,9135	0,9129	0,9123	0,9117	0,9111	0,9106
24	0,9100	0,9094	0,9088	0,9082	0,9076	0,9071	0,9065	0,9059	0,9053	0,9047
25	0,9042	0,9036	0,9030	0,9024	0,9018	0,9013	0,9007	0,9001	0,8996	0,8990
26	0,8984	0,8978	0,8973	0,8967	0,8961	0,8956	0,8950	0,8944	0,8939	0,8933
27	0,8927	0,8922	0,8916	0,8911	0,8905	0,8899	0,8894	0,8888	0,8883	0,8877
28	0,8871	0,8866	0,8860	0,8855	0,8849	0,8844	0,8838	0,8833	0,8827	0,8822
29	0,8816	0,8811	0,8805	0,8800	0,8794	0,8789	0,8783	0,8778	0,8772	0,8767
30	0,8762	0,8756	0,8751	0,8745	0,8740	0,8735	0,8729	0,8724	0,8718	0,8713
31	0,8708	0,8702	0,8697	0,8692	0,8686	0,8681	0,8676	0,8670	0,8665	0,8660
32	0,8654	0,8649	0,8644	0,8639	0,8633	0,8628	0,8623	0,8618	0,8612	0,8607
33	0,8602	0,8597	0,8591	0,8586	0,8581	0,8576	0,8571	0,8565	0,8560	0,8555
34	0,8550	0,8545	0,8540	0,8534	0,8529	0,8524	0,8519	0,8514	0,8509	0,8504
35	0,8498	0,8493	0,8488	0,8483	0,8478	0,8473	0,8468	0,8463	0,8458	0,8453
36	0,8448	0,8443	0,8438	0,883	0,8428	0,8423	0,8418	0,8413	0,8408	0,8403
37	0,8398	0,8393	0,8388	0,8333	0,8378	0,8373	0,8368	0,8363	0,8358	0,8353
38	0,8348	0,8343	0,8338	0,8285	0,8328	0,8324	0,8319	0,8314	0,8309	0,8304
39	0,8299	0,8294	0,8289	0,8236	0,8280	0,8275	0,8270	0,8265	0,8260	0,8256
40	0,8251	0,8246	0,8241	0,8189	0,8232	0,8227	0,8222	0,8217	0,8212	0,8208
41	0,8203	0,8198	0,8193	0,8142	0,8184	0,8179	0,8174	0,8170	0,8165	0,8160
42	0,8156	0,8151	0,8146	0,8095	0,8137	0,8132	0,8128	0,8123	0,8118	0,8114
43	0,8109	0,8104	0,8100	0,8049	0,8090	0,8086	0,8081	0,8076	0,8072	0,8067
44	0,8063	0,8058	0,8054	0,8003	0,8044	0,8040	0,8035	0,8031	0,8026	0,8022
45	0,8017	0,8012	0,8008	0,8958	0,7999	0,7994	0,7990	0,7985	0,7981	0,7976
46	0,7972	0,7967	0,7963	0,7914	0,7854	0,7949	0,7945	0,7941	0,7936	0,7932
47	0,7927	0,7923	0,7918	0,7870	0,7909	0,7905	0,7901	0,7986	0,7982	0,7887
48	0,7883	0,7879	0,7874	0,7826	0,7865	0,7861	0,7857	0,7852	0,7848	0,7844
49	0,7839	0,7835	0,7831	0,7783	0,7822	0,7818	0,7813	0,7809	0,7805	0,7800
50	0,796	0,7792	0,788	0,7741	0,7779	0,7775	0,7770	0,7766	0,7762	0,7758
51	0,7753	0,7749	0,7745	0,7741	0,7736	0,7732	0,7728	0,7724	0,7720	0,7715
52	0,7751	0,7707	.0,7703	0,7699	0,7694	0,7690	0,7686	0,7682	0,7678	0,7674
53	0,7669	0,7665	0,7661	0,7657	0,7653	0,7649	0,7645	0,7640	0,7636	0,7632
54	0,7628	0,7624	0,7620	0,7616	0,7612	0,7608	0,7603	0,7599	0,7595	0,7591
55	0,7587	0,7583	0,7579	0,7575	0,7571	0,7567	0,7563	0,7559	0,7555	0,7551

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
56	0,7547	0,7543	0,7539	0,7535	0,7531	0,7527	0,7523	0,7519	0,7515	0,7511
57	0,7507	0,7503	0,7499	0,7495	0,7491	0,7487	0,7483	0,7479	0,7475	0,7471
58	0,7467	0,7463	0,7459	0,7455	0,7451	0,7447	0,7443	0,7440	0,7436	0,7432
59	0,7428	0,7424	0,7420	0,7416	0,7412	0,7408	0,7405	0,7401	0,7697	0,7393
60	0,7389	0,7385	0,7381	0,7377	0,7374	0,7370	0,7366	0,7362	0,7358	0,7354
61	0,7351	0,7347	0,7343	0,7339	0,7335	0,7332	0,7328	0,7324	0,7320	0,7316
62	0,7313	0,7309	0,7305	0,7301	0,7298	0,7294	0,7290	0,7286	0,7283	0,7279
63	0,7275	0,7271	0,7268	0,7264	0,7260	0,7256	0,7253	0,7249	0,7245	0,7242
64	0,7238	0,7234	0,7230	0,7227	0,7223	0,7219	0,7216	0,7212	0,7208	0,7205
65	0,7201	0,7197	0,7194	0,7190	0,7186	0,7183	0,7179	0,7175	0,7172	0,7168
66	0,7165	0,7161	0,7157	0,7154	0,7150	0,7146	0,7143	0,7139	0,7136	0,7132
67	0,7128	0,7125	0,7121	0,7118	0,7111	0,7107	0,7103	0,7100	0,7096	0,7114
68	0,7093	0,7089	0,7086	0,7082	0,7079	0,7075	0,7071	0,7068	0,7064	0,7061
69	0,7057	0,7054	0,7050	0,7047	0,7043	0,7040	0,7036	0,7033	0,7029	0,7026
70	0,7022	0,7019	0,7015	0,7012	0,7008	0,7005	0,7001	0,6998	0,6995	0,6991
71	0,6988	0,6984	0,6981	0,6977	0,6974	0,6970	0,6967	0,6964	0,6960	0,6957
72	0,6953	0,6950	0,6946	0,6943	0,6940	0,6936	0,6933	0,6929	0,6926	0,6923
73	0,6919	0,6916	0,6913	0,6909	0,6906	0,6902	0,6899	0,6896	0,6892	0,6889
74	0,6886	0,6882	0,6879	0,6876	0,6872	0,6869	0,6866	0,6862	0,6859	0,6856
75	0,6852	0,6849	0,6846	0,6842	0,6832	0,6836	0,6832	0,6829	0,6826	0,6823
76	0,6819	0,6816	0,6813	0,6809	0,6806	0,6803	0,6800	0,6796	.0,6793	0,6790
77	0,6787	0,6783	0,6780	0,6777	0,6774	0,6770	0,6767	0,6764	0,6761	0,6757
78	0,6754	0,6751	0,6748	0,6745	0,6741	0,6738	0,6735	0,6732	0,6728	0,6725
79	0,6722	0,6719	0,6716	0,6713	0,6709	0,6706	0,6703	0,6700	0,6697	0,6693
80	0,6690	0,6687	0,6684	0,6681	0,6678	0,6675	0,6671	0,6668	0,6665	0,6662
81	0,6659	0,6656	0,6653	0,6649	0,6646	0,6643	0,6640	0,6637	0,6634	0,6631
82	0,6628	0,6625	0,6621	0,6618	0,6615	0,6612	0,6609	0,6606	0,6603	0,6600
83	0,6597	0,6594	0,6591	0,6588	0,6584	0,6581	0,6578	0,6575	0,6572	0,6569
84	0,6566	0,6463	0,6560	0,6557	0,6554	0,6551	0,6548	0,6545	0,6542	0,6439
85	0,6536	0,6533	0,6530	0,6527	0,6524	0,6521	0,6518	0,6515	0,6512	0,6509
86	0,6506	0,6503	0,6500	0,6497	0,6494	0,6491	0,6488	0,6485	0,6482	0,6479
87	0,6476	0,6473	0,6470	0,6467	0,6464	0,6461	0,6458	0,6455	0,6452	0,6449
88	0,6446	0,6444	0,6441	0,6438	0,6435	0,6432	0,6429	0,6426	0,6423	0,6420
89	0,6417	0,6414	0,6411	0,6409	0,6406	0,6403	0,6400	0,6397	0,6394	0,6391
90	0,6388	0,6385	0,6382	0,6380	0,6377	0,6374	0,6371	0,6368	0,6365	0,6362
91	0,6360	0,6357	0,6354	0,6351	0,6348	0,6345	0,6342	0,6340	.0,6337	0,6334
92	0,6331	0,6328	0,6325	0,6323	0,6320	0,6317	0,6314	0,6311	0,6309	0,6306
93	0,6303	0,6300	0,6297	0,6294	0,6292	0,6289	0,6286	0,6283	0,6281	0,6278
94	0,6275	0,6272	0,6269	0,6267	0,6264	0,6261	0,6258	0,6256	0,6253	0,6250
95	0,6247	0,6244	0,6242	0,6239	0,6236	0,6233	0,6231	0,6228	0,6225	0,6223
96	0,6220	0,6217	0,6214	0,6212	0,6209	0,6206	0,6203	0,6201	0,6198	0,6195
97	0,6193	0,6190	0,6187	0,6184	0,6182	0,6179	0,6176	0,6174	0,6171	0,6128
98	0,6166	0,6163	0,6160	0,6158	0,6155	0,6152	0,6150	0,6147	0,6144	0,6141
99	0,6139	0,6136	0,6134	0,6131	0,6128	0,6126	0,6123	0,6120	0,6118	0,6115
100	0,6112									

Хід роботи

1. Для аналізу відібрати проби фракцій зразка газового конденсату, одержані під час проведення лабораторної роботи № 2.

2. Виміряти густину фракцій ареометром.

3. Визначити густину фракцій НК-80 °С; 80-120 °С; 120-220 °С; 220-360 °С пікнометричним методом.

4. Провести порівняння значень густини, отриманих різними методами.

5. Провести обчислення молекулярної маси отриманих фракцій за запропонованими формулами з урахуванням переважання вмісту будь-якого класу вуглеводнів.

6. Зробити висновок про залежність молекулярної маси нафтопродукту від середньої температури кипіння фракції та її густини.

7. Ознайомитися з методикою визначення густини газу пікнометричним методом.

Порядок проведення визначення густини

Визначення густини ареометром.

1. Налити нафту чи газовий конденсат у циліндр, не доливаючи до верху приблизно 3–4 см.

2. Виміряти температуру продукту термометром.

3. Обережно опустити ареометр (рис. 3.1) у рідину приблизно на 2 поділки так, щоб уникнути потрапляння продукту на ареометр вище рівня рідини в циліндрі, і відпустити його. При цьому ареометр не повинен торкатися дна і стінок циліндра.

4. Після встановлення стабільного положення ареометра зняти показання за шкалою ареометра, розташовуючи око на рівні точки зняття показань і керуючись правилами, показаними на рисунку 3.2.

5. Знову виміряти температуру продукту термометром. Якщо температура не відрізняється від попереднього значення більше, ніж на 0,5 °С, розрахувати густину за 20 °С. В іншому разі знову провести вимірювання показання ареометра, а потім і температури, поки температура не стане стабільною в межах 0,5 °С.

6. Ареометр і термометр після роботи витягнути з рідини, протерти ганчіркою, змоченою бензином, а потім сухою ганчіркою і поставити на підставку.

7. Рідину з циліндра злити у відповідну ємність для зберігання продукту та ретельно закрити кришкою.

8. Циліндр кілька разів обполоснути бензином, виливаючи використаний бензин у спеціальну ємність для відходів, поки на стінках циліндра не залишиться залишків продукту. Після промивання ємність для відходів ретельно закрити кришкою.

Обчислення густини за температури 20 °С

1. Розрахувати середнє значення вимірюваної температури та округлити його до 0,5 °С.

2. Обчислити густину за температури 20 °С за допомогою таблиці 3.3 так:

– округлити значення виміряної густини до десятків у менший бік;

– на схрещенні рядка з відповідною температурою та стовпця з відповідною густиною знайти значення густини, округленої в перерахунку на температуру 20 °С;

– розрахувати густину продукту за температури 20 °С за формулою:

$$\rho_{20^\circ C} = \rho^1_{20^\circ C} + (\rho^1 - \rho^O),$$

де $\rho_{20^\circ C}$ – густина продукту за температури 20 °С;

$\rho^1_{20^\circ C}$ – густина, знайдена у таблиці 3.1;

ρ^1 – густина продукту, виміряна за допомогою ареометра;

ρ^O – округлене значення густини продукту, виміряної за допомогою ареометра.

Приклад розрахунку

Під час роботи за допомогою ареометра отримано значення густини продукту 774,5 кг/м^3 (ρ^1) за температури 22,5 °С. Значення густини округлюємо до десятка в менший бік. Отримуємо значення 770 кг/м^3 (ρ^O). У таблиці 3.1 на схрещенні стовпця «770» та рядка «22,5» отримуємо значення густини 771,9 кг/м^3 ($\rho^1_{20\ ^\circ C}$). Обчислення значення густини продукту за температури 20 °С за формулою:

$$\rho_{20^\circ C} = 771{,}9 + (774{,}5 - 770) = 776{,}4 \text{ кг/м}^3.$$

Визначення густини пікнометром

Визначте масу m_1 у грамах сухого чистого пікнометра (рис. 3.3). Заповніть пікнометр дистильованою водою вище мітки за допомогою піпетки.

Закрийте пікнометр пробкою і термостатуйте за температури 20 °С протягом 30 хв. Видаліть надлишок вологи за допомогою піпетки або фільтрувального паперу так, щоб верхній край меніска встановився на рівні мітки. Витріть пікнометр зовні. Визначте масу в грамах пікнометра з водою m_2. Обчисліть «водне число» пікнометра – масу води в об'ємі пікнометра за 20 °С ($m_в$):

$$m_B = m_2 - m_1.$$

Вилийте воду з пікнометра, промийте його спиртом або ацетоном, висушіть пікнометр нафтопродуктом. Закрийте пікнометр пробкою і термостатуйте за 20 °С щонайменше 30 хв. Видаліть надлишок нафтопродукту піпеткою або фільтрувальним папером. Установіть рівень по верхньому краю меніска. Визначте масу пікнометра з нафтопродуктом m_3 у грамах. Обчисліть відносну густину нафтопродукту (ρ^{20}_{20}):

$$\rho^{20}_{20} = (m_3 - m_1) / m_B,$$

де ρ^{20}_{20} – відносна густина нафтопродукту за 20 °С; m_3 – маса пікнометра з нафтопродуктом, г; m_1 – маса сухого чистого пікнометра, г; m_B – «водне число» пікнометра, г.

За таблицею 3.4 визначте абсолютну густину води за температури випробування ρ^B_{20}, г/см^3. За таблицею 3.5 визначте поправку до густини $C_д$, якщо тиск відрізняється від 101,3 кПа. Обчисліть абсолютну густину нафтопродукту ρ за формулою:

$$\rho = \rho^{20}_{20} \times \rho^{B}_{20} + C_Д,$$

де ρ – абсолютна густина нафтопродукту, г/см^3; ρ^{20}_{20} – відносна густина нафтопродукту за 20 ºС; ρ^{B}_{20} – абсолютна густина води за температури випробування, г/см^3; $С_Д$ – поправка до густини, г/см^3.

Якщо тиск більший за 101,3 кПа, то $С_Д$ додавайте до добутку:

$\rho^{20}_{20} * \rho^{B}_{20}$, а якщо менший – віднімайте.

Порівняння значень показника густини для різних нафтопродуктів, визначених різними методами.

Порівняти одержані значення густини, визначені ареометром і пікнометром, обчисливши математичним шляхом величину розходження в абсолютних та відносних одиницях. Зробити висновок.

Обчислення середньої молекулярної маси фракції нафтопродукту

Молекулярна маса є найважливішою фізико-хімічною характеристикою будь-якої речовини. Молекулярна маса нафтопродуктів як суміші дає поняття про відносну молекулярну масу «середньої» молекули з числа молекул, що входять до складу нафтопродукту.

Для визначення молекулярної маси нафти та нафтопродуктів використовують кілька емпіричних формул:

1. Формула Воїнова для нафтових фракцій парафінової основи:

$$M_{сер.} = 60 + 0{,}3t_{сер.} + 0{,}001t_{сер.}^2,$$

де $t_{сер.}$ – середня температура кипіння нафтопродукту.

2. Формула Воїнова для моторних палив (бензинів, гасів тощо), що враховує характеристичний чинник К:

$$M = (7К – 21{,}5) + (0{,}76 – 0{,}04К)\, t + (0{,}0003К – 0{,}00245)t^2$$

$$К = 1{,}245T_{сер.\ мол.}/\rho$$

К – враховує вплив хімічної природи нафт і нафтопродуктів на їхні фізико-хімічні властивості.

Середня величина характеристичного чинника К:

- для парафінових нафтопродуктів – 12,5–13;
- для нафтенових та ароматичних нафтопродуктів – 10–11;
- для крекінг-бензинів – 11,5–11,8;
- для сильно ароматизованих фракцій 10 та нижче.

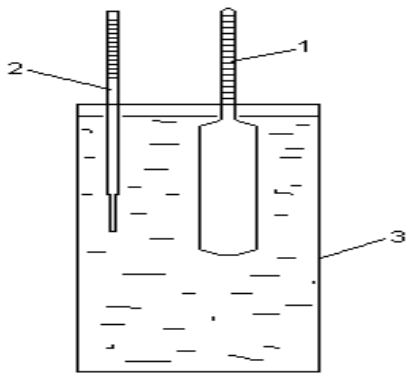

Рисунок 3.1 – Ареометр:
1 – ареометр; 2 – термометр; 3 – циліндр

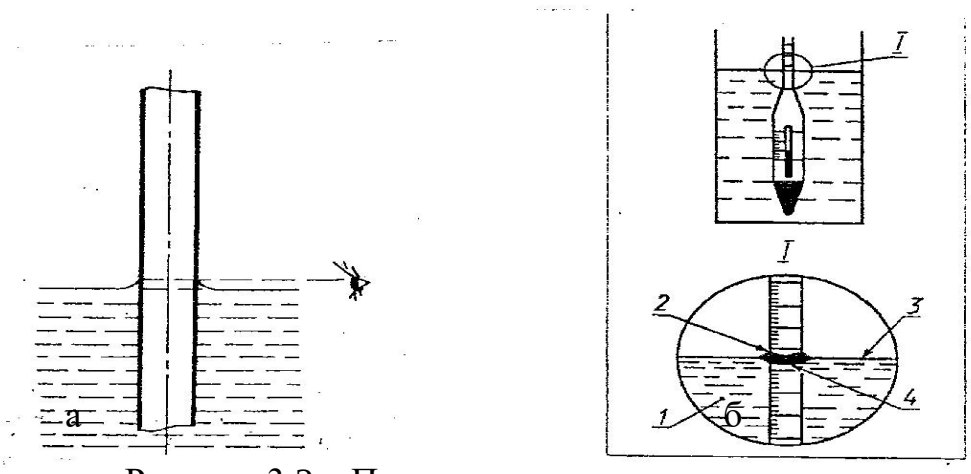

Рисунок 3.2 – Правила зняття показань ареометра:
а) розташування очей під час проведення аналізу; б) показання шкали ареометра для зняття показань непрозорих рідин, 1 – рідина; 2 – точка зняття показань; 3 – горизонтальна поверхня рідини; 4 – основа меніска

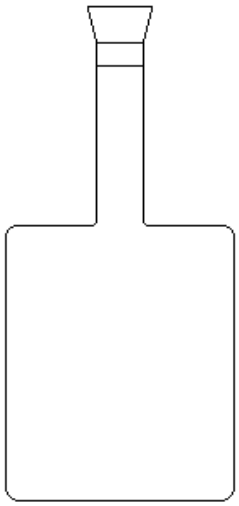

Рисунок 3.3 – Пікнометр

3. Формула Креґа для нафтових фракцій.

$$M = 44{,}29p^{288}/(1{,}03\text{-}p^{288})$$

де p^{288} – густина нафтопродукту за Т = 288К.

Таблиця 3.3 – Середні температурні поправки під час визначення густини нафтопродуктів

ρ_4^{20}	А	ρ_4^{20}	А
1	2	3	4
0,690 0–0,699 9	0,000 910	0,850 0–0,859 9	0,000 699
0,700 0–0,709 9	0,000 897	0,860 0–0,869 9	0,000 686
0,710 0–0,719 9	0,000 884	0,870 0–0,879 9	0,000 673
0,720 0–0,729 9	0,000 870	0,880 0–0,889 9	0,000 660

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
0,730 0–0,739 9	0,000 857	0,890 0–0,899 9	0,000 647
0,740 0–0,749 9	0,000 844	0,900 0 –0,909 9	0,000 633
0,750 0–0,759 9	0,000 831	0,910 0–0,919 9	0,000 620
0,760 0–0,769 9	0,000 818	0,920 0–0,929 9	0,000 607
0,770 0–0,779 9	0,000 805	0,930 0–0,939 9	0,000 594
0,780 0–0,789 9	0,000 792	0,940 0–0,949 9	0,000 581
0,790 0–0,799 9	0,000 778	0,950 0–0,959 9	0,000 567
0,800 0–0,809 9	0,000 765	0,960 0–0,969 9	0,000 554
0,810 0–0,819 9	0,000 752	0,970 0–0,979 9	0,000 541
0,820 0–0,829 9	0,000 738	0,980 0–0,989 9	0,000 522
0,830 0–0,839 9	0,000 725	0,990 0–1,000 0	0,000 515
0,840 0–0,849 9	0,000 712	–	–

Таблиця 3.4 – Густина дистильованої води за атмосферного тиску (101,325 кПа) та температури від 0 ºС до 30 ºС.

Температура, °С	Густина дистильованої води (ρ), кг/м^3				
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8
1	2	3	4	5	6
0	999,839	999,852	999,865	999,877	999,888
1	999,898	999,908	999,917	999,925	999,933
2	999,940	999,946	999,952	999,956	999,961
3	999,964	999,967	999,969	999,971	999,972
4	999,972	999,972	999,971	999,969	999,967
5	999,964	999,960	999,956	999,951	999,946
6	999,940	999,934	999,926	999,919	999,910
7	999,901	999,892	999,882	999,871	999,860
8	999,848	999,836	999,823	999,809	999,795
9	999,781	999,765	999,750	999,734	999,717
10	999,699	999,682	999,663	999,644	999,625
11	999,605	999,584	999,563	999,542	999,520
12	999,497	999,474	999,451	999,426	999,402
13	999,377	999,351	999,325	999,299	999,272
14	999,244	999,216	999,188	999,159	999,129
15	999,099	999,069	999,038	999,007	998,975
16	998,943	998,910	998,877	998,843	998,809
17	998,775	998,740	998,704	998,668	998,632
18	998,595	998,558	998,520	998,482	998,444
19	998,405	998,366	998,326	998,286	998,245
20	998,204	998,162	998,120	998,078	998,035
21	997,992	997,949	997,905	997,860	997,816
22	997,770	997,725	997,679	997,632	997,585
23	997,538	997,491	997,443	997,394	997,345
24	997,296	997,247	997,197	997,146	997,096
25	997,045	996,993	996,941	996,889	996,836

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
26	996,783	996,730	996,676	996,622	996,568
27	996,513	996,458	996,402	996,346	996,290
28	996,233	996,176	996,119	996,061	996,003
29	995,945	995,886	995,827	995,767	995,707
30	995,647	995,586	995,526	995,464	995,403

Пікнометричний метод визначення густини газу

Сутність методу полягає у зважуванні скляного пікнометра послідовно з осушеним повітрям та осушеним газом за однакової температури та тиску.

Ця методика встановлює пікнометричний метод визначення густини (ρ) та відносної густини (d) газів та газових сумішей, які в умовах досліду не змінюють свого складу. Методика не поширюється на гази, насичені вологою, температура яких вища за 40 °С.

Таблиця 3.5 – Поправки до густини, визначеної за тиску, відмінного від 101,3 кПа (93,3 –104,0 кПа)

$(m_З - m_1)/m_В$	Поправка*, г/см^3 ($С_д$)	$(m_З - m_1)/m_В$	Поправка*, г/см^3($С_д$)
0,60	0,000 48	0,80	0,000 24
0,61	0,000 47	0,81	0,000 23
0,62	0,000 46	0,82	0,000 22
0,63	0,000 44	0,83	0,000 20
0,64	0,000 43	0.84	0,000 19
0,65	0,000 42	0,85	0,000 18
0,66	0,000 41	0,86	0,000 17
0,67	0,000 40	0,87	0,000 16
0,68	0,000 38	0,88	0,000 14
0,69	0,000 37	0,89	0,000 13
0,70	0,000 36	0,90	0,000 12
0,71	0,000 35	0,91	0,000 11
0,72	0,000 34	0,92	0,000 10
0,73	0,000 32	0,93	0,000 08
0,74	0,000 31	0,94	0,000 07
0,75	0,000 30	0,95	0,000 06
0,76	0,000 29	0,96	0,000 05
0,77	0,000 28	0,97	0,000 04
0,78	0,000 26	0,98	0,000 02
0,79	0,000 25	0,99	0,000 01
* Цю поправку застосовують за атмосферного тиску			

Прилади та реактиви

Пікнометри скляні газові типу ПГ згідно з ГОСТ 22524, місткістю 100 та 200 $см^3$; терези лабораторні загального призначення згідно з ГОСТ 24104: а) з межею зважування 200 г, не нижче високого класу точності (понад 5000 *е* до 20000 *е*); б) з межею зважування 500 і 1 000 г. (Гранична допустима похибка: при первинній перевірці – ±1.0 *е*; в експлуатації – ±2,0 *е*. Міри маси згідно з ГОСТ 7328); мікрокомпресор типів ВК-1, МК-Л2 або інше джерело, що забезпечує подавання повітря, не забрудненого сторонніми домішками оливи, газів, пилу; засоби вимірювання витрати газу: лічильник газовий барабанний (з рідинним затвором) РГ-7000, місткістю 2–5 $дм^3$, номінальною витратою не більше 750 $дм^3$/год, не нижче 2-го класу точності або – ротаметр згідно з ГОСТ 13045 типу РМ, або реометр згідно з ГОСТ 9932 типу РКС-1-0,25 або РКС-1-0,40, або інші засоби вимірювання, що забезпечують вимірювання швидкості газу 100–200 $см^3$/хв; барометр-анероїд типів БАММ-1, М-67 або інші, що забезпечують вимірювання атмосферного тиску з похибкою ±0,1 кПа; термометр лабораторний скляний зі шкалою від 0 ºС до 55 ºС і ціною поділки 0,1 °С: муфельна піч, що забезпечує нагрівання до 600 °С; ексикатор згідно з ГОСТ 25336 виконання 2; лист металевий; чашка фарфорова термостійка згідно з ГОСТ 9147 № 5 або 6; затискач гвинтовий; пробовідбірники (контейнери) двовентильні, що забезпечують відбирання проб за тиску в точці відбирання; плитка електрична; баня водяна; трубка U-подібна згідно з ГОСТ 25336 типу ТХ U, виконання 2 або 3, заввишки 100–150 см; циліндр (для маностата) згідно з ГОСТ 1770 чи ГОСТ 18481, заввишки 250–300 мм; склянка (для лічильника бульбашок) згідно з ГОСТ 25336 типу СН-1 або СВТ місткістю 25–100 $см^3$; папір фільтрувальний згідно з ГОСТ 12026; вата медична гігроскопічна згідно з ГОСТ 5556; мастило вакуумне ЦИАТИМ-221 згідно з ГОСТ 9433; олива трансформаторна згідно з ГОСТ 982 або олія вазелінова медична згідно з ГОСТ 3164; спирт етиловий ректифікований технічний згідно з ГОСТ 18300; хлористий кальцій; калій двохромовокислий згідно з ГОСТ 4220; сірчана кислота (ρ = 1,84 г/$см^3$) згідно з ГОСТ 4204; суміш хромова (5 г кристалічного двохромовокислого калію додають до 100 г концентрованої сірчаної кислоти і, помішуючи скляною паличкою, нагрівають у фарфоровій чашці на водяній бані до розчинення); ацетон згідно з ГОСТ 2603; вода дистильована.

Примітка 1. Допускається використовувати інші засоби вимірювань та матеріали, які не поступаються за своїми характеристиками засобам вимірювання та матеріалам, переліченим вище.

Примітка 2. Реактиви, що застосовуються під час аналізу, мають бути кваліфікації не нижче ніж «ч».

Хід роботи

1. Для визначення густини пробу газу з газопроводу, апарата чи іншої ємності відбирають безпосередньо в пікнометр способом сухого продування. Допускається відбирати проби газу згідно з ГОСТ 18917 у двовентильні пробовідбірники (контейнери). Під час визначення густини природного газу, що транспортується газопроводами, особливе значення має наочність проби,

забезпечувана правильним вибором точки відбирання газу. Точка відбирання має бути розташована на безперервно працюючій ділянці газопроводу перед діафрагмою, що встановлюється для вимірювання витрати газу, на відстані понад 5–10 м від неї. Точку відбирання не обладнують на нитках газопроводу з двофазним потоком, що нерівномірно пульсує, на погано продуваних ділянках газопроводу, байпасних лініях відповідно до ГОСТ 18917. Пробу газу відбирають через штуцер на пробовідбірній лінії, що має вентиль тонкого регулювання. Пробовідбірна лінія має бути по можливості короткою, виготовленою зі сталевих, мідних або латунних трубок внутрішнім діаметром 2–4 мм. Під час відбирання проби температура газу в пробовідбірній лінії має бути не нижчою від температури газу в газопроводі. За потреби лінію теплоізолюють або підігрівають.

2. Пробу в пікнометр відбирають з пробовідбірної лінії, що з'єднує установку заповнення пікнометра (рис. 3.4) з газопроводом. Перед відбором проби пробовідбірну лінію продувають випробуваним газом через трійник, що з'єднує її з установкою для заповнення пікнометра гумовими або поліетиленовими трубками. Тиск у пробовідбірній лінії має перевищувати атмосферний приблизно на 10 кПа.

3. Проби в контейнери відбирають способом сухого продування під тиском, що відповідає тиску газу в місці відбирання. Контейнери мають бути випробувані на тиск, що перевищує робочий у 1,25 раза. Перед відбиранням проби газу в контейнер пробовідбірну лінію продувають газом протягом 1–2 хв для видалення залишкового газу (повітря).

Пробовідбірну лінію приєднують до вхідного вентиля контейнера, встановленого вертикально або горизонтально. При закритих вентилях контейнера відкривають вентиль пробовідбірної лінії та плавно відкривають вхідний вентиль контейнера, щоб контейнер заповнювався газом поступово. Коли тиск газу в контейнері та точці відбирання проби вирівняється, плавно відкривають вихідний вентиль контейнера і продувають його газом так, щоб тиск у ньому підтримувався на рівні повного тиску газу в газопроводі. У процесі відбирання проби через контейнер потрібно пропустити газ об'ємом, що в 10–15 разів перевищує місткість контейнера. Після закінчення продування контейнера газом закривають його вихідний вентиль, потім – вхідний та вентиль на пробовідбірній лінії. Контейнер від'єднують від пробовідбірної лінії та перевіряють на герметичність зануренням його у воду або обмилюванням. Контейнер транспортують до лабораторії, дотримуючись правил безпеки. Проби зберігають у опалюваному приміщенні. Перед відбиранням проби газу в пікнометр контейнер витримують у приміщенні лабораторії не менше 2 год. Не допускається застосовувати витиснювальні рідини для переведення газу з пробовідбірника в пікнометр.

Підготовка пікнометра. Пікнометр промивають хромовою сумішшю, водою, обполіскують дистильованою водою, етиловим спиртом і висушують продуванням сухим повітрям. Муфти і пробки кранів пікнометра протирають ватним тампоном, змоченим в ацетоні, і змащують тонким шаром вакуумної оливи, крани притирають. Пікнометр перевіряють на герметичність зануренням

у воду, створюючи в ньому надлишковий тиск нагнітанням повітря при закритому вхідному крані.

Приготування прожареного хлористого кальцію. Хлористий кальцій поміщають у металевий лист, нагрівають до розплавлення, випарюють насухо, перемішуючи. Потім переносять у фарфорову чашку, поміщають у муфельну піч і прожарюють протягом 2–3 годин за температури 500–600 °С.

Підготовка установки до заповнення пікнометра газом (повітрям). Для заповнення пікнометра осушеним газом (повітрям) збирають установку за схемою (рис. 3.3) за допомогою гумових або поліетиленових муфт. U-подібні трубки заповнюють прожареним хлористим кальцієм і обидва кінці ущільнюють гігроскопічною ватою. Моностат, що становить циліндр із капілярною трубкою (діаметром 2–4 мм), заповнюють трансформаторною оливою або вазеліновою олією на 150–200 мм його висоти. Маностат призначений для безпечної роботи і слугує для скидання через нього надлишкового тиску в системі. Склянку для лічильника бульбашок заповнюють трансформаторною оливою або вазеліновою олією так, щоб капілярну трубку було занурено в них на 1 мм. Як лічильник бульбашок може бути використано будь-яку склянку, в яку опущено капілярну трубку, бажано з відтягнутим на конус кінцем. Лічильник бульбашок слугує для візуального спостереження за проходженням газу через пікнометр та його швидкістю, а також його використовують при вирівнюванні тиску в пікнометрі з атмосферним. На вході до установки приєднують U-подібну або пряму скляну трубку, заповнену гігроскопічною ватою.

Визначення місткості пікнометра. Номінальна місткість (100 та 200 $см^3$) пікнометрів типу ПГ згідно з ГОСТ 22524 є умовною. Визначення місткості передбачено цією методикою:

1. Визначення маси пікнометра з осушеним повітрям. Пікнометр продувають повітрям через установку протягом 10–15 хв з рекомендованою швидкістю 100–120 $см^3$/хв, яку попередньо встановлюють за одним із засобів вимірювання витрати газу. Газообмін у пікнометрі має бути 10–15-кратним його місткості. Швидкість повітря не є строго регламентованою величиною і для кращого газообміну може бути збільшена, якщо не виникає ускладнень через опір у вузьких каналах кранів пікнометра. Швидкість менше 100 $см^3$/хв не рекомендується через поганий газообмін і триваліший у цьому разі час продування пікнометра. Потік повітря регулюють гвинтовим затискачем. Потім у пікнометрі створюють надлишковий тиск, закриваючи спочатку кран на виході, а потім – на вході пікнометра. Пікнометр від'єднують від U-подібних трубок та лічильника бульбашок і переносять до аналітичних терезів. U-подібні трубки ізолюють від контакту з повітрям, закриваючи крани трубки, або за допомогою заглушки (залежно від їхнього виконання).

Примітка 1. У разі візуального виявлення наявності вологи (крапельки води на стінках чи обводнення верхнього шару осушувача) у першому відводі U-подібної трубки хлористий кальцій замінюють на свіжопрожарений.

Примітка 2. При всіх операціях пікнометр беруть за кінці відвідних трубок, витирають зовні найкраще лляною тканиною, що не дає ворсинок.

Пікнометр витримують біля терезів 20–30 хв, з'єднують з лічильником бульбашок, відкривають кран і вирівнюють тиск усередині пікнометра з атмосферним (до припинення виділення бульбашок). Потім кран закривають, пікнометр від'єднують від лічильника бульбашок, зважують на аналітичних терезах з точністю до 0,000 1 г. Записують барометричний тиск і температуру навколишнього середовища (біля терезів).

2. Визначення маси пікнометра з дистильованою водою. Пікнометр заповнюють свіжокип'яченою та охолодженою до кімнатної температури дистильованою водою. Стежать за тим, щоб на стінках усередині пікнометра, у відвідних трубках та каналах кранів не залишалося бульбашок повітря. Заповнений пікнометр залишають з відкритими кранами біля терезів на 20–30 хв. Потім крани закривають, надлишки води з відвідних трубок видаляють фільтрувальним папером. Пікнометр з дистильованою водою зважують на аналітичних терезах з похибкою не більше 0,000 1 г, якщо маса не перевищує 200 г, і на технічних терезах з похибкою не більше 0,001 г, якщо маса перевищує 200 г. Записують барометричний тиск і температуру навколишнього середовища (біля терезів).

3. Місткість V пікнометра, дм^3, обчислюють за формулою:

$$V = \frac{m - m_e}{\rho - 1{,}2047K}$$

де m – маса пікнометра з дистильованою водою, г; m_n – маса пікнометра із сухим повітрям, г; ρ – густина дистильованої води за температури досліду, кг/м^3 (дод. А); 1,2047 – густина сухого повітря за стандартних умов (t = 20 °С, Р = 101, 325 кПа), кг/м^3 (дод. А); К – коефіцієнт для приведення густини сухого повітря за стандартних умов (Т = 293 К, Р = 101,325 кПа) до умов досліду (Т, Р); знаходять за таблицею додатка А або обчислюють за такою формулою:

$$K = \frac{293P}{(273 = t)101{,}325}$$

де t – температура навколишнього середовища (біля терезів) при зважуванні пікнометра з сухим повітрям, °С; P – барометричний тиск, кПа.

Результати окремих визначень місткості пікнометра обчислюють з точністю до 0,000 1 дм^3 та округлюють до третього десяткового знака. За результат визначення місткості пікнометра приймають середнє арифметичне результатів двох визначень, допустима розбіжність між якими не повинна перевищувати 0,001 дм^3. Періодичність перевірки місткості пікнометра – не рідше одного разу на шість місяців.

Визначення густини газу. При кожному визначенні густини газу вимірюють масу осушеного газу і повітря в об'ємі пікнометра за тих самих температур і барометричного тиску. При визначенні густини газу для легких газів вибирають пікнометр більшої місткості, для більш важких газів – пікнометр меншої місткості. Визначення маси передбачено цією методикою:

1. Визначення маси пікнометра з повітрям. Визначення проводять за п. 1. Зважування пікнометра з повітрям потрібно проводити паралельно зважуванню пікнометра з газом.

2. Визначення маси пікнометра з газом. Визначення проводять за п. 1 з урахуванням таких змін: джерело повітря замінюють джерелом газу; використовують U-подібні трубки з прожареним хлористим кальцієм, призначені тільки для осушення газу; гази густиною меншою за густину повітря спрямовують у пікнометр через коротку відвідну трубку, гази густиною більшою за густину повітря – через довгу відвідну трубку; газ на виході з лічильника бульбашок спрямовують у витяжну шафу або за межі приміщення.

Обчислення густини газу

1. Густину газу ρ_{20} за температури 20 °С та тиску 101,325 кПа, кг/м^3, обчислюють за формулою:

$$\rho_{20} = \frac{m_Г - m_В}{KV} + 1,2047$$

де $m_Г$ – маса пікнометра з газом, г; $m_В$ – маса пікнометра з повітрям, г; V – місткість пікнометра, дм^3; K – коефіцієнт для приведення об'єму газу (повітря) за умов досліду (Р, t) до стандартних умов (Т = 293К, Р = 101,325 кПа) знаходять за додатком А.

Результати окремих визначень густини газу обчислюють з точністю до 0,000 1 кг/м^3 і округлюють до третього десяткового знака.

2. Перерахунок густини газу за температури 20 °С тиску 101,325 кПа, а також розрахунок відносної густини газу за відповідних умов наведено в додатку Б.

Збіжність. Два результати визначень, одержані одним виконавцем в одній лабораторії, визнаються достовірними (з 95 %-ю довірчою ймовірністю), якщо розбіжність між ними не перевищує 0,004 кг/м^3.

Відтворюваність. Два результати випробування, одержані у двох різних лабораторіях, визнаються достовірними (з 95 %-ю довірчою ймовірністю), якщо розбіжність між ними не перевищує 0,005 кг/м^3. Контроль похибки вимірювання густини газу здійснюється за допомогою проб метану (ρ_{20} = 0,668 1 кг/м^3) або азоту (ρ_{20} = 1,164 9 кг/м^3) чистотою не менше ніж 99,5 мольної частки, %. Випробування проводять у точній відповідності до викладеної методики. Припустима похибка вимірювань ±0,004 кг/м^3.

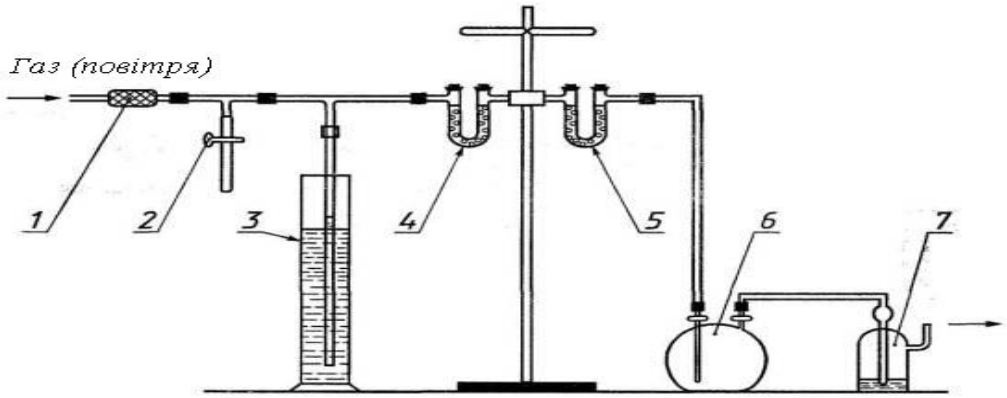

Рисунок 3.4 – Установка для заповнення пікнометра
1 – трубка з гігроскопічною ватою: 2 – гвинтовий затискач; 3 – маностат; 4, 5 – U-подібні трубки; 6 – пікнометр; 7 – склянка (лічильник бульбашок)

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мету роботи; хід роботи; одержані результати обчислень молекулярної маси; дату випробування.

Контрольні запитання

1. Що називають абсолютною і відносною густиною?
2. Яке практичне значення густини нафти? Як змінюється густина зі зміною температури і тиску?
3. Яке значення густини нафти та нафтопродуктів для характеристики їхнього хімічного складу? Які приблизні межі густин для нафти та різних нафтопродуктів?
4. Як змінюється густина нафтопродукту залежно від температури кипіння фракції, молекулярної маси, структурної формули вміщуваних речовин? Як визначають температуру кипіння фракції нафти?
5. Які методи визначення густини нафти та нафтопродуктів? Який порядок визначення густини ареометром, пікнометром?
6. Як визначити густину газів? Як обчислити густину газу за стандартних та відмінних від стандартних умов?
7. Як розрахувати густину суміші, якщо відомі густини компонентів та їхнього співвідношення (об’ємне, масове, мольне)?
8. Які сполуки входять до складу бензинової фракції, гасової фракції, газойлевої фракції та мазуту?
9. У якій із фракцій містяться вуглеводні C_8H_{18}? C_6H_6? C_6H_5-C_2H_5? Назвіть речовину, знайдіть температуру кипіння за таблицями. Зробіть висновок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4
ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ І РОЗРАХУНОК ІНДЕКСУ В'ЯЗКОСТІ

Визначення умовної в'язкості нафти та нафтопродуктів

Мета роботи: ознайомитися з методом **визначення умовної в'язкості** нафтопродуктів у віскозиметрі типу ВУ, застосовуваному для нафтопродуктів, що дають безперервний струмінь протягом усього випробування та в'язкість яких не можна визначити згідно з ГОСТ 33.

Апаратура, матеріали та реактиви

Віскозиметр типу ВУ згідно з ГОСТ 1532; термометри ТН-3-1, ТН-3-2, ТН-3, ТИН-2-1, ТИН-2-2, ТИН-2-3 згідно з ГОСТ 400; секундомір або секундомір-годинник з ціною поділки 0,2 с; скляна паличка завдовжки 150–250 мм, діаметром 3–5 мм, з оплавленими кінцями; ефір етиловий або ефір петролейний; кальцій хлористий; натрій хлористий згідно з ГОСТ 4233; натрій сірчанокислий згідно з ГОСТ 4166; спирт етиловий ректифікований технічний згідно з ГОСТ 18300; бензин-розчинник для гумової промисловості або бензин прямої перегонки – фракція не вище 180 °С; нефрас С2 80/120, С3 80/120 згідно з НТД, бензин прямої перегонки – фракції не вище 180 °С; олива нафтова в'язкістю 20–60 мм^2/с і температурою спалахів у відкритому тиглі не нижче 180 °С або гліцерин дистильований згідно з ГОСТ 6824 для заповнення ванни віскозиметра; вода дистильована з pH 5,4–6,6; папір фільтрувальний лабораторний згідно з ГОСТ 12026; хромова суміш, готують змішуванням 15 г подрібненого двохромовокислого калію згідно з ГОСТ 4220 з 500 см^3 сірчаної кислоти згідно з ГОСТ 4204; сітка напівтомпакова 028 згідно з ГОСТ 6613.

Хід роботи

1. Визначення сталої (водного числа) віскозиметра. Внутрішній резервуар віскозиметра послідовно промивають етиловим або петролейним ефіром, етиловим спиртом, дистильованою водою і висушують. Потім віскозиметр вставляють у проріз триніжка і закривають затискними гвинтами. У верхній отвір стічної трубки вставляють чистий сухий стрижень, що не застосовується для випробування нафтопродуктів.

У вимірювальну колбу об'ємом 200 мл, попередньо ретельно вимиту послідовно хромовою сумішшю, водопровідною і дистильованою водою, відфільтровують дистильовану воду через фільтрувальний папір трохи вище верхньої мітки. Дистильовану воду, що має температуру 20 °С, з вимірювальної колби наливають у внутрішній резервуар віскозиметра до риски чи іншого покажчика рівня. Водою такої самої температури заповнюють і ванну віскозиметра до розширеної верхньої частини внутрішнього резервуара. Горизонтальність площини досягається обертанням гвинтів триніжка.

Спорожнену, ще мокру колбу підставляють під стічну трубку внутрішнього резервуара і, ледь піднявши стрижень трохи вище пристрою, що затримує його опускання, спускають усю воду з резервуара в колбу, не

вимірюючи часу її витікання. При цьому водою наповнюється і вся стічна трубка, на нижньому кінці якої повисає велика крапля води. Опустивши кінець стрижня у стічну трубку, знову обережно виливають воду з колби в резервуар по скляній паличці, уникаючи розбризкування; спорожнену колбу тримають 1–2 хв над резервуаром у перекинутому положенні, щоб вільно стекла наявна в ній вода, потім колбу знову підставляють під стічну трубку резервуара.

Воду у внутрішньому резервуарі ретельно перемішують, обертаючи кришку (зі вставленим у неї термометром) навколо стрижня. Воду в ванні віскозиметра перемішують за допомогою крильчастої мішалки. Переконавшись, що температура води у внутрішньому резервуарі дорівнює 20 °С і протягом 5 хв відхилення температури не перевищує ±0,5 °С, а рівень води встановлено строго горизонтально, швидко піднімають стрижень, одночасно вмикаючи секундомір, і спостерігають витікання води з резервуару. Коли нижній край меніска досягне кільцевої мітки на колбі, що відповідає місткості 200 $см^3$, секундомір зупиняють. Вимірювання часу витікання 200 $см^3$ дистильованої води провадять послідовно чотири рази. Якщо результати вимірювань відрізняються від середнього арифметичного не більше ніж на 0,5 с, середнє арифметичне результатів записують як середній результат.

Проводять ще одну серію з чотирьох вимірювань часу витікання води. Якщо середні результати в обох серіях вимірювань відрізняються не більше ніж на 0,5 с, виводять середнє арифметичне результатів восьми вимірювань, яке і приймають за сталу віскозиметра (водного числа віскозиметра).

Для стандартного віскозиметра час витікання через стічну трубку 200 $см^3$ води за температури 20 °С має бути від 50,0 с до 52,0 с. Якщо значення сталої віскозиметра виходить за ці межі, віскозиметр до визначення в’язкості не допускається.

Підготовка проби. Пробу перед визначенням в’язкості профільтровують через сітку. За наявності води у пробі її попередньо зневоднюють, збовтуючи зі свіжопрожареним і охолодженим хлористим натрієм або сірчанокислим натрієм, або хлористим кальцієм, добре відстоюють, а потім фільтрують через сітку.

Проведення випробування. Перед початком випробування кожної проби внутрішній резервуар віскозиметра і його стічну трубку ретельно промивають чистим профільтрованим розчинником і просушують повітрям (витирати внутрішній резервуар не можна, допускається знімати краплі, що залишилися, фільтрувальним папером, усі краї якого рівно обрізані). Під час повторного визначення умовної в’язкості тієї самої проби віскозиметр не промивають.

Визначаючи умовну в’язкість випробовуваного нафтопродукту за заданої температури, у ванну віскозиметра наливають воду (при визначенні в’язкості до 80 °С), оливу або гліцерин (при визначенні в’язкості за температури 50–100 °С) і нагрівають до температури дещо вище заданої температури визначення. Стічний отвір віскозиметра закривають щільно стрижнем (закриваючи, сильно натискати на стрижень не можна, адже це веде до його швидкого зношування) і наповнюють внутрішній резервуар підготовленим випробовуваним

нафтопродуктом, попередньо підігрітим вище заданої температури визначення, до риски чи іншого покажчика рівня. Потрібно стежити за тим, щоб при цьому не утворювалися бульбашки повітря. Рівень налитого нафтопродукту має бути трохи вищим за риску чи інший покажчик рівня.

Для підтримання температури нафтопродукту під час випробування на певному рівні діють так: температуру нафтопродукту, налитого у внутрішній резервуар, доводять до заданої температури; витримують її протягом 5 хв з відхиленнями, що не перевищують ±0,5 °С, зазначають відповідну температуру рідини у ванні (зазвичай на 0,5–1 °С вище температури нафтопродукту) і підтримують її на цьому рівні з похибкою ±0,5 °С протягом усього випробування, перемішуючи вміст ванни мішалкою, і, за потреби, злегка підігріваючи пальником чи електричним нагрівальним приладом. Піднявши трохи стрижень, дають стекти надлишку нафтопродукту. Якщо нафтопродукту витече більше, ніж треба, варто додати його по краплях до покажчика рівня, стежачи за тим, щоб у нафтопродукті не залишалося бульбашок повітря.

Установивши віскозиметр, закривають його кришкою, і під стічний отвір ставлять чисту суху вимірювальну колбу. Нафтопродукт безперервно перемішують термометром, обережно обертаючи навколо стрижня кришку приладу, в яку вставлено термометр. Коли термометр, поміщений у нафтопродукт, показуватиме задану температуру визначення, потрібно зачекати ще 5 хв, швидко вийняти стрижень і одночасно натиснути кнопку секундоміра. Коли нафтопродукт у вимірювальній колбі дійде точно до мітки, що відповідає 200 см^3 (піна до уваги не береться), секундомір зупиняють і відлічують час витікання з точністю до 0,2 с.

Опрацювання результатів. Умовну в'язкість випробовуваного нафтопродукту за температури t ($ВУ_t$) в умовних градусах обчислюють за формулою:

$$ВУ_t = \frac{\tau_t}{\tau_{20}^{H_2O}},$$

де τ_t – час витікання з віскозиметра 200 см^3 випробовуваного нафтопродукту за температури випробування, с; $\tau_{20}^{H_2O}$ – водне число віскозиметра, с.

За результат випробування беруть середнє арифметичне двох послідовних визначень. Результат записують з точністю до 0,1 умовного градуса.

Збіжність і відтворюваність результатів. Два результати визначень, одержані послідовно одним виконавцем, визнаються достовірними (з 95%-ю довірчою ймовірністю), якщо розбіжність між ними не перевищує значення, наведеного на рисунку 4.1, для більшого результату. Два результати випробувань, одержані у двох різних лабораторіях, визнаються достовірними (з 95 %-ю довірчою ймовірністю), якщо розбіжність між ними не перевищує значення, наведеного на рисунку 4.2, для більшого результату.

Приклад розрахунку умовної в'язкості нафтопродукту

Час витікання з віскозиметра 200 см^3 нафтового палива (мазуту) марки 60 за температури 80 °С τ_{80} дорівнює 472,8 с. Водне число віскозиметра $\tau_{20}^{H_2O}$ дорівнює 51,4 с. Умовна в'язкість випробовуваного нафтового палива за температури 80 °С дорівнює:

$$BУ_{80} = \frac{\tau_{80}}{\tau_{20}^{H_2O}} = \frac{472,8}{51,4} = 9,2$$

Звіт про лабораторну роботу має містити: мету роботи; короткий опис методики; результати випробування та розрахунку.

Рисунок 4.1 – Залежність збіжності від умовної в'язкості

.

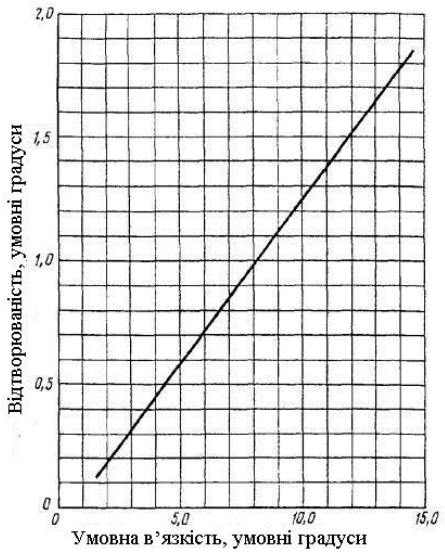

Рисунок 4.2 – Залежність відтворюваності від умовної в'язкості

Визначення кінематичної в’язкості нафтопродуктів

Мета роботи: ознайомитися з методикою визначення кінематичної в’язкості світлих нафтопродуктів у віскозиметрі ВПЖ (ВНЖ) та методикою розрахунку індексу в’язкості.

Прилади та реактиви

Віскозиметр ВПЖ-2; термостат; гумова трубка; водоструминний насос; гумова груша; секундомір; розчинники для промивання віскозиметра.

Теоретична частина

Багато нафтопродуктів, а також деякі з матеріалів не нафтового походження, використовуються як мастильні матеріали. Довговічність та економічність роботи обладнання багато в чому залежить від правильно підібраної в’язкості робочої рідини. Крім того, в’язкість багатьох нафтових палив має важливе значення для оцінки оптимальних умов зберігання, обробки та умов експлуатації.

Цей метод визначає процедуру визначення кінематичної в’язкості, ν, рідких нафтопродуктів, як для світлих, так і для темних, шляхом вимірювання часу, за який фіксований об’єм рідини в потоці під дією сили тяжіння витече крізь калібрований скляний капіляр віскозиметра. Динамічну в’язкість, η, може бути одержано шляхом множення значення кінематичної в’язкості, ν, на густину, ρ, рідини.

Діапазон кінематичної в’язкості випробувань, охоплюваних цим методом, становить від 0,2 мм^2/с до 300 000 мм^2/с за всіх температур. Значення, зазначені в одиницях системи СІ, вважаються стандартними. Одиниці СІ, що використовуються в цьому методі випробування для кінематичної в’язкості – Ст (стокс) мм^2/с, а одиниці СІ, що використовуються в цьому методі випробування для динамічної в’язкості, – мПа · с. Для довідки, на практиці часто застосовується в 100 разів менша одиниця – сантистокс (сСт): 1 мм^2/с = 10^{-6} м^2/с = 1 сСт і 1 мПа · с = 1 сП = 0,001 Па · с.

Хід роботи

1. Визначення кінематичної в’язкості нафтопродукту. Сутність методу полягає у вимірюванні часу витікання виміряного об’єму випробовуваного нафтопродукту під дією сили тяжіння. Визначення проводять у капілярних скляних віскозиметрах. Для проведення аналізу підбирають віскозиметр з таким діаметром капіляра, щоб час витікання рідини був не менше 200 с. У лабораторній практиці найбільш застосовні віскозиметри Пінкевича типу ВПЖ-2 (рис. 5.1) з діаметром капіляра від 0,34 мм до 4,66 мм. Стала віскозиметра С (мм^2/с^2) визначається індивідуально. Кінематична в’язкість рідини обчислюється за такою формулою:

$$\nu = (g/9.807)\ T \times C,$$

де С – стала віскозиметра, мм^2/с^2; ν – кінематична в'язкість рідини, мм^2/с; Т – час витікання рідини, с; g – прискорення вільного падіння у місці вимірювань у м/с^2.

Улаштування та принцип роботи віскозиметра ВПЖ-2. Віскозиметр капілярний ВПЖ-2 (рис. 4.3) – прилад у вигляді U-подібної трубки, коліно (1) спаяне з капіляром (7). Вимірювання в'язкості віскозиметром ґрунтується на визначенні часу, за який певний об'єм рідини витече крізь капіляр.

Для визначення часу витікання на відвідну трубку (3) одягають гумову трубку. Потім, затиснувши коліно (2), віскозиметр перевертають і занурюють коліно (1) в резервуар з рідиною. Рідину засмоктують (за допомогою груші або насоса) до позначки М2, при цьому в рідині не повинні утворюватися бульбашки повітря. У момент, коли рідина досягає позначки М2, прилад виймають із посудини і відразу ж перевертають у вихідне положення. Знімають з коліна (1) зайву рідину і надягають на нього гумову трубку. Потім віскозиметр поміщають у термостат так, щоб розширення (5) розташовувалося нижче, ніж рівень рідини в термостаті. Витримують у термостаті понад 15 хвилин за заданої температури і потім засмоктують рідину в коліно до рівня однієї третини розширення (5). Сполучають коліно (1) з атмосферою і встановлюють час зниження рівня меніска від позначки М1 до позначки М2.

В'язкість визначають за формулою, наведеною далі, за середнім часом витікання рідини (з кількох вимірювань). Якщо результат трьох послідовних вимірювань не відрізняється більше ніж на 0.2 %, кінематичну в'язкість ν, мм^2/с, обчислюють як середнє арифметичне за формулою:

$$\nu = C \times T,$$

де С – стала віскозиметра, мм^2/с^2; Т – середній час витікання нафти (нафтопродукту) у віскозиметрі, с.

Динамічну в'язкість η, мПа · с досліджуваної нафти (нафтопродукту) обчислюють за формулою:

$$\eta = \nu \times \rho,$$

де ν – кінематична в'язкість, мм^2/с; ρ – густина за тієї самої температури, за якої визначається в'язкість, г/см^3.

Відхилення допустимих послідовних визначень кінематичної в'язкості від середнього арифметичного значення не повинні перевищувати таких значень:

Температура визначення, °С	-60- -30	-30-+15	15-150
Допустима розбіжність, %	+-2.5	+-1.5	+-1.2

Метод відповідає міжнародному стандарту ІСО 3105-76 у частині технічного проведення випробування.

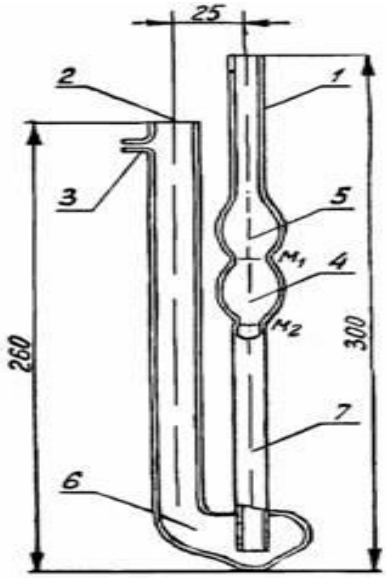

Рисунок 4.3 – Віскозиметр капілярний ВПЖ-2

Визначення поправки на кінетичну енергію

Кінематичну в'язкість ν, мм^2/с, обчислюють з урахуванням розмірів віскозиметра за формулою:

$$\nu = (100\pi g D^4 h T) / (1{,}28VL) – E/T^2,$$

де g – прискорення сили тяжіння, мм/с^2; D – діаметр капіляра, мм; h – середня вертикальна відстань між верхньою та нижньою мітками, мм; T – час витікання, с; V – об'єм вимірювального резервуара, мм^3; L – довжина капіляра, мм; E – коефіцієнт кінетичної енергії мм^2 · с.

Якщо час витікання продукту у вибраному віскозиметрі перевищує мінімальний, то ця формула спрощується, оскільки кінетична енергія E/T^2 мізерно мала, вона прирівнюється до нуля, а всі постійні члени групуються в певну сталу C (стала віскозиметра): $\nu = C \times T$.

Якщо ж час витікання рідини менше 200 с (стала віскозиметра менша або дорівнює 0,01 мм^2/с^2), потрібно вводити поправку на кінетичну енергію:

$$\nu = C \times T – E/T^2,$$

де C – стала віскозиметра, мм^2/с^2 (сСт/с^2); T – час витікання, с; E – коефіцієнт кінетичної енергії, мм^2 · с, який визначають за формулою:

$$E = 1{,}66 \times V^{3/2} / (L(CD)^{1/2})$$

Розрахунок індексу в'язкості за кінематичною в'язкістю

Індекс в'язкості (VI) – розрахункова величина, що характеризує зміну в'язкості нафтопродуктів залежно від температури. Розглянемо два методи

розрахунку індексу в'язкості нафтопродуктів та споріднених їм продуктів залежно від кінематичної в'язкості за температури 40 і 100 °С:

А – з індексом в'язкості від 0 до 100 включно;

В – з індексом в'язкості від 100 і вище.

Примітка 1 Результати розрахунку індексу в'язкості (*VI*) за кінематичною в'язкістю за 40 і 100 °С практично ідентичні результатам системи розрахунку індексу в'язкості з використанням кінематичної в'язкості за температури 37, 78 та 98,89 °С. Дані для розрахунку (таблиця в додатку С) застосовуються для нафтопродуктів із кінематичною в'язкістю за 100 °С від 2 до 70 мм^2/с. Для розрахунку індексу в'язкості нафтопродуктів із кінематичною в'язкістю вище 70 мм^2/с за 100 °С наводяться формули 4.1 та 4.2.

Примітка 2 Кінематична в'язкість виражається у квадратних міліметрах на секунду (мм^2/с), кратних одиниці системи СІ (м^2/с). Насправді зазвичай застосовується сантистокс (сСт). 1 сСт = 1 мм^2/с. Як зразок прийнята в'язкість дистильованої води за 20 °С, що дорівнює 1,003 8 мм^2/с. Визначення кінематичної в'язкості нафтопродуктів має проводитися відповідно до ГОСТ 33.

Розрахунок за методом А (для нафтопродуктів з індексом в'язкості від 0 до 100 включно).

Якщо кінематична в'язкість нафтопродуктів за температури 100 °С нижча або дорівнює 70 мм^2/с, значення, що відповідають *L* і *D*, визначають за (табл. в дод. С) або розраховують методом лінійної інтерполяції.

Якщо кінематична в'язкість нафтопродуктів за температури 100 °С вища від 70 мм^2/с, *L* і *D* обчислюють за формулами:

$$L = 0{,}8353\,Y^2 + 14{,}67\,Y - 216; \quad (4.1)$$

$$D = 0{,}6669\,Y^2 + 2{,}82\,Y - 119, \quad (4.2)$$

де *L* – кінематична в'язкість за температури 40 °С нафтопродукту з індексом в'язкості 0, що мають ту саму кінематичну в'язкість за температури 100 °С, що й випробовуваний нафтопродукт, мм^2/с; *Y* – кінематична в'язкість за температури 100 °С нафтопродукту, індекс в'язкості якого потрібно визначити (*D* = *L* – *H*), мм^2/с; *H* – кінематична в'язкість за температури 40 °С нафтопродукту з індексом в'язкості 100, що має ту саму кінематичну в'язкість за температури 100 °С, що й випробовуваний нафтопродукт, мм^2/с.

Індекс в'язкості VI нафтопродукту обчислюють за формулами

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100;$$

$$VI = \frac{L - U}{D} \cdot 100,$$

де U – кінематична в'язкість за температури 40 °С нафтопродукту, індекс в'язкості якого потрібно визначити (*D* = *L* – *H*), мм^2/с.

Приклад розрахунку *VI*

Кінематична в'язкість нафтопродуктів за температури 40 °С дорівнює 73,30 мм^2/с, за температури 100 °С – 8,86 мм^2/с. За таблицею в додатку С (інтерполяцією) L = 119,94; D = 50,476. Одержані дані підставлять у формулу (4) і округлюють до цілого числа:

$$VI = \frac{119{,}4 - 73{,}30}{50{,}476} \cdot 100 = 92{,}40;$$

$$VI = 92.$$

Примітка. Якщо результат виражено цілим числом з п'ятьма десятими, його округлюють до найближчого парного числа. Наприклад, 89,5 має бути округлено до 90.

Для випробовуваних продуктів, кінематична в'язкість яких за температури 100 °С є меншою 2 мм^2/с (сСт), значення L, D та H обчислюють за формулами:

$$L = Y\,(1{,}5215 + 0{,}7092\,Y);$$

$$D = Y\,(0{,}17129 + 0{,}11441\,Y);$$

$$H = Y\,(1{,}35017 + 0{,}59482\,Y).$$

Вираження результатів та точність. Записують індекс в'язкості *VI* з точністю до цілого числа. Точність розрахунку індексу в'язкості залежить від точності двох незалежних значень кінематичної в'язкості, за якими він розраховується. Результати двох розрахунків вважаються недійсними, якщо різниця значень кінематичної в'язкості перевищує допуск за збіжністю та відтворюваністю відповідно до ГОСТ 33. Точність методу, зазначена в таблиці 4.1, цілком ґрунтується на точності методу згідно з ГОСТ 33.

Таблиця 4.1 – Показники збіжності та відтворюваності наводяться з 95 %-вим рівнем довірчої ймовірності

Кінетична в'язкість за 100 °С, мм^2/с	Точність			
	VI = 0		*VI*= 100	
	Збіжність	Відтворюваність	Збіжність	Відтворюваність
4	2,4	4,8	1,7	3,4
6	2,1	4,2	1,3	2,6
8	1,9	3,7	1,1	2,2
15	1,5	3,0	0,7	1,4
30	1,2	2,5	0,4	0,9
50	1,1	2,2	0,3	0,7

Точність може бути визначено для будь-якого показника кінематичної в'язкості чи індексу методом лінійної інтерполяції. Показники збіжності та відтворюваності наводяться з 95 %-вим рівнем довірчої ймовірності.

Приклад розрахунку точності визначення

Розрахунок точності визначення для олив, кінематична в'язкість яких за температури 100 °С = 12 мм^2/с та індекс в'язкості = 90. За таблицею 4.1 обчислюють збіжність і відтворюваність для кінематичної в'язкості 12 мм^2/с інтерполяцією між в'язкостями 8 і 15 мм^2/с.

Індекс в'язкості = 0		*Індекс в'язкості = 100*	
Збіжність	*Відтворюваність*	*Збіжність*	*Відтворюваність*
1,7	*3,3*	*0,9*	*1,7*

За цими даними інтерполяцією отримують результати для VI = 90

Збіжність	*Відтворюваність*
1,0	*1,9*

Розрахунок за методом В (для нафтопродуктів з індексом в'язкості від 100 і вище).

Індекс в'язкості *VI* обчислюють за формулами:

$$VI = \{[(\text{anti log } N) - 1]/0{,}00715\} + 100\,; \tag{4.3}$$

$$N = (\log H - \log U)/\log Y\,, \tag{4.4}$$

де *U* та *Y* – кінематичні в'язкості за температур 40 і 100 °С відповідно для випробовуваних нафтопродуктів; *H* – кінематична в'язкість за температури 40 °С нафтопродукту з індексом в'язкості 100, що має ту саму кінематичну в'язкість за температури 100 °С, що й випробовуваний нафтопродукт. Значення *H* визначають за таблицею додаток С. Якщо кінематична в'язкість нафтопродукту за температури 100° вища від 70 мм^2/с, *H* обчислюють за формулою:

$$H = 0{,}1684\,Y^2 + 11{,}85\,Y - 97\,.$$

Приклади розрахунку *VI*

1. Кінематична в'язкість нафтопродукту за температури 40 °С дорівнює 22,83 мм^2/с, за температури 100 °С – 5,05 мм^2/с.

За таблицею в додатку С (інтерполяцією) *H* = 28,97 одержані дані підставляють у формулу (4.4).

$$N = \frac{\log 28{,}97 - \log 22{,}83}{\log 5{,}05} = 0{,}14708\,.$$

Одержане значення підставляють у формулу (4.3) і округлюють до цілого числа:

$$VI = \frac{(\text{anti log } 0{,}14708) - 1}{0{,}00715} + 100 = \frac{1{,}40307 - 1}{0{,}00715} + 100 = 156{,}37\,;$$

$$VI = 156\,.$$

2. Кінематична в'язкість нафтопродукту за температури 40 °С дорівнює 53,47 мм^2/с, за температури 100 °С – 7,80 мм^2/с.

За таблицею 4.3: $H = 57{,}31$. Одержані дані підставляють у формулу (4.3).

$$N = \frac{\log\ 57{,}31 - \log\ 53{,}47}{\log\ 7{,}80} = 0{,}03376\,.$$

Одержані значення підставляють у формулу (4.3) і округлюють до цілого числа.

$$VI = \frac{(\text{anti log}\ 0{,}03376) - 1}{0{,}00715} + 100 = \frac{1{,}08084}{0{,}00715} + 100 = 111{,}31\,;$$

$$VI = 111\,.$$

Примітка. Якщо результат виражено цілим числом з п'ятьма десятими, його округлюють до найближчого парного числа. Наприклад, 115,5 має бути округлено до 116.

Вираження результатів та точність. Записують індекс в'язкості (*VI*) з точністю до цілого числа. Точність розрахунку індексу в'язкості залежить від точності двох незалежних величин кінематичної в'язкості, за якими він розраховується. Точність може бути визначено для будь-якого показника кінематичної в'язкості або індексу в'язкості лінійною інтерполяцією (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Показники збіжності та відтворюваності наводяться з 95%-вим рівнем довірчої ймовірності

Кінематична в'язкість за 100 °С, мм^2/с	Точність			
	VI = 100		*VI* = 200	
	Збіжність	Відтворюваність	Збіжність	Відтворюваність
4	1,4	2,8	2,2	4,4
6	1,1	2,2	1,7	3,5
8	1,0	2,0	1,5	3,0
15	0,7	1,5	1,1	2,3
30	0,6	1,2	0,9	1,8
50	0,5	1,0	0,8	1,6

Приклад розрахунку точності визначення

Розрахунок точності визначення для олив, кінематична в'язкість яких за температури 100 °С = 16,5 мм^2/с та індекс в'язкості = 150. За таблицею 4.2 обчислюють збіжність та відтворюваність для кінематичної в'язкості 16,5 мм^2/с інтерполяцією між в'язкістю 15 і 30 мм^2/с.

Індекс в'язкості = 100	Індекс в'язкості = 200		
Збіжність	Відтворюваність	Збіжність	Відтворюваність
0,69	1,47	1,08	2,25

За цими даними інтерполяцією отримують результати для *VI* = 150

Збіжність	Відтворюваність
0,9	1,9

Звіт про лабораторну роботу має містити: мету роботи; короткий опис методики; результати випробування та розрахунку: тип та ідентифікацію випробовуваного продукту; який метод було використано – А чи В; дату випробування.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняються динамічна, кінематична та умовна в’язкість?
2. Для чого використовують формулу Пуазейля?
3. Розкажіть про визначення динамічної в’язкості.
4. Опишіть сутність методу визначення кінематичної в’язкості.
5. Розкажіть про визначення умовної в’язкості?
6. Що таке водне число віскозиметра?
7. Вплив температури на в’язкість нафтопродуктів.
8. Як визначити в’язкість суміші?
9. Для чого застосовують залежність Вальтера?
10. Зв’язок показників в’язкості з експлуатаційними характеристиками.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ЙОДНОГО ЧИСЛА ТА ВМІСТУ НЕНАСИЧЕНИХ ВУГЛЕВОДНІВ У НАФТОПРОДУКТІ

Мета роботи: визначення йодного числа та вмісту ненасичених вуглеводнів у випробовуваному зразку.

Сутність методу полягає в обробці випробовуваного зразка нафтопродукту спиртовим розчином йоду, від титрування вільного йоду розчином натрію тіосульфату та визначенні йодного числа у грамах йоду, що приєднується до 100 г нафтопродукту. Масову частку ненасичених вуглеводнів визначають за йодним числом та середньою молекулярною масою випробовуваного нафтопродукту.

Апаратура, реактиви та розчини

Склянки для зважування (бюкси) зовнішнім діаметром 10 мм, заввишки 15 мм, з притертою пробкою. Замість стаканчиків використовують скляні ампули місткістю від 0,5 $см^3$ до 1 $см^3$ з відтягнутими в капіляр кінцями; крапельниці з притертою пробкою згідно з ГОСТ 25336; піпетки згідно з ГОСТ 20292 місткістю 1,2 $см^3$; 5 $см^3$; колби типу КН, КШ з притертою пробкою згідно з ГОСТ 25336, місткістю 250, 500 $см^3$; циліндри згідно з ГОСТ 1770, вик. 1 та 3, місткістю 25 та 250 $см^3$; бюретки 1-2-25 та 1-2-50 згідно з ГОСТ 20292; спирт етиловий ректифікований технічний згідно з ГОСТ 18300, вищий сорт; калій йодистий згідно з ГОСТ 4232, х. ч. (ч. д. а.), 20 %-й розчин; йод кваліфікації не нижче ч. д. а.; тіосульфат натрію р-н 0.1 моль/$дм^3$ (0.1 н); крохмаль розчинний згідно з ГОСТ 10163, 0.5 %-й водний розчин, приготовлений згідно з ГОСТ 4919.1; кислота сірчана згідно з ГОСТ 4204, ч. д. а. р-н 1 : 3; вода дистильована з pH 5.4-6.6; терези лабораторні з похибкою зважування не більше 0.000 2 г.

Хід роботи

1. Підготовка до випробування

Підготовка проб. Нафтопродукти, що містять вологу, фільтрують або висушують осушувальною речовиною.

Приготування розчину йоду. 20 г йоду розчиняють у 1 000 $см^3$ етилового спирту.

Визначення чинника розчину тіосульфату натрію. У конічній колбі місткістю 250 $см^3$ зважують від 0,08 г до 0.10 г перекристалізованого біхромату калію з похибкою не більше 0,000 2 г. Додають 80 $см^3$ дистильованої води до розчинення і швидко додають ще 10 $см^3$ 20 %-го розчину йодистого калію та 5 $см^3$ розведеної сірчаної кислоти. Закривають колбу, добре струшують і ставлять у темне місце на 5 хв.

Пробку і стінки колби промивають водою та титрують розчином тіосульфату натрію з наявністю крохмалю.

Чинник розчину тіосульфату натрію обчислюють за такою формулою:

$$F=m/(0.0049037\times V),$$

де m – маса біхромату калію, г; 0.004 903 7 – маса біхромату калію, еквівалентна 1 см^3 розчину точно 0.1 моль/дм^3 (0.1 н) тіосульфату натрію, г; V – об'єм тіосульфату, витрачений на титрування, см^3.

Чинник розчину тіосульфату натрію перевіряють не менше одного разу на місяць.

2. Проведення випробування

Зважують необхідну кількість зразка з точністю до 0,000 2 г залежно від передбачуваного значення йодного числа, як зазначено в таблиці 5.1.

У дві колби місткістю 500 см^3 наливають по 15 см^3 спирту етилового в кожну. В одну з них поміщають масу нафтопродукту. Друга колба слугує для контрольного досліду, але без нафтопродукту.

В обидві колби за допомогою піпетки з однаковою швидкістю краплями додають по 25 см^3 розчину йоду та 150 см^3 дистильованої води.

Колби швидко закривають притертими пробками, попередньо змоченими розчином йодистого калію, обережно струшують протягом 5 хв і залишають у темному місці ще на 5 хв, після чого додають 20–25 см^3 розчину йодистого калію і титрують розчином тіосульфату натрію концентрацією 0,1 моль/дм^3.

Коли рідина в колбі набуде світло-жовтого кольору, додають від 1 см^3 до 2 см^3 розчину крохмалю і продовжують титрувати до зникнення синювато-фіолетового забарвлення.

Таблиця 5.1 – Значення йодного числа від маси нафтопродукту

Йодне число, г йоду на 100 г нафтопродукту	Маса нафтопродукту, г
До 5,0	2.0–4,0
5.0–10.0	1.0–2.0
Понад 10.0	0.2–0.4

Опрацювання результатів

Йодне число (X) випробовуваного нафтопродукту обчислюють за формулою:

$$X = (V - V_1)\ F\ 0{,}01269 / m \times 100,$$

де V – об'єм розчину тіосульфату натрію 0,1 моль/дм^3, витрачений на титрування в контрольному досліді, см^3; V_1 – об'єм розчину тіосульфату натрію 0,1 моль/дм^3, витрачений на титрування випробовуваного нафтопродукту, см^3; F – чинник розчину тіосульфату натрію 0,1 моль/дм^3; m – маса випробовуваного нафтопродукту, г.

За результат визначення йодного числа випробовуваного нафтопродукту приймають середнє арифметичне значення двох послідовних визначень, округлюючи його до другого десяткового знака.

Збіжність результатів двох послідовних визначень, отриманих на тій самій апаратурі та пробі нафтопродукту, в однакових умовах не повинна перевищувати 10 % від меншого результату.

Масову частку ненасичених вуглеводнів (X_1) у нафтопродукті обчислюють за формулою:

$$X_1 = (X \times M) / 254,$$

де X – йодне число нафтопродукту, г йоду на 100 г нафтопродукту; M – середня молекулярна маса ненасичених вуглеводнів для нафти, для авіабензину M = 100, для реактивних двигунів M = 175; 254 – молекулярна маса йоду.

Точність результатів. Збіжність результатів двох послідовних визначень масової частки ненасичених вуглеводнів не повинна перевищувати 0,3 % від середнього результату.

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мету роботи; хід роботи; одержані результати вимірювань та розрахунків; дату випробування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИЗНАЧЕННЯ НАЯВНОСТІ В НАФТІ АБО ГАЗОВОМУ КОНДЕНСАТІ ВОДОРОЗЧИННИХ КИСЛОТ ТА ЛУГІВ

Мета роботи: ознайомити студентів з методикою визначення в нафті водорозчинних кислот і лугів різними методами.

Сутність методу полягає у добуванні водорозчинних кислот і лугів з нафтопродуктів водою або водним розчином спирту та визначенні величини pH водної витяжки pH-метром або реакції середовища за допомогою індикаторів.

Апаратура, матеріали та реактиви

pH-метр будь-якого типу з похибкою вимірювання не більше 0.1 pH зі скляними та хлорсрібним або каломельними електродами; циліндри; посуд мірний лабораторний скляний; колби конічні; піпетки, склянки; лійки скляні; бензин для промислово-технічних цілей; спирт етиловий ректифікований технічний, розведений 1 : 1 дистильованою водою, перевіреною на нейтральність; індикатор фенолфталеїн 1 %-й розчин у 60 %-му етиловому спирті; індикатор метиловий оранжевий (0,02 %-й водний розчин); вода дистильована з pH 6-8; папір фільтрувальний лабораторний.

Хід роботи

1. Підготовка до випробування. Проби випробовуваного нафтопродукту перемішують струшуванням протягом 5 хв у склянці, заповненій лише на ¾ її місткості. В'язкі та парафінисті нафтопродукти попередньо нагрівають до 50–60 °С. Дистильовану воду, бензин і спирт потрібно перевіряти на нейтральність за метиловим оранжевим та фенолфталеїном або за допомогою pH-метра.

2. Проведення випробування. Під час випробування рідких нафтопродуктів у ділильну лійку поміщають 50 мл випробовуваного нафтопродукту і 50 мл дистильованої води, нагрітих до 50–60 °С. Легкі нафтопродукти (бензин, лігроїн, тощо), а також продукти, у яких можуть утворюватися водорозчинні кислоти і луги в результаті гідролізу, не нагрівають.

Якщо в'язкість проби нафтопродукту перевищує 75 сСт за температури 50 °С, його попередньо змішують за кімнатної температури з 50 мл бензину. Потім додають 50 мл дистильованої води, підігрітої до 50–60 °С.

Вміст ділильної лійки злегка збовтують протягом 5 хв, не допускаючи утворення емульсії. Після відшарування нижній водний шар зливають через лійку з паперовим фільтром у конічну колбу.

Якщо при змішуванні нафтопродукту з водою утворюється емульсія, то водорозчинні кислоти і луги екстрагують, обробляючи нафтопродукт спиртовим розчином (1 : 1), нагрітим до 50–60 °С замість дистильованої води (в одну з пробірок поміщають дві краплі розчину метилового оранжевого і порівнюють колір витяжки з кольором такого самого об'єму дистильованої

води, в яку додають дві краплі розчину метилового оранжевого, налитої в третю пробірку). У витяжках, отриманих раніше, визначають наявність водорозчинних кислот і лугів за величиною pH або за допомогою індикаторів.

Для визначення водорозчинних кислот і лугів за величиною pH у стаканчик поміщають 35–50 мл витяжки, занурюють електроди на глибину 10–12 мм і заміряють величину pH відповідно до вимог експлуатації pH-метра. Відсутність і наявність водорозчинних кислот і лугів у водній або водно-спиртовій витяжці нафтопродуктів визначають за таблицею.

Для **визначення наявності водорозчинних кислот і лугів за допомогою індикаторів** у дві пробірки поміщають по 1–10 $см^3$ витяжки.

Забарвлення витяжки в рожевий колір свідчить про наявність у випробовуваному нафтопродукті водорозчинних кислот.

У другу пробірку додають три краплі розчину фенолфталеїну. Забарвлення розчину в рожевий або червоний колір вказує на наявність водорозчинних лугів.

Нафтопродукт вважається таким, що не містить водорозчинних лугів або кислот, якщо відсутнє рожеве або червоне забарвлення витяжки від фенолфталеїну чи метилового оранжевого індикаторів.

Опрацювання результатів

Два результати визначення, одержані одним виконавцем на тій самій апаратурі та пробі продукту, визнаються достовірними (з 95 %-ю довірчою ймовірністю), якщо розбіжності між ними не перевищують значень, наведених у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати визначення pH водних витяжок нафтопродуктів.

Характеристика водної витяжки нафтопродукту	pH	Збіжність, pH	Відтворюваність pH
Кисла	До 4,0	0,2	1,9
Слабокисла	Понад 4,0 до 6,0	0,3	1.9
Відсутність водорозчинних кислот і лугів	Понад 6,0 до 8,0	0,3	1,9
Слаболужна	Понад 8,0 до 10,0	0,3	1,9
Лужна	Понад 10	0,3	1,9

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мету роботи; хід роботи; одержані результати визначень водорозчинних кислот та лугів; дату випробування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ СХИЛЬНОСТІ НАФТИ ДО ПІНОУТВОРЕННЯ ТА СТАБІЛЬНОСТІ ПІНИ

Мета роботи: 1. Визначити схильність нафти до піноутворення, що дорівнює об’єму піни, утвореної в нафті в градуювальному циліндрі, прогрітому до 24 °С, і що продувається повітрям, протягом 5 хвилин. 2. Визначити стабільність піни, що дорівнює об’єму піни, що залишилася в циліндрі після відстоювання протягом 10 хвилин.

Апаратура та матеріали

Баня водяна скляна циліндрична діаметром 300 мм і заввишки 450 мм; термометри скляні лабораторні ТЛ-4 № 2; циліндр мірний скляний ємністю 1 000 см^3; нафта або газовий конденсат; бензин; секундомір; мішалка; мікрокомпресор; пробка гумова з отвором для впускної та випускної трубок; випускна трубка металева або скляна; трубка сталева для впуску повітря з кульовим дифузором діаметром 25,4 мм, виготовленим із розплавлених кристалічних зерен оксиду алюмінію.

Хід роботи

1. Налити 190 см^3 нафти в циліндр і встановити циліндр у водяну баню, заповнену водою до позначки 900 см^3.

2. Заміряти температуру води термометром.

3. Увімкнути мішалку і довести температуру бані до 24±0,5 °С.

4. Закрити циліндр пробкою, в яку вставлено впускну і випускну трубки, впускну трубку за допомогою гумової трубки з’єднати з компресором через реометр (рис. 7.1).

5. Увімкнути компресор, установивши витрату повітря 94±5 см^3/хв. З появою перших бульбашок піни увімкнути секундомір.

6. Через 5 хв вимкнути компресор і секундомір і негайно заміряти об’єм піни й відразу, не зволікаючи, знов увімкнути секундомір.

7. Через 10 хвилин вимкнути секундомір і негайно заміряти об’єм піни.

8. Дифузор з термометром після роботи витягнути з рідини, протерти ганчіркою, змоченою в бензині, а потім витерти насухо і поставити на підставку.

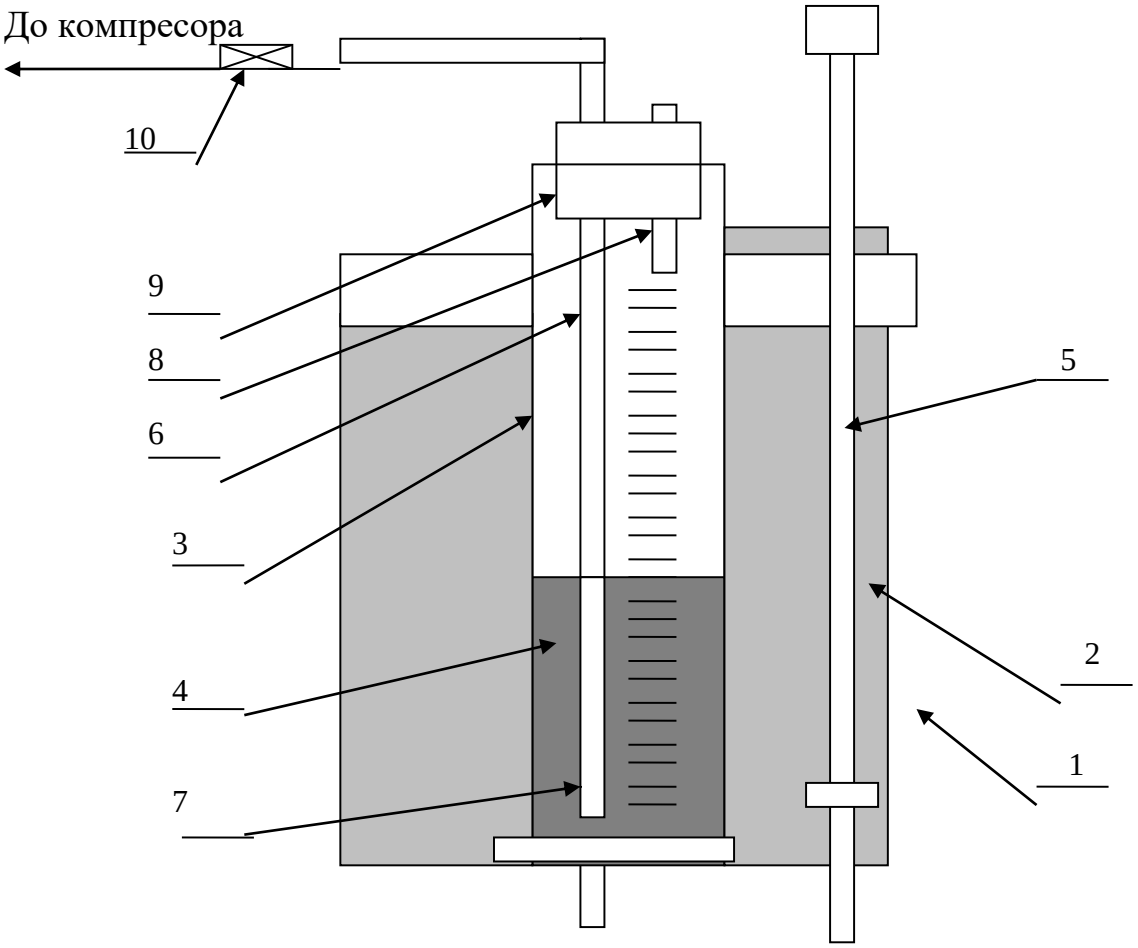

Рисунок 7.1 – Пристрій для визначення схильності нафти до піноутворення і стійкості піни:
1 – баня скляна; 2 – вода; 3 – циліндр мірний скляний; 3 – нафта; 5 – мішалка; 6 – впускна трубка; 7 – дифузор; 8 – випускна трубка; 9 – гумова пробка; 10 – ареометр

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мету роботи; хід роботи; дату випробування.

Одержані результати вимірювань піни відразу ж після продування повітрям (п. 6) записати як схильність нафти до піноутворення в $см^3$, а результати вимірювань після відстоювання (п. 7) записати як стабільність піни в $см^3$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ДЕЕМУЛЬСАЦІЯ ВОДОНАФТОВИХ ЕМУЛЬСІЙ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА АГРЕГАТИВНОЇ СТІЙКОСТІ. ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ АСФАЛЬТЕНОВМІСНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: визначення об'єму води, що виділилася з емульсії після додавання деемульгатора та визначення показника агрегативної стійкості водонафтової емульсії, а також визначення ефективності та оптимальної кількості деемульгатора; ознайомлення з методикою визначення стійкості асфальтеновмісних дисперсних систем.

Теоретична частина

Одним з етапів промислової підготовки сирих нафт є їхня деемульсація, яка проводиться шляхом відстою за наявності деемульгаторів. Деемульгатори широко застосовують як у процесах підготовки нафт на промислах, так і при глибокому знесолюванні на блоках ЕЛЗУ НПЗ. Деемульгатори – це спеціальний клас хімічних реагентів для руйнування водонафтових емульсій. Деемульгатори становлять зазвичай композиційні речовини, що включають розчинник і активну основу. Основа, зі свого боку, складається з поверхнево-активних речовин (ПАР) різних хімічних структур і модифікацій, часто із додаванням домішок: поліфункціональних сполук з властивостями змочувачів, диспергаторів, коагулянтів, флокулянтів. Нині існує велика потреба у високоефективних вітчизняних деемульгаторах, оскільки зростає частка «проблемних» водонафтових емульсій.

Проблема руйнування стійких водонафтових емульсій стоїть особливо гостро під час освоєння родовищ природних бітумів, важких високов'язких та високосірчистих нафт із підвищеним вмістом механічних домішок. Для підготовки до переробки такої сировини також потрібні високоефективні деемульгатори.

Прилади та реактиви

Модельна водонафтова емульсія; розчин промислового деемульгатора Нафтенол Д у водно-спиртовому розчині з концентрацією 10 ppt; демінералізована вода; легка нафта; скляні відстійники; пробірки; апарат для струшування колб; центрифуга 80-1.

Інструкція щодо роботи з центрифугою

1. Центрифуга (рис. 8.1) модель 80-1 (далі – центрифуга) є центрифугою періодичної дії, звичайною, переносною з частотою обертання до 3 000 обертів на хвилину, застосовуваною для розділення неоднорідних рідких систем у полі відцентрових сил з густиною не більше 2 г/см^3.

2. Умови експлуатації центрифуги:

– температура навколишнього повітря від +10 °С до +35 °С;

– верхнє значення відносної вологості повітря 80 % за температури +25 °С.

3. Технічні характеристики центрифуги моделі 80-1.

Електричне живлення	–	220 В, 50 Гц
Частота обертання	–	0–3 000 обертів на хвилину
Кількість пробірок у роторі	–	12 по 20 мл
Встановлений час обертання	–	0–60 хв
Максимальна відносна відцентрова сила	–	1790 × G
Габаритні розміри (мм)	–	330 × 280 × 270

3.1 Частота обертання ротора центрифуги регулюється плавно у діапазоні від 0 $хв^{-1}$ до 3 000 $хв^{-1}$.

Допустиме наведене відхилення заданої частоти обертання не повинно бути більш як ±10 % від максимальної робочої частоти обертання.

3.2 Час розгону ротора до максимальної робочої частоти обертання, трохи більше 1 хв.

3.3 Максимальний час безперервної роботи – не менше 180 хв.

3.4 Час перерви після 180 хв безперервної роботи не менше 60 хв.

3.5 Центрифуга забезпечує автоматичне відключення від мережі 60-хвилинним механізмом відліку часу через заданий інтервал циклами, кратними – 2 хв.

3.6 Неврівноваженість мас, центрифугованих у діаметрально протилежних пробірках – трохи більше 1,5 г.

3.7 Корегований рівень звукової потужності центрифуги при вимірювальній відстані 1 м не перевищує 20 дБА.

4. Центрифуга складається з таких основних частин:

а) корпус; б) привід; в) пульт управління; г) ротор; д) кришка; е) дванадцять пластмасових пробірок ємністю 20 мл.

5. Підготовка до роботи.

5.1 Встановити центрифугу на горизонтальну рівну поверхню.

5.2 Встановити пробірки, заповнені центрифугатом, у гнізда ротора.

5.3 Закрити кришку ротора.

5.4 Підключити мережевий шнур центрифуги до мережі змінного струму.

6. Порядок роботи.

Під час роботи з годинником.

6.1 Установити ручку годинникового механізму на час центрифугування.

6.2 Установити задавачем частоти обертання ротора потрібну кількість обертів.

6.3 Вимикач ланцюга живлення встановити у положення «увімкнено» «1». Ротор починає обертатися і автоматично досягає заданої частоти обертання.

6.4 Після закінчення заданого часу автоматично вимикається напруга живлення електроприводу і ротор почне зупинятися.

6.5 Після зупинки ротора вийняти пробірки.

Під час роботи без годинника.

6.6 Установити ручку годинникового механізму в положення «ON».

6.7 Встановити задавачем частоти обертання ротора потрібну кількість обертів.

6.8 Вимикач ланцюга живлення встановити у положення «увімкнено» «1». Ротор починає обертатися і автоматично досягає заданої частоти обертання.

6.9 Після закінчення потрібного часу центрифугування вимкнути центрифугу від мережі вимикачем. Для цього вимикач ланцюга живлення встановити у положення вимкнено «О».

6.10 Після повної зупинки ротора вийняти пробірки.

7. Можливі несправності та методи їхнього усунення.

Несправність	Можлива причина	Спосіб усунення
1. Центрифуга не вмикається	1. Відсутня напруга. 2. Перегоріла плавка вставка	1. Перевірте напругу. 2. Замініть плавку вставку
2. Центрифуга перегрівається	Перевантаження	Перевірте навантаження та режим роботи та усуньте несправність

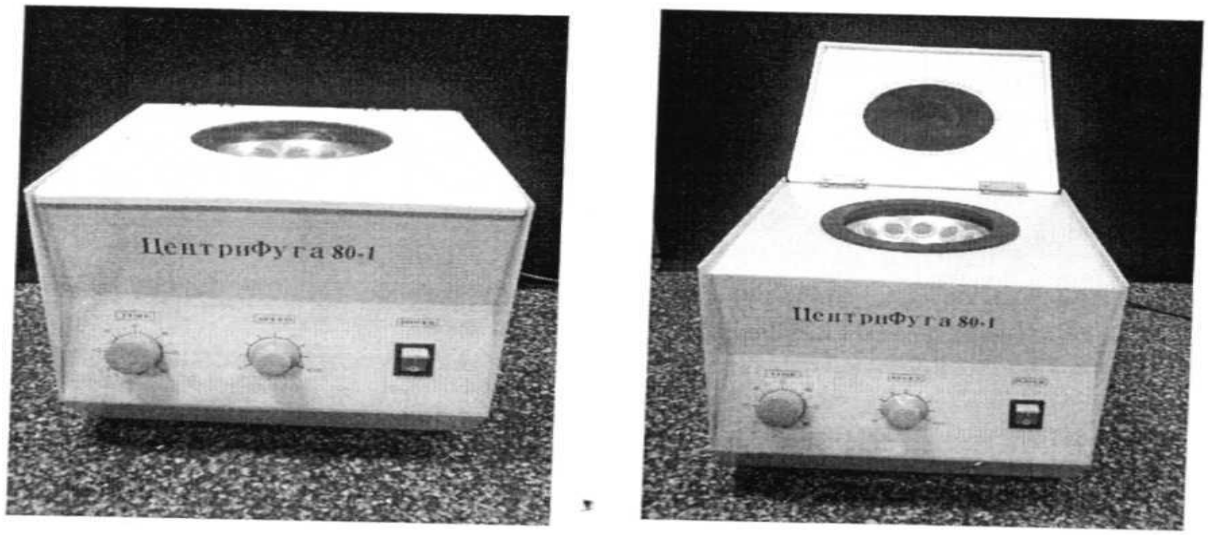

Рисунок 8.1 – Центрифуга 80-1

Хід роботи

1. Визначення ефективності та оптимальної кількості деемульгатора. Безпосередньо перед заняттям приготовляється модельна водонафтова емульсія (в/м) перемішуванням у міксері 70 % легкої нафти типу Усинської та 30 % демінералізованої води (у кількості не менше 500 мл) та розчин промислового деемульгатора *Нафтенол Д* у водно-спиртовому розчині з концентрацією 10 ppm (0.001 % мас).

У кожну з градуйованих пронумерованих відстійників № 1–5 (бажано з конічним дном) поміщають по 100 мл приготовленої емульсії. У пробірки № 2–5 за рекомендацією викладача вводять дозовані кількості розчину деемульгатора; пробірка № 1 без деемульгатора є контрольною. Після введення деемульгатора відстійники з емульсіями перемішують на апарату для

струшування проб протягом 15 хвилин (або вручну 200 коливань). Потім відстійники поміщають у термостат за температури 50 °С.

Через 30 хвилин (і через годину) визначають кількість води, що виділилася внизу пробірок у мл і розраховують показник ефективності деемульгатора $К_д$ як відношення виділеної води до загального вмісту води в нафті у відсотках. Одержані дані заносять до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Вихідні дані для оцінки ефективності деемульгатора за температури 60 °С

Номер пробірки	Концентрація деемульгатора	Кількість виділеної води (в мл) через		Ефективність деемульгатора $К_д$
	(% мас)	30 хвилин	60 хвилин	%
1	0			
0..5				

Потім будують залежність показника ефективності деемульгатора $К_д$ від концентрації деемульгатора і визначають його оптимальну кількість, що відповідає максимальному відділенню води з емульсії.

2. Визначення агрегативної стійкості водонафтової емульсії. Під час диспергування двох незмішуваних рідин утворюються водонафтові емульсії. Всі емульсії – системи термодинамічно нестійкі, і вони прагнуть до розшарування. Стійкість водонафтових емульсій оцінюють агрегативною стійкістю.

Агрегативна стійкість водонафтових емульсій – це здатність глобул дисперсної фази при їхньому зіткненні одна з одною або межею поділу фаз зберігати свій первісний розмір. Механізм утворення агрегативно стійких нафтових емульсій, питання стабілізації та руйнування водонафтових емульсійних систем остаточно не вивчено, проте всі теорії єдині в одному: для надання агрегативної стійкості емульсійній системі, приготовленій з двох чистих незмішуваних рідин, потрібна наявність третього стабілізувального компоненту.

Сутність процесу попередньої підготовки емульсії до розшарування полягає у максимальному зниженні її стійкості до заданого рівня. Для інтенсифікації процесу руйнування водонафтової дисперсної системи в емульсію вводять деемульгатор. Додавання реагенту – деемульгатора у водонафтову емульсію дає змогу порушити міцні гелеподібні шари природних стабілізаторів нафтових емульсій (асфальтенів, смол, нерозчинних органічних кислот, механічних домішок та ін.), що входять до складу захисних оболонок глобул води, і сприяє переведенню часток природних стабілізаторів з межею поділу фаз в об’єм водної фази.

Витрата деемульгаторів має бути достатньою для забезпечення максимальної ефективності процесу зневоднення нафти.

Агрегативна стійкість емульсії аналізується так. Після відбирання проби остання відстоюється 30 хвилин.

Настояну нафту в кількості 10 $см^3$ центрифугують 30 хвилин.

Кількість води, що виділилася (B_1), виражають у відсотках до об'єму проби (10 $см^3$).

Далі у пробу додають 3 краплі деемульгатора (у середньому дорівнює 0,09–0,15 $см^3$).

Проба підігрівається та центрифугується протягом 15 хвилин.

Знову заміряється кількість води B_2 у відсотках.

Обчислення показника агрегативної стійкості емульсії робиться за формулою:

$$x = \frac{B2 - B1}{B2} 100\ \%,$$

де x – агрегативна стійкість, %; B_1 – кількість води, що відокремилася після першого центрифугування, $см^3$; B_2 – кількість води, що відокремилася після другого центрифугування, $см^3$.

4. Визначення стійкості асфальтеновмісних дисперсних систем

Розрізняють агрегативну і седиментаційну (кінетичну) стійкість.

Агрегативна стійкість – здатність системи до збереження дисперсності та індивідуальності, тобто окремішності, частинок дисперсної фази. Коли система втрачає агрегатну стійкість (тобто відбувається коагуляція або флокуляція частинок дисперсної фази), система розшаровується.

Втрата агрегативної стійкості веде до кінетичної (седиментаційної) нестійкості системи. Відбувається розшарування, руйнування системи внаслідок виділення коагулятів, що становлять залежно від густин дисперсної фази і дисперсійного середовища осади (або спливні утворення). Отже, кінетична стійкість відображає здатність системи зберігати протягом певного часу однаковий у кожній точці розподіл частинок дисперсної фази в дисперсійному середовищі.

Одним із небажаних процесів під час розробки нафтових родовищ є деасфальтизація нафт у пласті, яка може призводити до закупорки пір і зменшення проникності нафтового пласта. Кінетична нестійкість нафтових систем може ускладнювати їхнє транспортування, зберігання та застосування.

Критерієм кінетичної стійкості асфальтеновмісної дисперсної системи є чинник стійкості (Чс), що становить відношення концентрацій дисперсної фази, яке встановлюється за фіксований час у двох шарах, розташованих на певній відстані один від одного в напрямку сил осадження. Найчастіше для нафтових залишків визначення концентрації дисперсної фази проводять за вмістом асфальтенів у верхньому та нижньому шарах розчину досліджуваного нафтопродукту.

Під дією гравітаційного поля осідають лише достатньо великі частинки (0,1–100 мкм). Замінюючи гравітаційне поле дією центрифуги з прискоренням, що перевищує в 100–1 000 разів прискорення вільного падіння, можна доволі швидко осадити частинки асфальтенів. Дія відцентрового поля достатньої інтенсивності дає змогу протягом 5–10 хв за температури 20 °С і частоти обертання ротора центрифуги 3 000–4 000 об/хв досягти седиментаційного рівноваги в асфальтеновмісних сумішах.

Концентрація асфальтенів у шарах може визначатися фотоколориметричним способом шляхом побудови калібрувального графіка в координатах: оптична густина – концентрація асфальтенів у толуольному розчині для кожного досліджуваного нафтопродукту.

Визначення агрегативної стійкості асфальтеновмісних дисперсних систем проводять так.

Зразок досліджуваного нафтопродукту (0,2 г) поміщають у попередньо зважену на технічних терезах конічну колбу на 50 мл.

У конічну колбу окремими порціями доливають 20 мл розчинника, щоразу ретельно перемішуючи його з нафтопродуктом. Суміш розчинника, що складається з толуолу та гексану у співвідношенні 1 : 4, має приготовлятися безпосередньо перед аналізом. Після додавання останньої порції вміст конічної колби перемішують протягом 1 хв для надання однорідності суміші.

Вміст конічної колби розливають порівну у відградуйовані на 10 мл пробірки.

Центрифугування проводять на лабораторній центрифузі ОПН-80-1. Перед використанням скористайтеся інструкцією щодо роботи з центрифугою.

Проводять не менше трьох паралельних дослідів.

Для центрифугування проб задаються такі параметри: частота обертання ротора 3 000 об/хв, час – 12 хв (з урахуванням часу розгону 1–2 хв).

Після закінчення центрифугування з пробірок з паралельним зразками в них за допомогою варі піпетки відбирають шари в такий спосіб. Верхні шари центрифугату (1 мл) переносять у порожні пробірки з позначкою «в» відповідно, середні шари відбирають до нижньої позначки і відкидають. Нижні шари з осадом (1 мл) переносять до пробірок з позначкою «н». У пробірки з верхнім та нижнім шарами центрифугату додають по 5 мл толуолу.

Далі проводять визначення оптичної густини приготовленого розчину на фотоелектричному колориметрі КФК-2. Кювети (робоча довжина 5 мм, об’єм 2,3 мл) за допомогою варі піпетки заповнюють приготовленим розчином і розчинником до мітки на бічній стінці кювет, закривають кришками і встановлюють у кюветоутримувач. Робочі поверхні потрібно перед кожним вимірюванням ретельно промивати спиртоефірною сумішшю. Встановлюючи кювет у кюветоутримувач, не можна пальцями рук торкатися робочих ділянок поверхонь (нижче рівня рідини в кюветі). Кюветоутримувач встановлюють у кюветне відділення на столик так, щоб дві маленькі пружини були з переднього боку. Вимірюють оптичну густину розчинів зі світлофільтром, що відповідає довжині хвилі 540 нм.

Чинник стійкості розраховують за такою формулою:

$$Чс = (Б_1/Б_2)*100\%,$$

де $Б_1$ – оптична густина верхнього шару, $Б_2$ – оптична густина нижнього шару.

Опрацювання результатів вимірів:

1. Обчислити показник агрегативної стійкості емульсії.
2. Обчислити чинник стійкості асфальтеновмісних дисперсних систем.

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мету роботи; хід роботи; одержані результати визначень води в емульсії; обчислені результати показника агрегативної стійкості емульсії; розрахований чинник агрегативної стійкості асфальтенів; концентрацію приготовленого розчину та умови центрифугування; результати не менше трьох паралельних вимірювань у верхньому і нижньому шарах центрифугату та обчислене середнє значення; дату випробування.

Контрольні запитання

1. Якого типу емульсії утворюються у нафтотехнологічних процесах?
2. Поясніть механізм дії деемульгаторів.
3. Поясніть механізм старіння нафтових емульсій.
4. Як оцінити ефективність дії деемульгаторів під час деемульсації сирих нафт?
5. Які речовини називають поверхнево-активними?
6. Які типи ПАР ви знаєте?
7. Які речовини входять до складу промислових деемульгаторів?
8. Що таке агрегативна та кінетична стійкість?
9. У чому відмінність справжньої та уявної стійкості ПАР?
10. Для яких нафтопродуктів можливе визначення справжньої стійкості?
11. Як можна регулювати кінетичну стійкість нафтової дисперсної системи (НДС)?
12. Яке практичне значення має чинник стабільності для НДС?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ВИПРОБУВАННЯ МОТОРНОГО ПАЛИВА НА МІДНІЙ ПЛАСТИНЦІ

Мета роботи: визначити корозійну агресивність елементарної сірки, сірководню та меркаптанів, які є у паливі, випробуванням його дії на мідну пластинку згідно з ГОСТ 6321.

Прилади та реактиви

Пластинки з електролітної міді марки М0 чи М1 ГОСТ 859 розмірами 40 мм × 10 мм × 2 мм; шкурка шліфувальна згідно з ГОСТ 6456 або ГОСТ 5009; термометри типу ТТМ; термостат, що забезпечує температуру 50+2 °С; спирт етиловий ректифікований згідно з ГОСТ 18300; суміш спиртотолуольна у співвідношенні 1 : 1 за об'ємом; чаша випарна фарфорова згідно з ГОСТ 9147; щипці або пінцет з нержавіючої сталі або нікельовані; вата гігроскопічна; папір фільтрувальний згідно з ГОСТ 12026; пробірки скляні зовнішнім діаметром 17 + 1 мм заввишки 150 + 5 мм; пробки коркові.

Хід роботи

1. Відшліфуйте мідну пластинку наждачним папером. Протріть ватою, промийте спиртом та висушіть фільтрувальним папером. Не торкайтеся руками свіжовідшліфованої поверхні.

2. Налийте 10 $см^3$ випробовуваного палива через паперовий фільтр у пробірку.

3. Пінцетом опустіть у паливо підготовлену пластинку, закоркуйте пробірку пробкою.

4. Помістіть пробірку з випробовуваним паливом та мідною пластинкою у нагріту водяну баню. Рівень води в бані має бути вищим за рівень палива у пробірці не менше ніж на 30 мм.

5. Витримайте паливо протягом 3 годин за таких температур: реактивне за (100±1) °С; решту – за температури (50 ± 2) °С.

6. Витягніть пінцетом пластинку, промийте у фарфоровій чашці ацетоном або спиртобензольною сумішшю, висушіть на фільтрувальному папері.

7. Порівняйте пластинку зі свіжовідшліфованою, що є еталоном.

8. Для кожного зразка нафтопродукту проводять два паралельні випробування. Якщо після досліду мідна пластинка хоча б в одній із паралельних проб покрилася чорним, темно-коричневим або сіро-стальним нальотом і плямами, то нафтопродукт вважається таким, що не витримав випробування, і бракується.

9. Проводять класифікацію потемніння відповідно до таблиці 9.1.

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мету роботи; хід роботи; одержані результати та висновки про наявність чи відсутність активних сполук сірки в нафтопродукті за зміною кольору мідної пластинки; дату випробування.

Таблиця 9.1 – Класифікація еталонів для визначення ступеня корозії

Класифікація	Ступінь корозії	Опис кольору еталонів
Свіжовідшліфована пластинка	–	–
1	Незначне потьмяніння	а) світло-помаранчевий; майже такого ж кольору, як і свіжошліфована пластинка; б) темно-оранжевий
2	Помірне потьмяніння	а) темно-червоний; б) блідо-ліловий; в) багатобарвний; лілувато-синій (та/або), темно-червоний зі срібним нальотом; г) сріблястий; д) латунно-жовтий або золотистий
3	Сильне потьмяніння	а) пурпурно-червоний, нанесений на пластинку латунно-жовтого кольору; б) багатобарвний з червоним або зеленим відтінком (переливчастий), але не сірий
4	Корозія	а) прозоро-чорний, темно-сірий або коричневий з ледь помітним переливчасто-зеленим кольором; б) колір графіту або тьмяно-чорний; в) блискуче-чорний

Контрольні запитання

1. Які сірчисті сполуки входять до складу нафти та нафтопродуктів?
2. Який вплив мають сірчисті сполуки на якість нафтопродуктів, на процес їхньої переробки?
3. У чому сутність методу визначення вмісту загальної сірки спалюванням у трубці?
4. Яка будова приладу для визначення вмісту загальної сірки?
5. У яких умовах моторні палива не витримують випробування на мідній пластинці?
6. Як видаляють сірчисті сполуки з нафтопродуктів?
7. Який клас ступеня корозії на мідній пластинці повинне мати паливо, щоб воно не впливало на метал ємностей, трубопроводів тощо?
8. Класифікація нафти за вмістом сірки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИЗНАЧЕННЯ ЗОЛЬНОСТІ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ

Мета роботи: визначення зольності нафтопродуктів, що полягає у спалюванні наважки випробовуваного нафтопродукту за допомогою ґноту з паперового знезоленого фільтра з наступним прожарюванням твердого залишку за температури 775 ± 25 °С до постійної ваги.

Апаратура, матеріали та реактиви

Тиглі або чаші випарні: фарфорові згідно з ГОСТ 9147, із прозорого кварцового скла згідно з ГОСТ 7300, ГОСТ 19908 або платини згідно з ГОСТ 5015; плитка електрична; електропіч типу СНОЛ з електронним регулятором температури, що забезпечує робочу температуру 775±25 °С; мілівольтметр згідно з ГОСТ 9736 у комплекті з термопарою ХА згідно з ГОСТ 6616; ексикатор згідно з ГОСТ 6371; щипці тигельні; підставки з дроту або фарфорових трубок; фільтри знезолені паперові діаметром 9–11 см з відомою масою золи одного фільтра; кальцій хлористий плавлений згідно з ГОСТ 4460 або гранульований згідно з ГОСТ 4161.

Хід роботи

1. Чистий сухий тигель доведіть до постійної маси. Для цього прожарте його в електропечі за температури 775 ± 25 °С протягом 10 хвилин і, давши протягом 5 хвилин охолонути на повітрі, перенесіть в ексикатор.

Після охолодження в ексикаторі протягом 30 хвилин зважте тигель з точністю до 0,0002 г. Прожарювання, охолодження та зважування повторіть до отримання розбіжності між двома послідовними зважуваннями не більше 0,000 4 г.

2. У тигель помістіть знезолений паперовий фільтр так, щоб він щільно прилягав до дна та стінок тигля.

3. Пробу випробовуваного зразка ретельно перемішайте 5-хвилинним струшуванням склянки, заповненої не більше ніж на 2/3 ємності.

4. Тигель з фільтром зважте з точністю до 0,01 г і візьміть у нього наважку випробовуваного зразка залежно від гаданої зольності (табл. 10.1).

5. Візьміть другий знезолений фільтр, складіть його вдвічі й далі у вигляді конуса. Верхню частину конуса на відстані 5–10 мм від верху відріжте (цей фільтр виконуватиме роль ґнота). Згорнутий у вигляді конуса фільтр опустіть у тигель з наважкою зразка основою вниз, щоб він стояв стійко, закриваючи більшу частину поверхні нафтопродукту.

6. Після того як ґніт просочиться випробовуваним нафтопродуктом, його потрібно підпалити. Спалювання наважки робіть до отримання сухого вуглистого залишку, стежте за тим, щоб полум’я під час горіння було рівним і спокійним. Високов’язкі та високопарафінисті зразки одночасно зі спалюванням підігрівають на електроплитці.

Таблиця 10.1 – Точність зважування проби від значення зольності

Зольність,%	Маса проби, г	Точність зважування, г
До 0.02	100	0.1
0.02–0.1	20	0.1
0.1–0.5	10	0.05
0.5–2	5	0.02
Понад 2	1	0.005

7. Тигель з вуглистим залишком перенесіть у муфель, нагрітий до (775 ± 25 °С), і витримайте за цієї температури протягом 1,5–2 годин до повного озолення залишку.

8. Після озолення тигель охолодіть протягом 5 хв на повітрі, а потім – в ексикаторі протягом 30 хв, зважте з точністю до 0,000 2 г і знову перенесіть у муфель на 30 хв. Прожарювання, охолодження та зважування повторіть до отримання розбіжностей між двома послідовними зважуваннями не більше 0,000 4 г.

Опрацювання результатів

Масову частку золи X (%) у випробовуваному зразку обчисліть за формулою:

$$X = \frac{M_1 - M_2 - M_3}{M} \cdot 100,$$

де M_1 – маса тигля із золою, г; M_2 – маса тигля, г; M_3 – маса золи паперових фільтрів (береться на етикетці на фільтрі), г; M – маса випробовуваного зразка, г.

Звіт про лабораторну роботу має містити такі відомості: мету роботи; хід роботи; одержані результати визначень зольності нафтопродуктів; дату випробування.

Контрольні запитання

1. Як доводять тигель до постійної маси?
2. Яку наважку випробовуваного зразка потрібно взяти для визначення в ньому масової частки золи (у відсотках)?
3. Як одержують сухий вуглистий залишок?
4. Яка послідовність роботи з визначення зольності після отримання вуглистого залишку?
5. Яка допускається розбіжність між двома послідовними зважуваннями при визначенні зольності, щоб вважати, що тигель доведено до постійної маси?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ОЦІНКА ЯКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ НАЙПРОСТІШИМИ МЕТОДАМИ

Мета і завдання. Ознайомитися з найпростішими методами визначення наявності води, механічних домішок, фактичних смол і ненасичених вуглеводнів у нафтопродуктах і оцінка в'язкості мастил.

Ознайомитися з обладнанням і матеріалами, що використовуються під час проведення цієї лабораторної роботи.

Уміти визначити якість нафтопродукту найпростішими методами.

Навчитися порівнювати результати випробувань з вимогами ДСТУ і давати висновки щодо можливості використання нафтопродуктів в об'єктах сільськогосподарської техніки.

Лабораторне обладнання і матеріали

Електроплитка. Сферичне скло. Пробірки лабораторні. Палички скляні.

Папір фільтрувальний. Склянка хімічна. Зразки нафтопродуктів. Секундомір. Розчин марганцевокислого калію (0,001N).

Хід виконання роботи

Визначення води і механічних домішок

Про наявність води і механічних нерозчинних домішок у нафтопродукті судять із зовнішньому огляду зразка в посуді з безбарвного скла.

За кольором палива можна визначити наявність у ньому етилової рідини, тому що етиловані бензини штучно забарвлюють у червоний, синій, зелений та інші кольори, щоб попередити про їхню отруйність.

Не етильовані бензини безбарвні (бензини прямої перегонки) чи злегка жовті (крекінг-бензини); керосини і дизельні палива – світло-жовтого кольору. Чим темніший колір палива, тим більше міститься в ньому смол і тим гірша його якість.

Прозорі нафтопродукти мають однорідну фазову структуру. Порушення фазової однорідності викликає помутніння нафтопродукту, у них найчастіше містяться дрібні крапельки води.

Для визначення води і механічних домішок у паливі випробовуваний зразок перемішують, у кількості 100 $см^3$ наливають у спеціальний відстійник. У нижній вузькій частині відстійника є поділки. Паливу дають відстоятися протягом години. Вода і механічні домішки, як більш важкі за питомою вагою, скупчуються в нижній частині відстійника. Цей дослід можна проробити в пляшці з безбарвного скла. Відстій палива роблять, перевертаючи закупорену пляшку горловиною вниз.

Для визначення води в оливі пробу в кількості 2–3 $см^3$ поміщають у пробірку й обережно нагрівають. За наявності води відбувається спінювання зразка, чутно характерне потріскування, на верхній холодній частині пробірки скупчуються дрібні крапельки сконденсованої води.

Для визначення механічних домішок пробу оливи підігрівають до 40–50 °С, ретельно перемішують і скляною паличкою наносять краплю оливи на фільтрувальний папір і на скло. При розгляданні краплі оливи на просвіт механічні домішки чітко помітні у вигляді окремих вкраплень або темних підтьоків.

Визначити характер домішок (абразивні вони чи ні) можна в такий спосіб: нанесену на скло краплю нафтопродукту закривають другим склом і переміщують їх одну відносно одної. Характерний скрип свідчить про наявність у зразку абразивних домішок.

Визначення фактичних смол

Випробовуваний бензин у кількості 1 мл наносять піпеткою на сферичне скло діаметром 50–60 мм. Бензин підпалюють і дають йому повністю вигоріти, залишок на склі покаже смолистість бензину.

Бензини, що не містять смол, залишають невелику слабо помітну білувату пляму. Якщо в бензині містяться смоли, то на склі залишаються крапельки жовтого чи коричневого кольору. Чим більше смол міститься в бензині, тим темніша пляма і тим більший її діаметр. Вимірявши діаметр плями лінійкою, за таблицею 11.1 приблизно визначаємо вміст смол у 100 мл палива.

Таблиця 11.1 – Визначення фактичних смол від діаметр плями.

Діаметр плями, мм	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Кількість смол, що містяться в 100 мл палива	4	11	20	32	43	56	70	85	102	120

Визначення ненасичених вуглеводнів

Ненасичені вуглеводні вступають у реакції окислювання, утворюючи при цьому оксиди, органічні кислоти і смоли. Палива, що містять ненасичені вуглеводні, довго не зберігаються.

Наявність ненасичених вуглеводнів перевіряється знебарвленням водного розчину марганцевокислого калію $KMnO_4$ (концентрація розчину 0,001/N). Для цього в пробірку наливають 3–4 мл досліджуваного палива і таку ж кількість водного розчину марганцевокислого калію. Суміш ретельно перемішуємо протягом 1–2 хв і даємо відстоятися протягом 4–5 хв. Якщо ненасичених вуглеводнів у паливі немає, то рожево-фіолетовий колір окислювача не змінюється.

За наявності в паливі ненасичених вуглеводнів фіолетовий колір водного шару окислювача переходить у бурий чи темно-жовтий.

Визначення в’язкості оливи

Досліджувану оливу заливають у скляну пробірку діаметром близько 10 мм, завдовжки 20–25 см, залишивши зверху об’єм повітря заввишки 5–6 мм, і закривають пробкою. Пробірку з досліджуваною оливою разом із двома-трьома пробірками з еталонними оливами (тобто оливами з відомою в’язкістю) поміщають на 10 хв у склянку з гарячою водою (50–60 °С), щоб оливи мали однакову температуру.

Трубки дістають з води і тримають вертикально, щоб повітря в них було вгорі, потім їх швидко й одночасно перевертають і засікають за секундоміром час руху кульки повітря у досліджуваній та в еталонній оливі. У скільки разів час руху кульки повітря у досліджуваній оливі більший чи менший, ніж в еталонній, у стільки разів буде більшою чи меншою його в’язкість.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВОДИ В ДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ

Мета і завдання. Освоїти метод кількісного визначення вмісту води в нафтопродукті, виконавши аналіз проби палива.

Ознайомитися з обладнанням, освоїти технологію проведення лабораторної роботи. Вивчити конструкцію і режим роботи приладів. Навчитися працювати з приладом і визначати кількість води в нафтопродуктах.

Лабораторне обладнання і матеріали

Прилад згідно з ГОСТ 2477-65. Електроплитка. Проба дизельного палива. Бензин А-92 або А-95,

Хід виконання роботи

Наявність води в дизельному паливі не допускається. У холодну пору року внаслідок замерзання води в паливі паливна апаратура забивається кристалами льоду, що призводить до перебоїв у роботі або зупинки двигуна. Крім того, вода підвищує корозійні властивості палива і порушує нормальну роботу двигуна.

Кількість води визначається перегонкою нафтопродукту з розчинником. Розчинником є чистий бензин без вмісту води.

Випробовуване паливо, добре перемішане, заливають у скляну колбу (1) (рис. 12.1) у кількості 50 $см^3$, стільки ж наливають і розчинника (бензину). У колбу кладуть 2–3 шматочки пористої речовини (пемзи) для рівномірного кипіння. Колбу з’єднують із градуйованим приймачем-відстійником.

Потім приєднують до відстійника зворотний холодильник (3) і нагрівають колбу. Пари бензину і вода через холодильник конденсуються і стікають по стінках холодильника у приймач-відстійник (2). Вода, як більш важка, збирається в нижній його частині. Нагрівання колби продовжують, поки кількість води у відстійнику не перестане збільшуватися.

Кількість відігнаної води відлічують за поділками, нанесеними на приймачі-відстійнику. Відстійник градуйовано на 10 $см^3$, причому від 0 $см^3$ до 10 $см^3$ градуювання нанесено через 0,1 $см^3$.

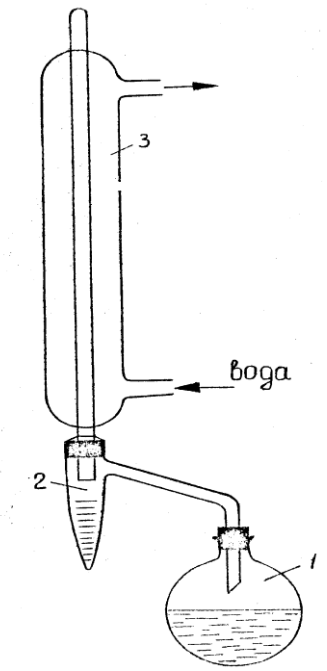

Рисунок 12.1 – Прилад для визначення вмісту води в дизельному паливі (згідно з ГОСТ 2477-65):
1 – скляна колба; 2 – приймач-відстійник; 3 – холодильник

Підрахунок води роблять у відсотках від об’єму і маси нафтопродукту. Якщо кількість води менша половини нижньої поділки 0,025 $см^3$, то вона вважається слідами.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

ТЕМПЕРАТУРА СПАЛАХУ ТА ЗАСТИГАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

Мета і завдання. Освоїти методику визначення температури спалаху та застигання нафтопродукту дизельного палива.

Ознайомитися з обладнанням, освоїти методику проведення лабораторної роботи. Вивчити конструкцію і режим роботи обладнання.

Лабораторне обладнання і матеріали

Прилад згідно з ГОСТ 6356-75. Термометри. Електроплитка. Пробка для пробірки з отвором для термометра. Лабораторний автотрансформатор. Посудина для охолоджувальної суміші. Зразки дизельного палива. Пробірка діаметром 20±1 мм. Секундомір. Проба дизельного палива. Лід або сніг. Сіль кухонна.

Хід виконання роботи

Визначення температури спалаху дизельного палива

Температурою спалаху нафтопродукту називається та температура, за якої спалахує суміш, що складається з парів палива і повітря, якщо піднести до неї джерело відкритого вогню. Температура спалаху дає уявлення про наявність у паливі легких складових і, отже, дає змогу робити висновок про їхню випаровуваність і втрати під час зберігання, а також показує однорідність і вогненебезпечність палива.

Температуру спалаху дизельних палив спостерігаємо в закритому тиглі (рис. 13.1), що складається з металевої ванни (1), установленої на триніжку, резервуара (тигля) (2), кришки з рухомою заслінкою (3), термометра (4), мішалки (5) та запалювального пристрою (6).

Резервуар наповнюємо до риски випробовуваним паливом, закриваємо кришкою і встановлюємо у ванну, розташовану на електронагрівачі. Під час нагрівання паливо перемішуємо мішалкою. За температури 7–10 °С до очікуваної температури спалаху відкриваємо заслінку і в центральний отвір занурюємо запалювальний пристрій. Кришка має три отвори: центральний, у який підводиться полум’я запалювального пристрою, і два крайні, через які в резервуар надходить повітря, необхідне для утворення пальної суміші.

Дослід продовжуємо доти, поки температура палива не підніметься до значення, за якого на його поверхні з’явиться синювате полум’я парів, що спалахнули. Ця температура зазначається в звіті як температура спалаху в закритому тиглі.

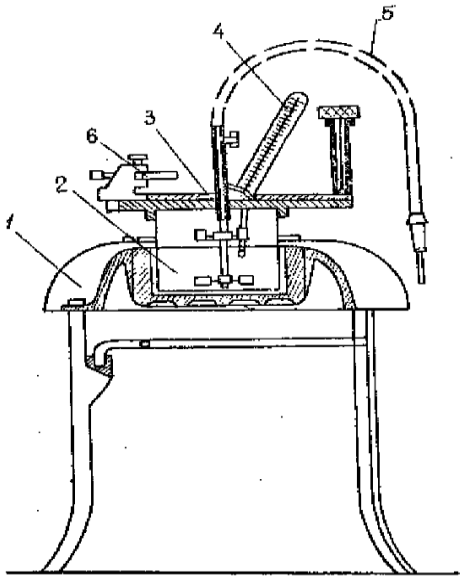

Рисунок 13.1 – Прилад для визначення температури спалаху нафтопродукту в закритому тиглі:
1 – металева ванна; 2 – тигель; 3 – кришки з рухомою заслінкою; 4 – термометр; 5 – мішалка; 6 – запалювальний пристрій

Визначення температури помутніння і застигання дизельного палива

Температура помутніння – це температура, за якої відбувається випадання з палива кристалів парафіну, що раніше були в ньому в розчиненому стані. Температурою застигання називається температура, за якої паливо втрачає свою рухливість.

В експлуатації більш важливою є температура помутніння палива, тому що кристали парафіну, що виділяються, порушують роботу паливного насоса, значно збільшують в'язкість палива, забивають паливні фільтри і призводять до припинення подавання палива. Температура застигання нафтопродуктів має велике значення під час транспортування, зберігання і застосування палива.

Від температури застигання палива багато в чому залежить можливість пуску холодного двигуна. Температуру застигання визначають за допомогою приладу (рис. 13.2), що складається з пробірки (2) зі вставленим у неї термометром (4). У пробірку заливають 2 $см^3$ палива і закривають термометром із пробкою, ртутна кулька якого має бути посередині шару нафтопродукту.

Пробірку у вертикальному положенні занурюють в охолоджену суміш, що складається зі снігу і кухонної солі.

Під час охолодження палива відзначають візуально момент початку помутніння і застигання. За температуру застигання приймають ту температуру, за якої паливо гусне настільки, що, коли нахилити пробірку під кутом 45^0, рівень його залишатиметься в нахиленому положенні протягом однієї хвилини.

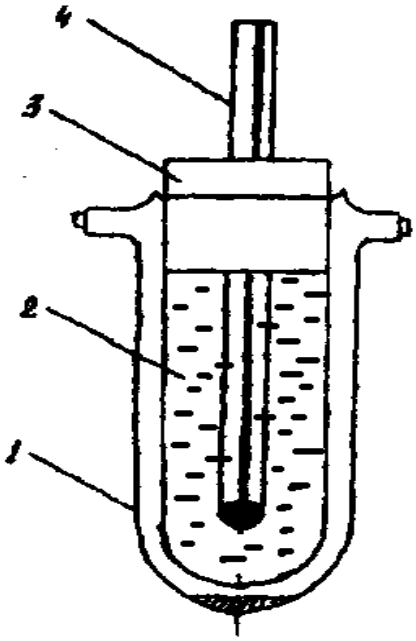

Рисунок 13.2 – Прилад для визначення температури помутніння та застигання
1 – корпус ; 2 – пробірка; 3 – пробка; 4 – термометр

Контрольні запитання

1. Яким найпростішим способом можна оцінити в’язкість оливи?
2. Що розуміють під втратою на випаровування палива під час визначення фракційного складу і як вона визначається?
3. Що називається паливом? Класифікація палив.
4. Які експлуатаційні вимоги ставляться до палив для карбюраторних двигунів?
5. Як визначити характер ненасичених вуглеводнів у паливі?
6. Чому не допускається наявність у нафтопродуктах водорозчинних кислот і лугів?
7. Які чинники сприяють виникненню детонації?
8. Поясніть фізичні й хімічні властивості нафтових вуглеводнів.
9. Які індикатори використовують під час визначення кислот і лугів у нафтопродуктах?
10. Що таке пускова фракція палива?
11. Що називається цетановим числом і що воно характеризує?
12. Які елементи входять до горючої й не горючої частин палива?
13. Як визначити наявність води і механічних домішок у паливі?
14. Як визначається температура початку та кінця кипіння палива?
15. Що називається температурою помутніння і застигання?
16. Поясніть фізичні й хімічні властивості ароматичних вуглеводнів.
17. Як вимірюють густину високов’язких нафтопродуктів?
18. Що таке пускова фракція палива і чим вона формується?
19. Що розуміють під вищою і нижчою теплотою згоряння?

20. Яким вимогам має відповідати паливо?

21. Як визначити наявність води та механічних домішок в оливі?

22. Чому при вимірюванні густини нафтопродуктів береться температурна поправка?

23. Поясніть суть теорії мінерального походження нафти.

24. Які вуглеводні входять до складу бензину?

25. Як можна визначити наближено кількість смол, що міститься в паливі?

26. Про що свідчить підвищена температура википання 96 % палива?

27. Поясніть фізичні й хімічні властивості парафінових і нормальних вуглеводнів, ізопарафінів.

28. Що таке октанове число? У чому сутність моторного і дослідного методів визначення октанового числа?

29. Як визначають наявність кислот і лугів у нафтопродуктах?

30. Які точки кривої фракційної розгонки є характерними?

31. Що називається крекінгом? Види крекінгу.

32. Що таке депарафінізація?

33. Як відрізнити наявні в оливі механічні домішки абразивного характеру від неабразивних?

34. Що називається густиною речовини? Що розуміють під відносною густиною?

35. Назвіть основні хімічні елементи, що входять до складу палив, вкажіть приблизний вміст у відсотках.

36. Поясніть суть теорії органічного походження нафти.

37. Що таке нафта? Які види переробки нафти ви знаєте?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ КАРТЕРНОЇ ОЛИВИ ЗА МЕТОДОМ ПАПЕРОВОЇ ХРОМАТОГРАФІЇ

Мета і завдання. Ознайомитися з визначенням ступеня забруднення, ступеня окислення і спрацювання мийної присадки оливи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) за методом паперової хроматографії. Зробити визначення для зразка, взятого з картера двигуна.

Ознайомитися з обладнанням, освоїти технологію проведення лабораторної роботи. Вивчити конструкцію і режим роботи приладів.

Уміти визначати ступінь забруднення, ступінь окислення і ступінь спрацьовування мийної присадки картерної оливи в умовах сільськогосподарського виробництва і зробити висновок щодо придатності оливи до подальшого використання чи щодо потреби її заміни.

Лабораторне обладнання і матеріали

Піпетка. Тигель фарфоровий низький № 6. Чашка з кришкою типу ЧВ. Шматок дроту діаметром 1,5–2 мм. Перфорована пластина з плексигласу. Паперові фільтри. Бензин А-95. Зразки оливи.

Хід виконання роботи

Паперовий фільтр закріпити скріпкою на перфорованій пластині так, щоб отвір пластини розташовувався під центром фільтра.

З ретельно перемішаної проби картерної оливи налити в тигель 50–100 мл оливи, з якої відібрати піпеткою пробу для аналізу (без бульбашок повітря). Піпеткою нанести краплю оливи в центр паперового фільтра і залишити фільтр, закріплений на перфорованій пластині № 1, на 1 годину висихати.

Другу пробу оливи нагріти в тиглі до робочої температури оливи в двигуні, наприклад, до 80 °С. В оливу занурити шматок дроту, першій краплі дати стекти, а другу внести в центр паперового фільтра, закріпленого на другій перфорованій пластині № 2, і залишити на 1 годину висихати. Під час практичного використання цієї методики олива наноситься на фільтр прямо з картера гарячого двигуна за допомогою щупа. Після виконання цих операцій можна починати вивчення наведеного нижче матеріалу.

Крапля відпрацьованої оливи, взята з картера ДВЗ, через 1–2 години після нанесення на фільтрувальний папір (паперовий фільтр) утворить пляму, що складається з чотирьох зон (рис. 14.1).

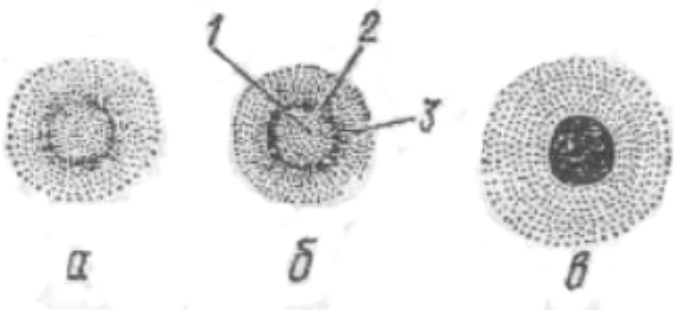

Рисунок 14.1 – Метод крапельної проби:
а – незабруднена олива; б – помірна забрудненість; в – істотна забрудненість

1 зона – центральна чи ядро. У ядрі збираються нерозчинні в оливі частки (вуглеводневі – сажа та ін. продукти зносу деталей ДВЗ, пил з атмосфери). Залежно від кількості й розмірів нерозчинених часток колір ядра змінюється від сірого чи світло-коричневого до чорного. Чим темніше ядро, тим дужче забруднена олива. Коли колір ядра стає темно-коричневим або чорним, як крапля чорнила на папері, оливу потрібно замінити.

2 зона – кільце з нерозчинених продуктів, оточує ядро у вигляді темнішого обідка.

3 зона – дифузії або розсіювання, випливає за обідком і характеризує диспергувальну здатність оливи. Цю зону мають оливи, що утримують у завислому стані органічні частки діаметром менше 0,5 мкм. Наявність цієї зони свідчить про вміст в оливі диспергувальної присадки.

4 зона – прозора, просочена оливою, вільною від домішок. Жовтуватий колір зони вказує на окислення оливи. При сильному окисленні 4 зона має темно-жовтий чи навіть темно-коричневий відтінок. За наявності в оливі дизельного палива за 4 зоною випливає світлий обідок.

Через годину після нанесення краплі зняти фільтр з перфорованої пластини № 1 і двічі його надрізати по радіусу до краю масляної плями, щоб одержати смужку завширшки 10–15 мм. Смужку відігнути біля краю плями на 90° у бік плями і фільтр покласти плямою в середину на чашку типу ЧВ, наповнену на $^3/_4$ бензином так, щоб відігнута смужка фільтра занурилася в бензин, і накрити кришкою.

Через 30 хв, коли бензин вимиє оливу, фільтр вийняти, просушити на повітрі й порівняти візуально інтенсивність забарвлення в одержаної плями із забарвленням еталонних плям.

Набір еталонних плям виготовляється в лабораторії. Кожна пляма-еталон має відомий вміст механічних домішок у вихідній пробі оливи.

Пророоблені операції з першим фільтром становлять сутність хроматографічного методу наближеного визначення вмісту механічних домішок у картерній оливі.

Через годину після нанесення краплі на другий фільтр робиться висновок щодо придатності оливи до подальшого використання.

1. Якщо ширина світлого обідка, що випливає за зоною 4, значна, оливу потрібно замінити, тому що вона дуже розріджена паливом і має знижену в'язкість і знижену температуру спалаху.

2. У разі забарвлення зони 4 у коричневий чи темно-коричневий колір оливу варто замінити.

3. За наявності в центрі ядра більш світлої ділянки в оливі наявна вода.

4. Якщо ядро чорного чи темно-коричневого кольору, оливу потрібно замінити.

5. Професор К. К. Папок запропонував оцінювати мийні та диспергувальні властивості відпрацьованої оливи коефіцієнтом:

$$K = \frac{D}{d}, \tag{14.1}$$

де D – діаметр усієї масляної плями, мм;

d – діаметр ядра, мм.

Найвищі мийні властивості в оливі, що має К = 1. Оливи без присадок мають К ≥ 3.

Пророблені операції з другим фільтром становлять сутність хроматографічного методу визначення ступеня забруднення і ступеня окислення картерної оливи, запропонованого професором К. К. Папоком. Аналогічну методику використання «масляної плями» для контролю змащення двигунів розроблено у французькому нафтовому інституті й опубліковано 1967 року. Автори роботи використовували параметр, що характеризує мийні властивості оливи такого вигляду:

$$1 - \frac{1}{K^2} = 1 - \frac{d^2}{D^2}. \tag{14.2}$$

Доведено, що, $(1 - \frac{d^2}{D^2}) \leq 0{,}3$ – вказує на незадовільні мийні властивості картерної оливи автотракторного дизеля.

Необхідною умовою визначення зміни диспергувальних та мийних властивостей моторних олив із присадкою є **систематичний** контроль.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПЛАВЛЕННЯ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ

Мета і завдання. Ознайомитися з методикою визначення температури плавлення пластичних мастил. Визначити її для запропонованого зразка мастила і перевірити відповідність її ДСТ.

Ознайомитись з обладнанням, освоїти технологію проведення лабораторної роботи. Вивчити конструкцію та режими роботи приладів.

Навчитися працювати з приладом Уббелоде, вміти приблизно визначати температуру плавлення пластичного мастила в умовах сільськогосподарського виробництва.

Лабораторне обладнання і матеріали

Прилад Уббелоде. Зразки пластичних мастил. Склянка хімічна. Вода водопровідна. Електроплитка.

Хід виконання роботи

Пластичні мастила становлять мазеподібні продукти, що складаються з мінеральних олив (машинні, веретенні), загущених милами (солями вищих жирних кислот) або твердими вуглеводнями. Як загущувачів найбільш поширене використання кальцієвих та натрієвих сортів мила.

Сфера використання пластичних мастил дуже широка. Вони застосовуються у вузлах тертя, що працюють з великими питомими навантаженнями і малими швидкостями, у ресорах, підшипниках кочення коліс автомобілів і тракторів, у системах керування і т. д. Нині нафтова промисловість випускає понад 60 марок пластичних мастил, що за сферою застосування поділяються на універсальні та спеціальні. Найбільше поширення мають універсальні мастила, що зменшують тертя між переміщуваними деталями, захищають їх від корозії та створюють ущільнення. При маркуванні універсальних мастил, наприклад УС, перша буква означає сферу застосування (універсальна), друга – температуру плавлення (середньоплавка).

Мастила за температурою плавлення поділяються на три групи:

УН – низько плавка, температура плавлення – до 55 °С;

УС – середньо плавка, температура плавлення – до 100 °С;

УТ – тугоплавка, температура плавлення вище 100 °С.

У сільському господарстві широко використовуються солідоли: це – мінеральні оливи, загущені кальцієвими милами. Солідоли – вологостійкі мастила, що добре працюють у вологому середовищі.

З низькоплавких мастил використовується УН-1 (технічний вазелін), застосовується для консервації деталей і приладів.

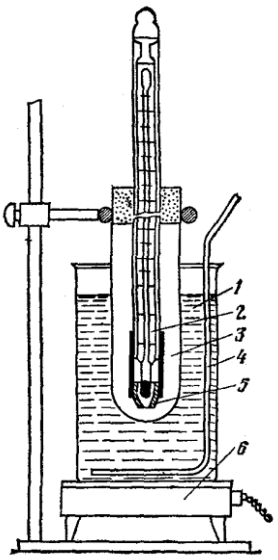

Рисунок 15.1 – Прилад для визначення температури краплепадіння Уббелоде:
1 – склянка; 2 – термометр; 3 – пробірка; 4 – мішалка; 5– чашечка;
6 – електроплитка

Температура плавлення чи краплепадіння – це та температура, за якої мастило з пластичного (напівтвердого) стану переходить у рідкий. Щоб забезпечити надійність змащування деталей, їхня робоча температура має бути на 10–15 °С нижчою за температуру плавлення використовуваного мастила. Визначення температури плавлення виконується за допомогою приладу Уббелоде (рис. 15.1), що складається з термометра (2) і чашечки (5) з отвором, крізь який виділяється розплавлене мастило.

Мастило шпателем щільно вмазують у металеву чашечку так, щоб не було повітряних кульок. У чашечку вставляють термометр і поміщають на корковій пробці в широку пробірку (3), встановлену в склянку (1) з водою. Воду в склянці повільно нагрівають. Під час досліду визначають дві температури:

– краплеутворення, коли з нижнього отвору з’явиться крапля;
– краплепадіння, коли крапля відривається і падає на дно пробірки.

Отже, розрізняють дві температури: краплеутворення і краплепадіння, які записують у звіт.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Кустовська А. Д. Альтернативні палива : підручник / А. Д. Кустовська, С. В. Іванов, Є. О. Бережний ; Національний авіаційний університет. – Київ : НАУ-друк, 2014. – 624 с.

2. Бойченко С. В. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів : навч. посіб. / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, В. Ф. Новикова ; Національний авіаційний університет. – Київ : НАУ-друк, 2012. – 316 с.

3. Хіммотологія : електронний підручник [Електрон. ресурс] : / С. В. Бойченко, В. І. Терьохін, В. Ф. Новікова та ін. ; Національний авіаційний університет. – Електрон. текст. дані. – Київ : Національний авіаційний університет, 2020. – 184 с. – Режим доступу: https://dspace.nau.edu.ua/handle/NAU/42353./, вільний (дата звернення: 20.03.2023). – Назва з екрана.

4. Братичак М. М. Хімія нафти та газу : навч. посіб. / М. М. Братичак, В. М. Гунько ; Національний університет «Львів. політехніка» – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2017. – 448 с.

5. Топільницький П. І. Дослідження не йоногенних деемульгаторів різної будови на штучних нафтових емульсіях : навч. посіб. / П. І. Топільницький, Ю. В. Голич, В. В. Романчук ; Національний університет «Львів. політехніка». – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2017. – 148 с.

6. Білецький В. С. Основи нафтогазової інженерії : підручник / В. С. Білецький, В. Д. Орловський, В. Г. Вітрик ; Нац. техн. університет «Харків. політех. ін-т» – Полтава : Видавництво ТОВ «АСМІ», 2018. – 415 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А (довідковий)

Коефіцієнт для приведення об’єму повітря (газу) до температури 20 ºС й тиску 101,325 кПа (760 мм рт. ст.) та густини до умов досліду

Тем-ра, °С	*K* за тиску, кПа (мм рт. ст.)									
	97,32 (730)	97,458 (731)	97,5 (732)	97,7 (733)	97,8 (734)	97,9 (735)	98,125 (736)	98,2 (737)	98,3 (738)	98,5 (739)
10,0	0,994 4	0,995 8	0,997 2	0,998 6	0,999 9	1,001 3	1,002 7	1,004 0	1,005 4	1,006 7
10,5	0,992 7	0,994 1	0,995 4	0,996 8	0,998 2	0,999 5	1,000 9	1,002 2	1,003 6	1,004 9
11,0	0,991 0	0,992 3	0,993 7	0,995 0	0,996 4	0,997 7	0,999 1	1,000 5	1,001 8	1,003 2
11,5	0,989 2	0,990 6	0,992 0	0,993 3	0,994 7	0,996 0	0,997 4	0,998 7	1,000 1	1,001 4
12,0	0,987 5	0,988 8	0,990 2	0,991 5	0,992 9	0,994 2	0,995 6	0,996 9	0,998 3	0,999 6
12,5	0,985 7	0,987 1	0,988 5	0,989 8	0,991 2	0,992 6	0,993 9	0,995 2	0,996 6	0,997 9
13,0	0,984 0	0,985 4	0,986 7	0,988 1	0,989 4	0,990 8	0,992 1	0,993 5	0,994 8	0,996 2
13,5	0,982 3	0,983 7	0,985 0	0,986 4	0,987 7	0,989 0	0,990 4	0,991 7	0,993 1	0,994 4
14,0	0,980 6	0,982 0	0,983 3	0,984 6	0,986 0	0,987 3	0,988 7	0,990 0	0,991 4	0,992 7
14,5	0,978 9	0,980 2	0,981 6	0,982 9	0,984 3	0,985 6	0,987 0	0,988 3	0,989 6	0,991 0
15,0	0,977 2	0,978 5	0,979 9	0,981 2	0,982 6	0,983 9	0,985 2	0,986 6	0,987 9	0,989 2
15,5	0,975 5	0,976 8	0,978 2	0,979 5	0,980 9	0,982 2	0,983 5	0,984 9	0,986 2	0,987 5
16,0	0,973 8	0,975 2	0,976 5	0,977 8	0.979 2	0,980 5	0,981 8	0,983 1	0,984 5	0,985 8
16,5	0,972 1	0,973 5	0,974 8	0,976 2	0,977 5	0.978 8	0,980 1	0,981 5	0,982 8	0,984 1
17,0	0,970 4	0,971 0	0,973 1	0,974 4	0,975 8	0,977 1	0,978 4	0,979 8	0,981 1	0,982 4
17,5	0,968 8	0,970 1	0,971 5	0,972 8	0,974 1	0,975 4	0,976 8	0,978 1	0,979 4	0,980 7
18,0	0,967 1	0,968 5	0,969 8	0,971 1	0,972 4	0,973 7	0,975 1	0,976 4	0,977 7	0,979 0
18,5	0,965 5	0,966 8	0,968 1	0,969 4	0,970 8	0,972 1	0,973 4	0,974 7	0,976 1	0,977 4
19,0	0,963 8	0,965 1	0,966 5	0,967 8	0,969 1	0,970 4	0,971 7	0,973 0	0,974 4	0,975 7
19,5	0,962 2	0,963 5	0,964 8	0,966 1	0,967 5	0,968 8	0,970 1	0,971 4	0,972 7	0,974 0
20,0	0,960 5	0,961 8	0,963 2	0,964 5	0,965 8	0,967 1	0,968 4	0,969 7	0,971 1	0,972 4
20,5	0,958 9	0,960 2	0,961 5	0,962 8	0,964 2	0,965 5	0,966 8	0,968 1	0,969 4	0,970 7
21,0	0,957 2	0,958 6	0,959 9	0,961 2	0,962 5	0,963 8	0,965 1	0,966 4	0,967 8	0,969 0
21,5	0,955 6	0,956 9	0,958 8	0,959 6	0,960 9	0,962 2	0,963 5	0,964 8	0,966 1	0,967 4
22,0	0,954 0	0,955 3	0,956 6	0,957 9	0,959 3	0,960 5	0,961 9	0,963 2	0,964 5	0,965 8
22,5	0,952 4	0,953 7	0,955 0	0,956 3	0,957 6	0,958 9	0,960 2	0,961 5	0,962 8	0,964 1
23,0	0,950 8	0,952 1	0,953 4	0,954 7	0,956 0	0,957 3	0,958 6	0,959 9	0,961 2	0,962 5
23,5	0,949 2	0,950 5	0,951 8	0,953 1	0,954 4	0,955 7	0,957 0	0,958 3	0,959 6	0,960 9
24,0	0,947 6	0,948 9	0,950 2	0,951 5	0,952 8	0,954 1	0,955 4	0,956 7	0,958 0	0,959 3
24,5	0,946 0	0,947 3	0,948 6	0,949 9	0,951 2	0,952 5	0,953 8	0,955 1	0,956 4	0,957 6
25,0	0,944 4	0,945 7	0,947 0	0,948 3	0,949 6	0,950 9	0,952 2	0,953 5	0,954 8	0,956 0
25,5	0,942 8	0,944 1	0,945 4	0,946 7	0,948 0	0,949 3	0,950 6	0,951 9	0,953 2	0,954 4
26,0	0,941 2	0,942 5	0,943 8	0,945 1	0,946 4	0,947 7	0,949 0	0,950 3	0,951 6	0,952 8
26,5	0,939 7	0,941 0	0,942 3	0,943 5	0,944 8	0,946 1	0,947 4	0,948 7	0,950 0	0,951 3
27,0	0,938 1	0,939 4	0,940 7	0,942 0	0,943 3	0,944 5	0,945 8	0,947 1	0,948 4	0,949 7
27,5	0,936 5	0,937 8	0,939 1	0,940 4	0,941 7	0,943 0	0,944 3	0,945 5	0,946 8	0,948 1
28,0	0,935 0	0,936 3	0,937 6	0,938 8	0,940 1	0,941 4	0,942 7	0,944 0	0,945 2	0,946 5
28,5	0,933 4	0,934 7	0,936 0	0,937 3	0,938 6	0,939 8	0,941 1	0,942 4	0,943 7	0,944 9
29,0	0,931 9	0,933 2	0,934 5	0,935 7	0,937 0	0,938 3	0,939 6	0,940 8	0,942 1	0,943 4
29,5	0,930 3	0,931 6	0,932 9	0,934 2	0,935 5	0,936 7	0,938 0	0,939 3	0,940 6	0,941 8
30,0	0,928 8	0,930 1	0,931 4	0,932 6	0,933 9	0,935 2	0,936 5	0,937 7	0,939 0	0,940 3

T, °C	*K* за тиску, кПа (мм рт. ст.)									
	98,658 (740)	98,792 (741)	98,925 (742)	99,058 (743)	99,192 (744)	99,325 (745)	99,458 (746)	99,592 (747)	99,725 (748)	99,858 (749)
10,0	1,008 1	1,009 4	1,010 8	1,012 2	1,013 5	1,014 9	1,016 3	1,017 6	1,019 0	1,020 4
10,5	1,006 3	1,007 7	1,009 0	1,010 4	1,011 7	1,013 1	1,014 5	1,015 8	1,017 2	1,018 6
11,0	1,004 5	1,005 9	1,007 3	1,008 6	1,010 0	1,011 3	1,012 7	1,014 0	1,015 4	1,016 8
11,5	1,002 8	1,004 1	1,005 5	1,006 9	1,008 2	1,009 6	1,010 9	1,012 3	1,013 6	1,015 0
12,0	1,001 0	1,002 4	1,003 7	1,005 1	1,006 4	1,007 8	1,009 1	1,010 5	1,011 8	1,013 2
12,5	0,999 3	1,000 6	1,002 0	1,003 3	1,004 7	1,006 0	1,007 4	1,008 7	1,010 1	1,011 4
13,0	0,997 5	0,998 8	1,000 2	1,001 6	1,002 9	1,004 3	1,005 6	1,007 0	1,008 3	1,009 7
13,5	0,995 8	0,997 1	0,998 5	0,999 8	1,001 2	1,002 5	1,003 8	1,005 2	1,006 5	1,007 9
14,0	0,994 0	0,995 4	0,996 7	0,998 1	0,999 4	1,000 8	1,002 1	1,003 4	1,004 8	1,006 1
14,5	0,992 3	0,993 6	0,995 0	0,996 3	0,997 7	0,999 0	1,000 3	1,001 7	1,003 0	1,004 4
15,0	0,990 6	0,991 9	0,993 3	0,994 6	0,995 9	0,997 3	0,998 6	1,000 0	1,001 3	1,002 6
15,5	0,988 9	0,990 2	0,991 5	0,992 9	0,994 2	0,995 6	0,996 9	0,998 2	0,999 5	1,000 9
16,0	0,987 2	0,988 5	0,989 8	0,991 2	0,992 5	0,993 8	0,995 2	0,996 5	0,997 8	0,999 2
16,5	0,985 5	0,986 8	0,988 1	0,989 5	0,990 8	0,992 1	0,993 4	0,994 8	0,996 1	0,997 4
17,0	0,983 8	0,985 1	0,986 4	0,987 8	0,989 1	0,990 4	0,991 7	0,993 1	0,994 4	0,995 7
17,5	0,982 1	0,983 4	0,984 7	0,986 1	0,987 4	0,988 7	0,990 0	0,991 4	0,992 7	0,994 0
18,0	0,980 4	0,981 7	0,983 0	0,984 4	0,985 7	0,987 0	0,988 3	0,989 7	0,991 0	0,992 3
18,5	0,978 7	0,980 0	0,981 3	0,982 7	0,984 0	0,985 3	0,986 6	0,988 0	0,989 3	0,990 6
19,0	0,977 0	0,978 3	0,979 7	0,981 0	0,982 3	0,983 6	0,984 9	0,986 3	0,987 6	0,988 9
19,5	0,975 4	0,976 6	0,978 0	0,979 3	0,980 6	0,981 9	0,983 2	0,984 6	0,985 9	0,987 2
20,0	0,973 7	0,975 0	0,976 3	0,977 6	0,978 9	0,980 3	0,981 6	0,982 9	0,984 2	0,985 5
20,5	0,972 0	0,973 3	0,974 7	0,976 0	0,977 3	0,978 6	0,979 9	0,981 2	0,982 5	0,983 9
21,0	0,970 4	0,971 7	0,973 0	0,974 3	0,975 6	0,976 9	0,978 2	0,979 6	0,980 9	0,982 2
21,5	0,968 7	0,970 0	0,971 3	0,972 7	0,974 0	0,975 3	0,976 6	0,977 9	0,979 2	0,980 5
22,0	0,967 1	0,968 4	0,969 7	0,971 0	0,972 3	0,973 6	0,974 9	0,976 2	0,977 5	0,978 8
22,5	0,965 4	0,966 7	0,968 1	0,969 4	0,970 7	0,972 0	0,973 3	0,974 6	0,975 9	0,977 2
23,0	0,963 8	0,965 1	0,966 4	0,967 7	0,969 0	0,970 3	0,971 6	0,972 9	0,974 2	0,975 5
23,5	0,962 2	0,963 5	0,964 8	0,966 1	0,967 4	0,968 7	0,970 0	0,971 3	0,972 6	0,973 9
24,0	0,960 6	0,961 9	0,963 2	0,964 5	0,965 8	0,967 1	0,968 4	0,969 7	0,970 9	0,972 3
24,5	0,959 0	0,960 2	0,961 5	0,962 9	0,964 1	0,965 4	0,966 7	0,968 0	0,969 3	0,970 6
25,0	0,957 3	0,958 6	0,959 9	0,961 2	0,962 5	0,963 8	0,965 1	0,966 4	0,967 7	0,969 0
25,5	0,955 7	0,957 0	0,958 3	0,959 6	0,960 9	0,962 2	0,963 5	0,964 8	0,966 1	0,967 4
26,0	0,954 1	0,955 4	0,956 7	0,958 0	0,959 3	0,960 6	0,961 9	0,963 2	0,964 4	0,965 8
26,5	0,952 6	0,953 8	0,955 1	0,956 4	0,957 7	0,959 0	0,960 3	0,961 6	0,962 8	0,964 1
27,0	0,951 0	0,952 2	0,953 5	0,954 8	0,956 1	0,957 4	0,958 7	0,960 0	0,961 2	0,962 5
27,5	0,949 4	0,950 6	0,951 9	0,953 2	0,954 5	0,955 8	0,957 1	0,958 4	0,959 6	0,960 9
28,0	0,947 8	0,949 1	0,950 4	0,951 7	0,952 9	0,954 2	0,955 5	0,956 8	0,958 0	0,959 3
28,5	0,946 2	0,947 5	0,948 8	0,950 1	0,951 3	0,952 6	0,953 9	0,955 2	0,956 5	0,957 7
29,0	0,944 7	0,945 9	0,947 2	0,948 5	0,949 8	0,951 1	0,952 3	0,953 6	0,954 9	0,956 2
29,5	0,943 1	0,944 4	0,945 7	0,946 9	0,948 2	0,949 5	0,950 7	0,952 0	0,953 3	0,954 6
30,0	0,941 6	0,942 8	0,944 1	0,945 4	0,946 6	0,947 9	0,949 2	0,950 5	0,951 7	0,953 0

T°C	*K* за тиску, кПа (мм рт. ст.)									
	99,992 (750)	100,125 (751)	100,258 (752)	100,391 (753)	100,525 (754)	100,658 (755)	100,791 (756)	100,925 (757)	100,058 (758)	101,191 (759)
10,0	1,021 7	1,023 1	1,024 5	1,025 8	1,027 2	1,028 5	1,029 9	1,031 2	1,032 6	1,034 0
10,5	1,019 9	1,021 3	1,022 6	1,024 0	1,025 4	1,026 7	1,028 1	1,029 4	1,030 8	1,032 1
11,0	1,018 1	1,019 5	1,020 8	1,022 2	1,023 6	1,024 9	1,026 3	1,027 6	1,029 0	1,030 3
11,5	1,016 3	1,017 7	1,019 1	1,020 4	1,021 8	1,023 1	1,024 5	1,025 8	1,027 2	1,028 5
12,0	1,014 5	1,015 9	1,017 3	1,018 6	1,020 0	1,021 3	1,022 7	1,024 0	1,025 4	1,026 7
12,5	1,012 7	1,014 1	1,015 5	1,016 8	1,018 2	1,019 5	1,020 9	1,022 2	1,023 6	1,024 9
13,0	1,011 0	1,012 3	1,013 7	1,015 0	1,016 4	1,017 7	1,019 1	1,020 4	1,021 8	1,023 1
13,5	1,009 2	1,010 6	1,011 9	1,013 3	1,014 6	1,016 0	1,017 3	1,018 6	1,020 0	1,021 3
14,0	1,007 5	1,008 8	1,010 2	1,011 5	1,012 9	1,014 2	1,015 5	1,016 9	1,018 2	1,019 5
14,5	1,005 7	1,007 1	1,008 4	1,009 7	1,011 1	1,012 4	1,013 8	1,015 1	1,016 5	1,017 8
15,0	1,004 0	1,005 3	1,006 7	1,008 0	1,009 3	1,010 7	1,012 0	1,013 3	1,014 7	1,016 0
15,5	1,002 2	1,003 6	1,004 9	1,006 2	1,007 6	1,008 9	1,010 3	1,011 6	1,012 9	1,014 2
16,0	1,000 5	1,001 8	1,003 2	1,004 5	1,005 8	1,007 2	1,008 5	1,009 8	1,011 2	1,012 5
16,5	0,998 8	1,000 1	1,001 5	1,002 8	1,004 1	1,005 4	1,006 8	1,008 1	1,009 4	1,010 7
17,0	0,997 0	0,998 4	0,999 7	1,001 0	1,002 4	1,003 7	1,005 0	1,006 3	1,007 7	1,009 0
17,5	0,995 3	0,996 7	0,998 0	0,999 3	1,000 7	1,002 0	1,003 3	1,004 6	1,006 0	1,007 3
18,0	0,993 6	0,994 9	0,996 3	0,997 6	0,998 9	1,000 2	1,001 6	1,002 9	1,004 2	1,005 5
18,5	0,991 9	0,993 2	0,994 6	0,995 9	0,997 2	0,998 5	0,999 9	1,001 2	1,002 5	1,003 8
19,0	0,990 2	0,991 5	0,992 9	0,994 2	0,995 5	0,996 8	0,998 2	0,999 5	1,000 8	1,002 1
19,5	0,988 5	0,989 8	0,991 2	0,992 5	0,993 8	0,995 1	0,996 4	0,997 7	0,999 1	1,000 4
20,0	0,986 8	0,988 2	0,989 5	0,990 8	0,992 1	0,993 4	0,994 7	0,996 0	0,997 4	0,998 7
20,5	0,985 1	0,986 5	0,987 8	0,989 1	0,990 4	0,991 7	0,993 0	0,994 3	0,995 7	0,997 0
21,0	0,983 5	0,984 8	0,986 1	0,987 4	0,988 7	0,990 0	0,991 4	0,992 7	0,994 0	0,995 3
21,5	0,981 8	0,983 1	0,984 4	0,985 7	0,987 1	0,988 4	0,989 7	0,991 0	0,992 3	0,993 6
22,0	0,980 1	0,981 5	0,982 8	0,984 1	0,985 4	0,986 7	0,988 0	0,989 3	0,990 6	0,991 9
22,5	0,978 5	0,979 8	0,981 1	0,982 4	0,983 7	0,985 0	0,986 3	0,987 6	0,988 9	0,990 2
23,0	0,976 8	0,978 1	0,979 5	0,980 7	0,982 1	0,983 3	0,984 7	0,985 9	0,987 3	0,988 5
23,5	0,975 2	0,976 5	0,977 8	0,979 1	0,980 4	0,981 7	0,983 0	0,984 3	0,985 6	0,986 9
24,0	0,973 5	0,974 8	0,976 2	0,977 4	0,978 8	0,980 0	0,981 3	0,982 6	0,983 9	0,985 2
24,5	0,971 9	0,973 2	0,974 5	0,975 8	0,977 1	0,978 4	0,979 7	0,981 0	0,982 3	0,983 6
25,0	0,970 3	0,971 6	0,972 9	0,974 2	0,975 5	0,976 7	0,978 1	0,979 3	0,980 6	0,981 9
25,5	0,968 6	0,969 9	0,971 3	0,972 5	0,973 8	0,975 1	0,976 4	0,977 7	0,979 0	0,980 3
26,0	0,967 0	0,968 3	0,969 6	0,970 6	0,972 2	0,973 5	0,974 8	0,976 1	0,977 4	0,978 6
26,5	0,965 4	0,966 7	0,968 0	0,969 3	0,970 6	0,971 9	0,973 2	0,974 4	0,975 7	0,977 0
27,0	0,963 8	0,965 1	0,966 4	0,967 7	0,969 0	0,970 2	0,971 5	0,972 8	0,974 1	0,975 4
27,5	0,962 2	0,963 5	0,964 8	0,966 1	0,967 4	0,968 6	0,969 9	0,971 2	0,972 5	0,973 7
28,0	0,960 6	0,961 9	0,963 2	0,964 5	0,965 7	0,967 0	0,968 3	0,969 6	0,970 9	0,972 1
28,5	0,959 0	0,960 3	0,961 6	0,962 9	0,964 1	0,965 4	0,966 7	0,968 0	0,969 3	0,970 5
29,0	0,957 4	0,958 7	0,960 0	0,961 3	^0,962 5	0,963 8	0,965 1	0,966 4	0,967 6	0,968 9
29,5	0,955 8	0,957 1	0,958 4	0,959 7	0,961 0	0,962 2	0,963 5	0,964 8	0,966 0	0,967 3
30,0	0,954 3	0,955 5	0,956 8	0,958 1	0,959 4	0,960 6	0,961 9	0,963 2	0,964 5	0,965 7

T °C	*K* за тиску, кПа (мм рт. ст.)									
	101,32 (760)	101,45 (761)	101,591 (762)	101,72 (763)	101,858 (764)	101,99 (765)	102,125 (766)	102,258 (767)	102,391 (768)	(769)
10,0	1,035 3	1,036 7	1,038 1	1,039 4	1,040 8	1,042 2	1,043 5	1,044 9	1,046 2	1,047 6
10,5	1,033 5	1,034 9	1,036 2	1,037 6	1,038 9	L040 3	1,041 7	1,043 0	1,044 4	1,045 7
11,0	1,031 7	1,033 1	1,034 4	1,035 8	1,037 1	1,038 5	1,039 8	1,041 2	1,042 5	1,043 9
11,5	1,029 9	1,031 2	1,032 6	1,034 0	1,035 3	1,036 7	1,038 0	1,039 4	1,040 7	1,042 1
12,0	1,028 1	1,029 4	1,030 8	1,032 1	1,033 5	1,034 8	1,036 2	1,037 5	1,038 9	1,040 2
12,5	1,026 3	1,027 6	1,029 0	1,030 9	1,031 7	1,033 0	1,034 4	1,035 7	1,037 1	1,038 4
13,0	1,024 5	1,025 8	1,027 2	1,028 5	1,029 9	1,031 2	1,032 6	1,033 9	1,035 2	1,036 6
13,5	1,022 7	1,024 0	1,025 4	1,026 7	1,028 1	1,029 4	1,030 8	1,032 1	1,033 4	1,034 8
14,0	1,020 9	1,022 3	1,023 6	1,024 9	1,026 3	1,0276	1,029 0	1,030 3	1,031 6	1,033 0
14,5	1,019 1	1,020 5	1,021 8	1,023 2	1,024 5	1,025 8	1,027 2	1,028 5	1,029 8	1,031 2
15,0	1,017 4	1,018 7	1,020 0	1,021 4	1,022 7	1,024 1	1,025 4	1,026 7	1,028 1	1,029 4
15,5	1,015 6	1,016 9	1,018 3	1,019 6	1,020 9	1,022 3	1,023 6	1,025 0	1,026 3	1,027 6
16,0	1,013 8	1,015 2	1,016 5	1,017 9	1,019 2	1,020 5	1,021 8	1,023 2	1,024 5	1,025 8
16,5	1,012 1	1,013 4	1,014 7	1,016 1	1,017 4	1,018 8	1,020 1	1,021 4	1,022 7	1,024 1
17,0	1,010 3	1,011 7	1,013 0	1,014 3	1,015 7	1,017 0	1,018 3	1,019 7	1,021 0	1,022 3
17,5	1,008 6	1,009 9	1,011 3	1,012 6	1,013 9	1,015 2	1,016 6	1,017 9	1,019 2	1,020 6
18,0	1,006 9	1,008 2	1,009 5	1,010 9	1,012 2	1,013 5	1,014 8	1,016 2	1,017 5	1,018 8
18,5	1,005 1	1,006 5	1,007 8	1,009 3	1,010 4	1,011 8	1,013 1	1,014 4	1,015 7	1,017 0
19,0	1,003 4	1,004 8	1,006 1	1,007 4	1,008 7	1,010 0	1,011 3	1,012 7	1,014 0	1,015 3
19,5	1,001 7	1,003 0	1,004 3	1,0057	1,007 0	1,008 3	1,009 6	1,010 9	1,012 2	1,013 6
20,0	1,000 0	1,001 8	1,002 6	1,004 0	1,005 3	1,006 6	1,007 9	1,009 2	1,010 5	1,011 8
20,5	0,998 3	0,999 6	1,000 9	1,002 2	1,003 5	1,004 9	1,006 2	1,007 5	1,008 8	1,010 1
21,0	0,996 6	0,997 9	0,999 2	1,000 5	1,001 8	1,003 2	1,004 5	1,005 8	1,007 1	1,008 4
21,5	0,994 9	0,996 2	0,997 5	0,998 8	1,000 1	1,001 5	1,002 8	1,004 1	1,005 4	1,006 7
22,0	0,993 2	0,994 5	0,995 8	0,997 2	0,998 4	0,999 8	1,001 1	1,002 4	1,003 7	1,005 0
22,5	0,991 5	0,992 9	0,994 1	0,995 5	0,996 8	0,998 1	0,999 4	1,000 7	1,002 0	1,003 3
23,0	0,989 9	0,991 2	0,992 5	0,993 8	0,995 1	0,996 3	0,997 7	0,999 0	1,000 3	1,001 6
23,5	0,988 2	0,989 5	0,990 8	0,992 1	0,993 4	0,994 7	0,996 0	0,997 3	0,998 6	0,999 9
24,0	0,986 5	0,987 8	0,989 1	0,990 4	0,991 7	0,993 0	0,994 3	0,995 6	0,996 9	0,998 2
24,5	0,984 9	0,986 2	0,987 5	0,988 8	0,990 1	0,991 4	0,992 6	0,993 9	0,995 2	0,996 5
25,0	0,983 2	0,984 5	0,985 8	0,987 1	0,988 4	0,989 7	0,991 0	0,992 3	0,993 6	0,994 9
25,5	0,981 6	0,982 9	0,984 2	0,985 5	0,986 7	0,988 0	0,989 3	0,990 6	0,991 9	0,993 2
26,0	0,979 9	0,981 2	0,982 5	0,983 8	0,985 1	0,986 4	0,987 7	0,989 0	0,990 2	0,991 5
26,5	0,978 3	0,979 6	0,980 9	0,982 2	0,983 4	0,984 7	0,986 0	0,987 3	0,988 6	0,989 9
27,0	0,976 7	0,978 0	0,979 2	0,980 5	0,981 8	0,983 1	0,984 4	0,985 7	0,986 9	0,988 2
27,5	0,975 0	0,976 3	0,977 6	0,978 9	0,980 2	0,981 5	0,982 7	0,984 0	0,985 3	0,986 6
28,0	0,973 4	0,974 7	0,976 0	0,977 3	0,978 5	0,979 8	0,981 1	0,982 4	0,983 7	0,985 0
28,5	0,971 8	0,973 1	0,974 4	0,975 7	0,976 9	0,978 2	0,979 5	0,980 8	0,982 0	0,983 3
29,0	0,970 2	0,971 5	0,972 7	0,974 0	0,975 3	0,976 6	0,977 8	0,979 1	0,980 4	0,981 7
29,5	0,968 6	0,969 9	0,971 1	0,972 4	0,973 7	0,975 0	0,976 2	0,977 5	0,978 8	0,980 1
30,0	0,967 0	0,968 3	0,969 5	0,970 8	0,972 1	0,973 4	0,974 6	0,975 9	0,977 2	0,978 4

T, °C	*K* за тиску, кПа (мм рт. ст.)										
	102,658 (770)	102,79 (771)	102,92 (772)	103,05 (773)	103,19 (774)	103,325 (775)	103,458 (776)	103,59 (777)	103,725 (778)	103,85 (779)	103,99 (780)
10,0	1,049 0	1,050 3	1,051 7	1,053 0	1,054 4	1,055 8	1,057 1	1,058 1	1,059 9	1,061 2	1,062 6
10,5	1,047 1	1,048 5	1,049 8	1,051 2	1,052 6	1,053 9	1,055 3	1,056 6	1,058 0	1,059 3	1,060 7
11,0	1,045 3	1,046 6	1,048 0	1,049 3	1,050 7	1,052 0	1,053 4	1,054 8	1,056 1	1,057 5	1,058 8
11,5	1,043 4	1,044 8	1,046 2	1,047 5	1,048 9	1,050 2	1,051 6	1,052 9	1,054 3	1,055 6	1,057 0
12,0	1,041 6	1,042 9	1,044 3	1,045 6	1,047 0	1,048 4	1,049 7	1,051 1	1,052 4	1,053 8	1,055 1
12,5	1,039 8	1,041 1	1,042 5	1,043 8	1,045 2	1,046 5	1,047 9	1,049 2	1,050 6	1,051 9	1,053 3
13,0	1,038 0	1,039 3	1,040 7	1,042 0	1,043 4	1,044 7	1,046 0	1,047 4	1,048 7	1,050 1	1,051 4
13,5	1,036 2	1,037 5	1,038 8	1,040 2	1,041 5	1,042 9	1,044 2	1,045 5	,046 9	1,048 1	1,049 6
14,0	1,034 4	1,035 7	1,037 0	1,038 4	1,039 7	1,041 0	1,042 4	1,043 7	1,045 1	1,046 4	1,047 8
14,5	1,032 6	1,033 9	1,035 2	1,036 6	1,037 9	1,039 2	1,040 6	1,041 9	1,043 3	1,0446	1,0459
15,0	1,030 8	1,032 1	1,033 4	1,034 8	1,036 1	1,037 4	1,038 8	1,040 1	1,041 5	1,042 8	1,044 1
15,5	1,029 0	1,030 3	1,031 6	1,033 0	1,034 3	1,035 6	1,037 0	1,038 3	1,039 7	1,041 0	1,042 3
16,0	1,027 2	1,028 5	1,029 9	1,031 2	1,032 5	1,033 8	1,035 2	1,036 5	1,037 9	1,039 2	1,040 5
16,5	1,025 4	1,026 7	1,028 1	1,029 4	1,030 7	1,032 1	1,033 4	1,034 7	1,036 1	1,037 4	1,038 7
17,0	1,023 7	1,025 0	1,026 3	1,027 6	1,029 0	1,030 3	1,031 6	1,032 9	1,034 3	1,035 6	1,036 9
17,5	1,021 9	1,023 2	1,024 5	1,025 9	1,027 2	1,028 5	1,029 8	1,031 3	1,032 5	1,033 8	1,035 1
18,0	1,020 1	1,021 4	1,022 8	1,024 1	1,025 4	1,026 7	1.028 1	1,029 4	1,030 7	1,032 0	1,033 4
18,5	1,018 4	1,01.9 7	1,021 0	1,022 3	1,023 7	1,025 0	1,026 3	1,027 6	1,029 0	1,030 3	1,031 6
19,0	1,016 6	1,017 9	1,019 3	1,020 6	1,021 9	1,023 2	1,024 6	1,025 9	1,027 2	1,028 5	1,029 8
19,5	1,014 9	1,016 2	1,017 5	1,018 8	1,020 2	1,021 5	1,022 8	1,024 1	1,025 4	1,026 7	1,028 1
20,0	1,013 2	1,014 5	1,015 8	1,017 1	1,018 4	1,019 7	1,021 1	1,022 4	1,023 7	1,025 0	1,026 3
20,5	1,011 4	1,012 7	1,014 1	1,015 4	1,016 7	1,018 0	1,019 3	1,020 5	1,021 9	1,023 2	1,024 6
21,0	1,009 7	1,011 0	1,012 3	1,013 6	1,015 0	1,016 3	1,017 6	1,018 9	1,020 2	1,021 5	1,022 8
21,5	1,008 0	1,009 3	1,010 6	1,011 9	1,013 2	1,014 5	1,015 9	1,017 1	1,018 5	1,019 8	1,021 1
22,0	1,006 3	1,007 6	1,008 9	1,010 2	1,011 5	1,012 8	1,014 1	1,015 4	1,016 7	1,018 0	1,019 4
22,5	1,004 6	1,005 9	1,007 2	1,008 5	1,009 8	1,011 1	1,012 4	1,013 7	1,015 0	1,016 3	1,017 6
23,0	1,002 9	1,004 2	1,005 5	1,006 8	1,008 1	1,009 4	1,010 7	1,012 0	1,013 3	1,014 6	1,015 9
23,5	1,001 2	1,002 5	1,003 8	1,005 1	1,006 4	1,007 7	1,009 0	1,010 3	1,011 6	1,012 9	1,014 2
24,0	0,999 5	1,000 8	1,002 1	1,003 4	1,004 7	1,006 0	1,007 3	1,008 6	1,009 9	1,011 2	1,012 5
24,5	0,997 8	0,999 1	1,000 4	1,001 7	1,003 0	1,004 3	1,005 6	1,006 9	1,008 2	1,009 5	1,010 8
25,0	0,996 2	0,997 4	0,998 8	1,000 0	1,001 3	1,002 6	1,003 9	1,005 2	1,006 5	1,007 8	1,009 1
25,5	0,994 5	0,995 8	0,997 1	0,998 4	0,999 7	1,000 9	1,002 2	1,003 5	1,004 8	1,0061	1,007 4
26,0	0,992 8	0,994 1	0,995 4	0,996 7	0,998 0	0,999 3	1,000 6	1,001 8	1,003 1	1,004 4	1,005 7
26,5	0,991 2	0,992 5	0,993 8	0,995 0	0,996 3	0,997 6	0,998 9	1,000 2	1,001 5	1,002 7	1,004 0
27,0	0,989 5	0,990 8	0,992 1	0,993 4	0,994 7	0,995 9	0,997 2	0,998 5	0,999 8	1,001 1	1,002 4
27,5	0,987 9	0,989 2	0,990 4	0,991 7	0,993 0	0,994 3	0,995 6	0,996 8	0,998 1	0,999 4	1,000 7
28,0	0,986 2	0,987 5	0,988 8	0,990 1	0,991 4	0,992 6	0,993 9	0,995 2	0,996 5	0,997 7	0,999 0
28,5	0,984 6	0,985 9	0,987 2	0,988 4	0,989 7	0,991 0	0,992 3	0,993 5	0,994 8	0,996 1	0,997 4
29,0	0,983 0	0,984 2	0,985 5	0,986 8	0,988 1	0,989 3	0,990 6	0,991 9	0,993 2	0,994 4	0,995 7
29,5	0,981 4	0,982 6	0,983 9	0,985 2	0,986 4	0,987 7	0,989 0	0,990 2	0,991 5	0,992 8	0,994 1
30,0	0,979 7	0,981 0	0,982 3	0,983 5	0,984 8	0,986 1	0,987 4	0,988 6	0,989 9	0,991 2	0,992 4

ДОДАТОК Б (довідковий)

Перерахунок густини та відносної густини газу за різних умов температури і тиску 101,325 кПа

1. Густина газу за температури 20 ºС та 101,325 кПа перераховують на температури 0 та 15 ºС і тиск 101,325 кПа за формулами:

$$\rho_0 = \rho_{20} \cdot 1{,}073,$$
$$\rho_{15} = \rho_{20} \cdot 1{,}017\ 4,$$

де 1,073 та 1,017 4 – коефіцієнти перерахунку залежно від температури.

2. Відносну густину газу обчислюють за густиною газу за відповідних умов (температур 0, 15, 20 ºС і тиску 101,325 кПа) за формулами:

$$d_0 = \rho_0 : 1{,}292\ 9,$$
$$d_{l5} = \rho_{15} : 1{,}225\ 7,$$
$$d_{20} = P_{20} : 1{,}204\ 7,$$

де 1,292 9; 1,225 7 та 1,204 7 – густини сухого повітря відповідно за температур 0, 15 і 20 ºС та тиску 101,325 кПа, кг/м^3.

ДОДАТОК В (довідковий)

Таблиця В.1 – Виміряні значення *L*, *D*, *H* для кінематичної в’язкості

Кінематична в’язкість за 100 °С, мм^2/с	*L*	*D* = (*L* – *H*)	*H*
1	2	3	4
2,00	7,994	1,600	6,394
2,10	8,640	1,746	6,894
2,20	9,309	1,898	7,410
2,30	10,00	2,056	7,944
2,40	10,71	2,219	8,496
2,50	11,45	2,390	9,063
2,60	12,21	2,567	9,647
2,70	13,00	2,748	10,25
2,80	13,80	2,937	10,87
2,90	14,63	3,132	11,50
3,00	15,49	3,334	12,15
3,10	16,36	3,540	12,82
3,20	17,26	3,753	13,51
5,00	40,23	11,74	28,49
5,10	41,99	12,53	29,46
5,20	43,76	13,32	30,43
5,30	45,53	14,13	31,40
5,40	47,31	14,94	32,37
5,50	49,09	15,75	33,34
5,60	50,87	16,55	34,32
5,70	52,64	17,36	35,29
5,80	54,42	18,16	36,26
5,90	56,20	18,97	37,23
6,00	57,97	19,78	38,19
6,10	59,74	20,57	39,17
6,20	61,52	21,38	40,15
6,30	63,32	22,19	41,13
6,40	65,18	23,03	42,14
6,50	67,12	23,94	43,18
6,60	69,16	24,92	44,24
6,70	71,29	25,96	45,33
6,80	73,48	27,04	46,44
6,90	75,72	28,21	47,51
7,00	78,00	29,43	48,57
7,10	80,25	30,63	49,61
7,20	82,39	31,70	50,69
7,30	84,53	32,74	51,78

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4
7,40	86,66	33,79	52,88
7,50	88,85	34,87	53,98
7,60	91,04	35,94	55,09
7,70	93,20	37,01	56,20
7,80	95,43	38,12	57,31
7,90	97,72	39,27	58,45
8,00	100,0	40,40	59,60
8,10	102,3	41,57	60,74
8,20	104,6	42,72	61,89
8,30	106,9	43,85	63,05
8,40	109,2	45,01	64,18
8,50	111,5	46,19	65,32
8,60	113,9	47,40	66,48
8,70	116,2	48,57	67,64
8,80	118,5	49,75	68,79
8,90	120,9	50,96	69,94
9,00	123,3	52,20	71,10
9,10	125,7	53,40	72,27
9,20	128,0	54,61	73,42
9,30	130,4	55,84	74,57
9,40	132,8	57,10	75,73
9,50	135,3	58,36	76,91
9,60	137,7	59,60	78,08
9,70	140,1	60,87	79,27
9,80	142,7	62,22	80,46
9,90	145,2	63,54	81,67
10,0	147,7	64,86	82,87
10,1	150,3	66,22	84,08
10,2	152,9	67,56	85,30
10,3	155,4	68,90	86,51
10,4	158,0	70,25	87,72
10,5	160,6	71,63	88,95
10,6	163,2	73,00	90,19
10,7	165,8	74,42	91,40
10,8	168,5	75,86	92,65
10,9	171,2	77,33	93,92
11,0	173,9	78,75	95,19
11,1	176,6	80,20	96,45
11,2	179,4	81,65	97,71
11,3	182,1	83,13	98,97
11,4	184,9	84,63	100,2

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4
11,5	187,6	86,10	101,5
11,6	190,4	87,61	102,8
11,7	193,3	89,18	104,1
11,8	196,2	90,75	105,4
11,9	199,0	92,30	106,7
12,0	201,9	93,87	108,0
12,1	204,8	95,47	109,4
12,2	207,8	97,07	110,7
12,3	210,7	98,66	112,0
12,4	213,6	100,3	113,3
12,5	216,6	101,9	114,7
12,6	219,6	103,6	116,0
12,7	222,6	105,3	117,4
12,8	225,7	107,0	118,7
12,9	228,8	108,7	120,1
13,0	231,9	110,4	121,5
13,1	235,0	112,1	122,9
13,2	238,1	113,8	124,2
13,3	241,2	115,6	125,6
13,4	244,3	117,3	127,0
13,5	247,4	119,0	128,4
13,6	250,6	120,8	129,8
13,7	253,8	122,6	131,2
13,8	257,0	124,4	132,6
13,9	260,1	126,2	134,0
14,0	263,3	128,0	135,4
14,1	266,6	129,8	136,8
14,2	269,8	131,6	138,2
14,3	273,0	133,5	139,6
14,4	276,3	135,3	141,0
14,5	279,6	137,2	142,4
14,6	283,0	139,1	143,9
14,7	286,4	141,1	145,3
14,8	289,7	142,9	146,8
14,9	293,0	144,8	148,2
15,0	296,5	146,8	149,7
15,1	300,0	148,8	151,2
15,2	303,4	150,8	152,6
15,3	306,9	152,8	154,1
15,4	310,3	154,8	155,6
15,5	313,9	156,9	157,0

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4
15,6	317,5	158,9	158,6
15,7	321,1	161,0	160,1
15,8	324,6	163,0	161,6
15,9	328,3	165,2	163,1
16,0	331,9	167,3	164,6
16,1	335,5	169,4	166,1
16,2	339,2	171,5	167,7
16,3	342,9	173,7	169,2
16,4	346,6	175,8	170,7
16,5	350,3	178,1	172,3
16,6	354,1	180,3	173,8
16,7	358,0	182,5	175,4
18,8	441,5	232,3	209,3
18,9	445,7	234,7	211,0
19,0	449,9	237,3	212,7
19,1	454,2	239,8	214,4
19,2	458,4	242,3	216,1
19,3	462,7	245,0	217,7
19,4	467,0	247,6	219,4
19,5	471,3	250,2	221,7
19,6	475,7	252,9	222,8
19,7	479,7	255,2	224,5
19,8	483,0	257,8	226,2
19,9	488,6	260,9	227,7
20,0	493,2	263,7	229,5
20,2	501,5	268,5	233,0
20,4	510,8	274,4	236,4
20,6	519,9	279,8	240,1
20,8	528,8	285,3	243,5
21,0	538,4	291,3	247,1
21,2	547,5	296,8	250,7
21,4	556,7	302,6	254,2
21,6	566,4	308,6	257,8
21,8	575,6	314,1	261,5
22,0	585,2	320,2	264,9
22,2	595,0	326,4	268,6
22,4	604,3	332,0	272,3
22,8	624,1	344,5	279,6
23,0	633,6	350,3	283,3
23,2	643,4	356,6	286,8
23,4	653,8	363,3	290,5

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4
23,6	663,3	369,0	294,4
23,8	673,7	375,7	297,9
24,0	683,9	382,1	301,8
24,2	694,5	388,9	305,6
24,4	704,2	394,8	309,4
24,6	714,9	401,9	313,0
24,8	725,7	408,8	317,0
25,0	736,5	415,6	320,9
25,2	747,2	422,4	324,9
25,4	758,2	429,5	328,8
25,6	769,3	436,6	332,7
28,8	951,2	554,5	396,6
29,0	963,4	562,3	401,1
29,2	975,4	570,1	405,3
29,4	987,1	577,6	409,5
29,6	998,9	585,3	413,5
29,8	101 1	593,4	417,6
30,0	102 3	601,6	421,7
30,5	105 5	622,3	432,4
31,0	108 6	643,2	443,2
31,5	111 9	664,5	454,0
32,0	115 1	686,0	464,9
32,5	118 4	708,0	475,9
33,0	121 7	730,2	487,0
33,5	125 1	752,8	498,1
34,0	128 6	776,8	509,6
34,5	132 1	799,9	521,1
35,0	135 6	823,4	532,5
35,5	139 1	847,2	544,0
36,0	142 7	871,2	555,6
36,5	146 4	896,5	567,1
37,0	150 1	921,8	579,3
37,5	153 8	946,8	591,3
38,0	157 5	972,3	603,1
38,5	161 3	998,3	615,0
39,0	165 1	102 4	627,1
39,5	169 1	105 2	639,2
40,0	173 0	107 9	651,8
40,5	177 0	110 6	664,2
41,0	181 0	113 3	676,6
41,5	185 1	116 2	689,1

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4
42,0	189 2	119 1	701,9
42,5	193 5	122 0	714,9
43,0	197 8	125 0	728,2
43,5	202 1	128 0	741,3
44,0	206 4	131 0	754,4
44,5	210 8	134 0	767,6
45,0	215 2	137 1	780,9
45,5	219 7	140 3	794,5
46,0	224 3	143 4	808,2
46,5	228 8	146 6	821,9
47,0	233 3	149 8	835,5
47,5	238 0	153 0	849,2
48,0	242 6	156 3	863,0
48,5	247 3	159 6	876,9
49,0	252 1	163 0	890,9
49,5	257 0	166 5	905,3
50,0	261 8	169 9	919,6
50,5	266 7	173 3	933,6
51,0	271 7	176 9	948,2
51,5	276 7	180 4	962,9
52,0	281 7	183 9	977,5
52,5	286 7	187 5	992,1
53,0	291 8	191 1	100 7
53,5	296 9	194 7	102 1
54,0	302 0	198 4	103 6
54,5	307 3	202 2	105 1
55,0	312 6	206 0	106 6
55,5	318 0	209 8	108 2
56,0	323 3	213 6	109 7
56,5	328 6	217 4	111 2
57,0	334 0	221 3	112 7
57,5	339 6	225 3	114 3
58,0	345 2	229 3	115 9
58,5	350 7	233 2	117 5
59,0	356 3	237 2	119 0
59,5	361 9	241 3	120 6
60,0	367 6	245 4	122 2
60,5	373 4	249 6	123 8
61,0	379 2	253 8	125 4

Закінчення таблиці В.1

1	2	3	4
61,5	385 0	257 9	127 0
62,0	390 8	262 1	128 6
62,5	396 6	266 4	130 3
63,0	402 6	270 7	131 9
63,5	408 7	275 1	133 6
64,0	414 7	279 5	135 2
64,5	420 7	285 8	136 9
65,0	426 8	238 2	138 6
65,5	432 9	292 7	140 2
66,0	439 2	297 3	141 9
66,5	445 5	301 8	143 6
67,0	451 7	306 4	145 4
67,5	458 0	311 0	147 1
68,0	464 5	315 7	148 8
68,5	470 9	320 4	150 6
69,0	477 3	325 0	152 3
69,5	483 9	329 8	154 1
70,0	490 5	334 6	155 8

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ХІМІЯ НАФТИ І ГАЗУ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології)

Укладачі: **НЕСТЕРЕНКО** Сергій Вікторович,
ДОНСКОЙ Дмитро Федорович,
БУРОВА Марина Яківна

Відповідальний за випуск *І. С. Зайцева*
Редактор *О. В. Михаленко*
Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2021, поз. 176М

Підп. до друку 10.04.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 5,7.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.