

## Введение

### Объект исследования:

Масляные смазочно-охлаждающие жидкости.

### Актуальность работы:

При обработке металлов резанием на ряде операций (точение на многошпиндельных токарных автоматах, протягивание, сверление глубоких отверстий и др.) применяются масляные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) базовой основой которых является минеральное масло. В процессе эксплуатации этих жидкостей происходит их “старение”. При этом доминирующим фактором является процесс окисления, который происходит под действием кислорода воздуха и температуры.

С позиции теории цепных реакций общая схема реакции окисления углеводородов описывается следующими стадиями [7]:



Конечным продуктом окисления углеводородов являются органические кислоты, а также продукты конденсации и полимеризации кислот, образующиеся в виде осадков, растворимых и нерастворимых в масле. Накапливаясь в СОЖ, продукты окисления изменяют её физико-химические характеристики (вязкость, плотность, кислотное число и др.), что оказывает определяющее влияние на продолжительность эксплуатации жидкости [5]. Поэтому масляные СОЖ необходимо заменять в системах охлаждения станков через 3...6 месяцев [5], осуществляя периодический контроль следующих параметров: кинематическая вязкость, кислотное число, содержание серы и др. На практике контроль указанных параметров

осуществляется химико-аналитическими методами, для которых характерны высокие стоимость и трудоемкость. Альтернативой химико-аналитическим методам является метод оптической спектроскопии, который не имеет указанных недостатков. Однако использованию этого метода препятствует отсутствие аналитических зависимостей, описывающих взаимосвязь между физико-химическими и оптическими характеристиками масляных СОЖ.

### **Цель работы:**

Установление аналитических зависимостей между физико-химическими и оптическими характеристиками масляных СОЖ, имеющими место при их “старении”.

### **Постановка задачи:**

- 1) Дать классификацию современных типов СОЖ, описать их действия на процесс резания и современное производство масляных СОЖ;
- 2) Кратко изложить механизм “старения” масляных СОЖ;
- 3) Химико-аналитическими методами определить физико-механические свойства трёх марок масляных СОЖ;
- 4) Используя спектроскопический метод, исследовать оптический свойства трёх марок масляных СОЖ и установить аналитические зависимости между физико-химическими и оптическими характеристиками этих жидкости.

## **Содержание диссертации**

В первой главе рассмотрены СОЖ, используемые при обработке металлов резанием, указаны области их применения и действия, оказываемые на процессе резания.

Во второй главе рассмотрено современное производство масляных СОЖ, применяемых при обработке металле в резанием. Кратко изложен механизм “старения” масляных СОЖ.

В третьей главе рассмотрены методы очистки масляных СОЖ и область их применения.

В четвертой главе описана методика эксперимента и применяемые средства измерений.

В пятой главе представлены результаты экспериментального исследования, приведены аналитические зависимости между физико-химическими и оптическими характеристиками масляных СОЖ трёх марок.

В шестой главе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

В седьмой главе социальная ответственность.

## Глава 1. Смазочно-охлаждающие технологические средства, применяемые при резании металлов

Современные смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) - это сложные многокомпонентные системы, широко используемые в механообработке (рис.1.1). По агрегатному состоянию СОТС делятся на жидкие (смазочно-охлаждающая жидкость - СОЖ), твердые, пластичные и газообразные[4]. Из них СОЖ получили наибольшее применение при обработке металлов резанием.



Рис.1.1. Основные типы СОТС, применяемые при резании металлов

На процесс резания СОЖ оказывает смазывающее, охлаждающее, моющее и др. действия.

**Смазывающее действие СОЖ** состоит в уменьшении силы трения и вероятности появления адгезионных связей между инструментом, заготовкой и стружкой.

Смазывающее действие СОЖ проявляется при поступлении СОЖ в контактную зону между инструментом и заготовкой, которое происходит по следующим схемам (рис.1.2)[2]:

- а) через сеть капилляров между поверхностями заготовки и инструмента;
- б) через полости, возникающие при периодических срывах

нароста;

в) при нарушении сплошности контакта между поверхностями заготовки и инструмента , вызванного колебаниями;

г) путем диффузии через трещины и другие дефекты , возникающие при образовании стружки в процессе пластической деформации.

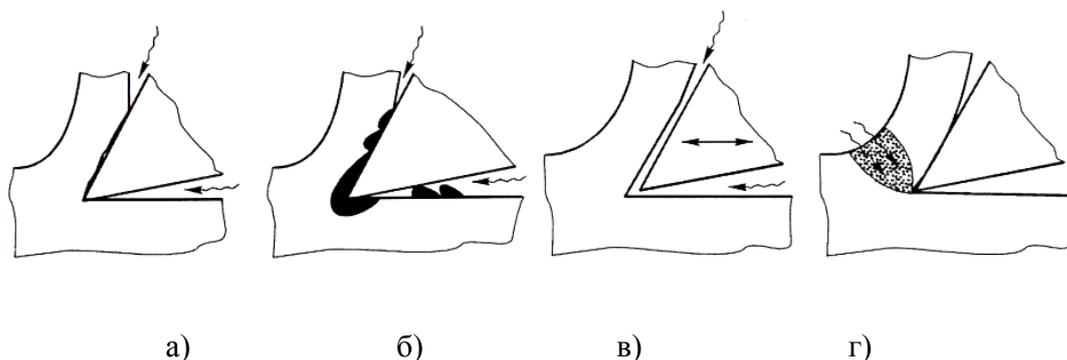


Рис.1.2. Схемы поступления СОЖ в контактную зону при резании  
(В.Н.Латышев):

а-через сеть капилляров между поверхностями заготовки и инструмента;

б-через полости, возникающие при периодических срывах нароста;

в-при нарушении сплошности контакта между поверхностями заготовки и инструмента , вызванного колебаниями;

г-путем диффузии через трещины и другие дефекты в стружке

Несмотря на то что, сети капилляров имеют малые размеры (1...4мкм), постоянное поступление ионов, молекул СОЖ и ее паров в контактную зону обеспечивается на низких и средних скоростях резания. При резании на высоких скоростях ( $v \geq 150$  м/мин) и с большими подачами условия, проникновения СОЖ ухудшаются при резком росте контактных давлений и температуры. При этом, смазочный материал поступает в зону резания в виде паров - продуктов разложения СОЖ.

Благодаря высокой реакционной способности новых,

свежеобразованных (ювенильных) поверхностей стружки и заготовки создаются, благоприятные условия для проникновения СОЖ. Этот процесс как насос притягивают молекулы и ионы смазывающих материалов. Проникающая способность СОЖ зависит от следующих факторов - размеров молекул и ионов, их способности адсорбироваться (концентрироваться) на трущихся поверхностях. Наибольшей проникающей способностью обладают ионы галогенов (хлор, брома, фтора, йода) и молекулы некоторых органических кислот (олеиновой, стеариновой и др.).

Смазывающее действие СОЖ выражается также в том, что на поверхностях трения образуют пленки. Они образуются за счет молекулярной адсорбции или - за счет химических реакций с вновь образуемыми поверхностями стружки и заготовки. Достоинствами этих тончайших пленок являются снижение силы трения, ослабление или экранирование адгезионного взаимодействия между инструментом, стружкой и заготовкой, а следовательно, снижение износа инструмента и уменьшение шероховатости обработанной поверхности.

Поэтому СОЖ, которые обладают повышенным смазывающим действием, используются на чистовых операциях осуществляются с малой скоростью резания. Например, при использовании инструментов с выглаживающими элементами, таких как сверла и развертки одностороннего резания. При этих условиях должны использоваться масляные СОЖ с противоизносными и противозадирными присадками (S, P), потому что водные эмульсии в этих случаях вызывают вибрацию.

***Охлаждающее действие СОЖ*** проявляется в интенсивном отводе тепла от наиболее нагретых поверхностей инструмента и заготовки из-за конвективного теплообмена, который связан с

движением жидкости и ее теплопроводностью. При этом, теплоотвод проявляется тем лучше, чем выше теплопроводность, удельная теплоемкость, смачиваемость и скорость ее движения через зону резания. Если выбирают правильные способы подвода СОЖ, то температуру резания можно снизить на 100...200°C.

**Моющее действие СОЖ** заключается в том, что в процессе резания, продукты износа инструмента и заготовки в виде твердых частиц карбидов, мелкой стружки и т.п. должны удаляться из зоны резания, потому что они могут усиливать абразивный износ инструмента и повышать шероховатость обработанной поверхности. Моющее действие улучшается за счет введения в СОЖ поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые уменьшают поверхностное натяжение жидкости, и тем самым улучшают моющее действие. Молекулы СОЖ обволакивают удаляемые частицы, препятствуя их слипанию и, тем самым, облегчают их удаление из зоны резания. С помощью моющего действия возможна обработка резанием хрупких материалов.

## Глава 2. Современное производство масляных СОЖ

При обработке материалов резанием на ряде операций применяют различные типы смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и, в частности, масляные жидкости. Последние представляют собой многокомпонентные системы, содержащие в качестве базовой основы нефтяное (минеральное) масло<sup>1</sup> вязкостью 2...40 мм<sup>2</sup>/с при 50°С и комбинации присадок различного функционального назначения: противоизносных, противозадирных, антифрикционных, противокоррозионных, антиокислительных, моющих, диспергирующих, противотуманных и антипенных [4,6]. Получают масляные СОЖ путём смешения присадок с базовым маслом при температурах, обеспечивающих их полное растворение.

Нефтяное масло имеет сложный химический состав и содержит предельные углеводороды - парафины (алканы), нафтеновые циклические углеводороды, ароматические углеводороды, асфальтены и различные примеси (металлы, соединения азота, кислорода серы и др.).

Сырьём для получения нефтяного масла служит нефть. При фракционной перегонке нефти выделяют следующие фракции: а) бензиновая (лёгкий бензин, бензин, лигроин); б) керосиновые (керосин, газойль); в) мазут (остаток перегонки). Мазут подвергают вакуумной перегонке и получают масляные дистилляты (соляровый, веретённый, машинный и др.). В остатке получают гудрон или полугудрон - тяжёлый масляный концентрат.

Масла, полученные из дистиллятов, называют дистиллятными, а из гудрона и полугудрона - остаточными. Для придания этим маслам

---

<sup>1</sup> Иногда в качестве основы масляных СОЖ используют отработанные моторные и промышленные масла, прошедшие регенерацию [1]. Использование синтетических масел в России не получило широкого применения из-за их дороговизны.

требуемых свойств их подвергают очистке [4,6]:

а) *Дистиллятные масла* обрабатывают селективными растворителями ( фенолом, фурфуролом, диоксидом серы и др.), депарафинизируют кетоноароматическими растворителями и доочищают адсорбционным методом или гидрогенизацией ;

б) *Остаточные масла* - деасфальтизируют, подвергают селективной очистке, депарафинизируют и доочищают как и дистиллятные масла.

*Деасфальтизация* осуществляется жидким пропаном или пропанобутановой смесью при давлении около 4 МПа и температуре 60...85°С с целью выделения из нефтяных остатков смолисто-асфальтеновых веществ и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

*Селективная очистка* состоит в разделении дистиллятных масел с помощью растворителей (фурфурол, н-метил-2-пирролидон, фенол, диоксид серы и др.) на базовое масло и экстракт (рафинад) с высоким содержанием смол и ПАУ, образующихся после выпаривания растворителя. Для этого дистиллятные и остаточные масляные фракции смешивают с избытком селективного растворителя при температуре 90...110°С.

Селективность (избирательность) растворителя по отношению к ароматическим соединениям является важной характеристикой процесса очистки. Особенно важна селективность к полициклическим ароматическим соединениям с тремя и более ароматическими кольцами в виду их канцерогенности.

*Депарафинизация* осуществляется путём кристаллизации парафина с последующим выделением последнего путём фильтрации. Для этого масла смешивают с растворителями при температуре около

60°C (кетоны: диметилкетон, метилэтилкетон; хлорированные углеводороды; смесь дихлорэтана с дихлорметаном), хорошо перемешивают и охлаждают в несколько стадий. Из получившейся массы выпадают кристаллы парафина. Осадок (смесь твёрдых углеводородов с примесью масла) отделяют на фильтрах или центрифугах.

*Гидрогенизация* оказывает существенное влияние на химические структуры молекул веществ, входящих в нефтяное масло:

- Происходит стабилизация отдельных молекул вследствие удаления гетероатомов (кислород, азот, сера);
- При глубокой гидрогенизации ароматические соединения могут быть превращены в насыщенные нафтеновые или парафиновые соединения.

Гидрогенизацией под высоким давлением по технологии фирмы BASF (Германия) получают технические белые масла, применяемые как основа некоторых марок СОЖ. При этом в качестве сырья используют нафтеновые или парафиновые вакуумные дистилляты селективной очистки или неочищенные вакуумные дистилляты.

Технические белые масла получают при температуре 300...380°C, давлении водорода 10...20 МПа и никель-молибденовом катализаторе.

Гидрокрекинг (каталитический крекинг в присутствии водорода) осуществляется в присутствии катализатора и водорода, подаваемого под давлением 5...20 МПа и температуре 350...450°C. При этом одновременно протекают несколько реакций: расщепление молекул углеводородов, их изомеризация и гидрирование. Избыток водорода подавляет побочные реакции полимеризации и коксования.

Важным преимуществом гидрокрекинга является его меньшая зависимость от качества сырой нефти. Базовые масла получаемые с помощью гидрокрекинга отличаются от масел получаемых селективной очисткой более низким содержанием ароматических веществ, высокой химической чистотой и низкой испаряемостью.

Очистка минеральных масел, выполненная с применением самых современных технологий не позволяет получать СОЖ требуемого качества. Обеспечить необходимые эксплуатационные характеристики жидкости удаётся только путём добавления к очищенному базовому маслу различных присадок.

## **2.1. Антиокислительные присадки (антиоксиданты).**

Окисление<sup>2</sup> базового масла происходит в результате реакций молекул масла с кислородом воздуха и термического разложения под действием температуры, возникающей в процессе резания. Результатом низкотемпературного ( $\leq 120^\circ\text{C}$ ) окисления являются пероксиды, спирты, альдегиды, кетоны и вода. В условиях высокотемпературного ( $> 120^\circ\text{C}$ ) окисления образуются карбоновые кислоты способствующие повышению кислотности масла. По мере дальнейшего окисления появляются высокомолекулярные соединения, повышающие вязкость масла и образующие в нём полимерные продукты в виде осадка или лакообразных отложений.

В качестве антиокислительных присадок применяют следующие соединения [4,6]:

- Фенольные (2,6-ди-трет-бутил-фенол, бутил-гидрокситолуол, 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол и др.);
- Ароматические (алкилированные дифениламины, N-фенилнафтиламин и др.);
- Содержащие серу и фосфор (дитиофосфат цинка, сложные три-эфиры);
- Серорганические (диалкилсульфиды, диарилсульфиды, полисульфиды, производные тиофенов и др.);
- Фосфорорганические (триарил и триалкилфосфаты).

## **2.2. Вязкостные (загущающие) присадки.**

Чаще всего требуемую вязкость СОЖ получают путём смешения жидкостей с соответствующими вязкостями. Однако у современных СОЖ требуемая вязкость получается только путём

---

<sup>2</sup> Окисление - главный фактор, определяющий период эксплуатации масляных СОЖ.

введения вязкостных присадок. В качестве последних используют полимерные соединения[4,6]:

- Олефиновые сополимеры;
- Полиалкилметакрилаты;
- Полиизобутены;
- Гидрогенизированные сополимеры стирол-изопрена;
- Гидрогенизированные бутадиенстирольные сополимеры.

### **2.3. Моюще-диспергирующие присадки.**

Моющие присадки предотвращают увеличение вязкости масла, образование осадка и лакообразных отложений, а также коррозионное изнашивание. Эти присадки содержат полярные группы и длинные алкильные цепи, обладающие сродством к маслам. Благодаря реакционной способности полярных групп моющие присадки могут адсорбироваться на поверхностях заготовок и инструмента и, тем самым, препятствовать прилипанию саже-образных и смолистых веществ, накапливанию осадков и лаковых плёнок.

Диспергирующие присадки хорошо растворимы в масле и характеризуются способностью диспергировать и поддерживать во взвешенном состоянии большое количество твёрдых частиц. Эти присадки обладают так же моющими свойствами и поэтому чёткая граница между ними отсутствует.

В качестве моющих присадок применяют[4,6]:

- Феноляты кальция;
- Салицилаты кальция;
- Тиофосфонаты кальция;
- Сульфонаты кальция.

В качестве диспергирующих присадок применяют

- Полиизобутиленсукцинимиды;

- Полиизобутиленамиды сложных эфиров янтарной кислоты;
- Дисперсанты на базе оснований Манниха;
- Дисперсанты на базе сополимеров олефина и полиметакрилатов.

## **2.4. Противопенные присадки**

Предотвращают пенообразование масел и разрушают воздушно-масляную коллоидную систему, увеличивая, тем самым, теплообмен. Механизм действия заключается в снижении прочности поверхностных масляных плёнок (благодаря низкому поверхностному натяжению) вследствие адсорбции на них молекул присадок.

В качестве противопенных присадок применяют

- Полиэтиленгликоли;
- Полиметакрилаты;
- Трибутилфосфат.

## **2.5. Противоизносные и противозадирные присадки.**

Благодаря своей полярной структуре и за счёт адсорбции и хемосорбции образуют на поверхностях трения трибохимические слои (фосфаты, сульфиды, сульфаты и др. в зависимости от химической природы присадки), исключаящие контакт между скользящими поверхностями.

В качестве противоизносных и противозадирных присадок применяют соединения<sup>3</sup>:

- Для чёрных металлов (сульфонаты, производные карбоновых кислот, амины неполных сложных эфиров нейтрализованной алкилфосфорной кислоты);
- Пассиваторы поверхностей цветных металлов (бензотриазол, толилтриазол, диалкилдитиофосфаты и диалкилдитиокарбаматы цинка).

---

<sup>3</sup> Соединения хлора из-за ужесточения экологических и токсикологических требований, связанных с утилизацией отработанных хлорсодержащих жидкостей в современных марках масляных СОЖ не применяются.

Для улучшения противозадирных и противоизносных свойств масляных СОЖ чаще всего в основу (минеральное масло) вводят элементарную серу. Однако сера ограниченно растворяется в минеральном масле. Поэтому растворимость последней и её реакционную способность обеспечивают чаще всего путём применения так называемых носителей серы – растворимых в минеральном масле органических сернистых соединений, описываемых общей формулой  $R - S_x - R$ , где R – атом с неспаренным электроном; x – число атомов [2, 4].

Носители серы не содержат других гетероатомов, кроме кислорода и получаются с двойной связью (олефины, природные эфиры, акрилаты) или реакцией замещения с органическими галоидопроизводными и подобными соединениями.

Носители серы бывают:

а) неактивные (имеют в основном дисульфидные мостики связи  $x=2$ ) – относительно стабильны и вступают в реакцию только при высоких температурах;

б) активные (имеют в основном пентасульфидные мостики связи  $x=3-5$ ) – обладают значительно большей реакционной способностью, т.к. атомы серы входящие в относительно неустойчивые полисульфидные мостики связи могут вступать в реакцию даже при низких температурах (не применяют при обработке цветных металлов).

Для охвата всех областей металлообработки, различающихся температурно-силовой нагрузкой, применяют носители серы со специфическим распределением различных полисульфидных мостиков ( $x=1-5$ ).

Действие носителей серы в условиях задира начинается с физической адсорбции, далее следует хемосорбция, а затем (при

температуре более 600 °С) происходит отщепление серы и её реакция с поверхностью металла.

Полярность, а, следовательно, сродство с поверхностью металла определяется природой органических заместителей и усиливается в ряду сульфированные углеводороды – сложные эфиры – жирные кислоты. Растворимость серы в минеральном масле снижается в том же порядке.

В производстве масляных СОЖ применяют следующие носители серы [4]:

- сульфированные олефины активного типа (полисульфидные)
- неактивные сульфированные α-олефины;
- сульфированные синтетические эфиры (светлоокрашенные);
- сульфированные жирные масла (чёрного цвета);
- смесь сульфированных жирных масел и олефинов (светлоокрашенная).

В настоящее время применяют следующие технологии синтеза серосодержащих присадок[6]:

#### 1. Чёрное сульфирование.

Смесь из олефина и серы (серный цвет - S<sub>8</sub>) подогревают до температуры выше температуры плавления серы:

а) при температуре выше 150...160 °С протекает некаталитическая экзотермическая реакция с выделением значительного количества сероводорода.

б) при температуре 120...125 °С протекает некаталитическая реакция (катализатор - органические амины, оксиды металлов и кислоты).

Механизм указанных реакций очень сложен. При температуре 120...160 °С протекают в основном межмолекулярные, а при

температуре 160...190°C - внутримолекулярные реакции.

На первом этапе чёрного сульфирования происходит раскрытие колец серного цвета, имеющего кольцевую структуру, с последующим окислительным воздействием на виниловые протоны. Это неконтролируемая реакция завершается выделением сероводорода и образованием винилпроизводных меркаптанов, тиоэфиров, алкил- и диалкилполисульфанов, тиокетонов и тиофенов. Значительная часть вырабатываемого сероводорода поглощается двойными связями с образованием насыщенных алкилмеркаптанов. Далее происходит окислительная реакция алкилмеркаптанов с серным цветом, которая даёт алкил-диалкилсульфиды с дополнительным выделением сероводорода.

Конечный продукт состоит из полного ряда органических производных серы. Некоторые из них - ненасыщенные соединения с изомеризированными двойными связями и сопряжённые хлороформные соединения серы (тиокетоны и тиофены) придают продукту чёрный цвет и резкий неприятный запах.

Продукты получаемые чёрным сульфированием проявляют противозадирные и противоизносные свойства и имеют следующие недостатки:

- полимеризуются при эксплуатации и хранении;
- легко окисляются, отлагаясь на металлических поверхностях;
- быстро увеличивают кислотное число и, тем самым, сокращают время замены СОЖ;
- при высоких температурах выделяют сероводород и меркаптаны.

## 2. Сероводородное сульфирование при высоком давлении.

В реактор высокого давления подают олефины, серу,

сероводород и подогревают до температуры 120...170°C. Реакция может проводиться в присутствии катализаторов (амины, оксиды металлов и др.). При переработке низкокипящих олефинов (изобутан) давление может достигать 5...6 МПа, а высококипящих олефинов (диизобутен) - 0,2...1,5 МПа.

Сероводородное сульфирование отличается от чёрного сульфирования наличием сероводорода как восстанавливающего элемента, который одновременно является сильным нуклеофилом (отдает свою электронную пару для образования связи с атомными ядрами других молекул). Окислительное воздействие серы на связи винилового углерода и водорода замедляется. Здесь реакция, которая при чёрном сульфировании является побочной, может стать главной: присоединение сероводорода к двойным связям с образованием меркаптанов, которые затем быстро вступают в окислительно-восстановительную реакцию серы с образованием диалкилди-, три-, тетра-, и более выших полисульфидов и выделением сероводорода. Процесс протекает при значительно более контролируемых условиях и даёт меньше побочных продуктов. Такие носители серы более стойки к окислению и имеют светлую окраску.

### 3. Меркаптановое сульфирование.

Синтез носителя серы осуществляются в два этапа:

1). Реакция сероводорода с олефинами (катализатор - кислота Льюиса). Если используется катализатор  $\text{BF}_3$ , то реакция протекает при температуре до  $-20^\circ\text{C}$ . В противном случае - при температуре 60...90°C.

2). Образующиеся алкил-меркаптаны отгонкой выделяют из реакционной смеси как промежуточный продукт.

Непрореагировавшие олефины возвращают в реактор.

3) Меркаптаны окисляют перекисью водорода до диалкилсульфидов или стехиометрическими количествами серы до трисульфидов и полисульфидов. Этот процесс применяют для синтеза носителя серы из три- и тетрапропиленов, т.к. терт- и додецилмеркаптан можно использовать как промежуточный продукт для других химических процессов.

## Глава 3. Очистка масляных СОЖ

Очистку СОЖ применяют для удаления стружки, механических примесей, смолистых отложений и др. с целью повышения долговечности жидкости, стойкости инструмента, качества обработанных поверхностей и надежности работы системы подачи СОЖ станка.

Для разных видов обработки, размеров частиц, концентрации механических примесей и их удельного веса применяют следующие способы очистки СОЖ (на рис. 3.1) [4]:

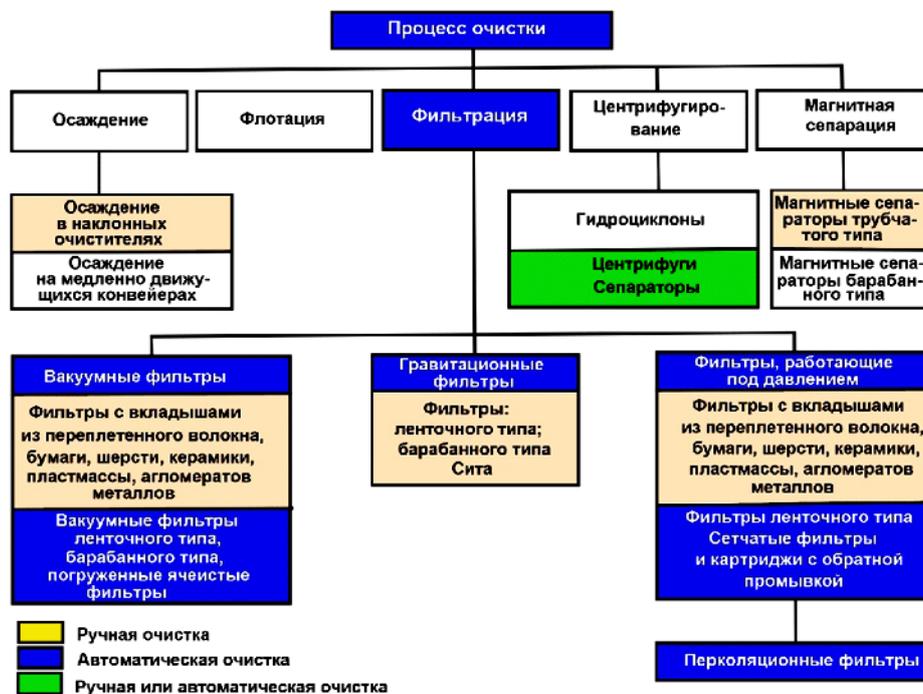


Рис. 3.1 Способы очистки СОЖ

### 3.1. Осаждение

Осаждение частиц происходит под действием силы тяжести стружки и используется для грубой очистки жидкости. Время осаждения частиц зависит от размера и массы стружки, вязкости и плотности среды и рассчитывается по формуле Стокса:

$$t = \frac{18 \times h \times \nu \times \rho_{жс}}{d_y^2 (\rho_c - \rho_{жс}) g}, c, \quad (1)$$

где  $h$  - высота уровня СОЖ в баке, мм;

$\nu$  - кинематическая вязкость СОЖ, мм<sup>2</sup>/с;

$\rho_{жс}$  - плотность СОЖ, г/мм<sup>3</sup>;

$d_y$  - условный диаметр частицы стружки, мм;

$\rho_c$  - плотность материала стружки, г/мм<sup>3</sup>;

$g$  - ускорение свободного падения, мм/с<sup>2</sup>.

### 3.2. Фильтрация

**Фильтрация на кеке.** Кек образуется на фильтрующем материале, удерживающем твердые частицы, принимая на себя функции фильтра. В результате, окончательная тонкость фильтрации меньше, чем размер отверстий фильтрующей сетки. На рис. 3.2 показаны процессы фильтрации на кеке, глубокой фильтрации с вспомогательным слоем и фильтрации на сетчатом фильтре.

**Глубокая фильтрация со вспомогательным слоем** происходит через слой фильтрующего материала, предварительно наносимого на фильтр. Вспомогательный слой, созданный из диатомовой земли (диатомит) или другого фильтрующего материала, обеспечивает как механическую фильтрацию, так и абсорбцию.

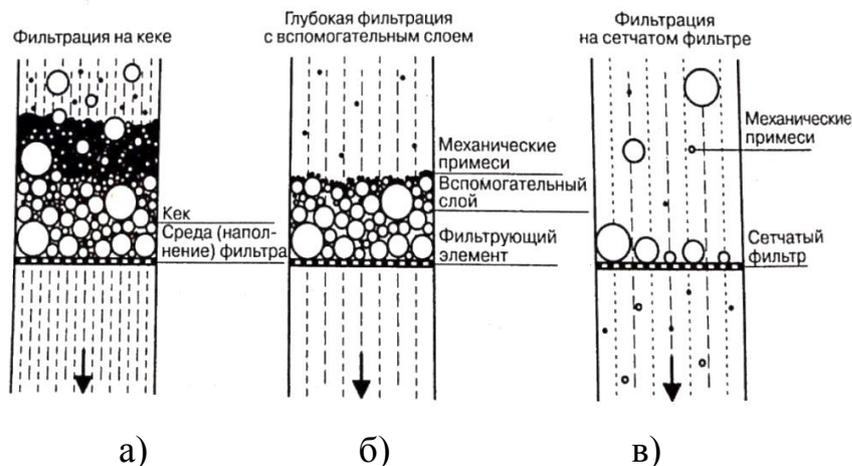


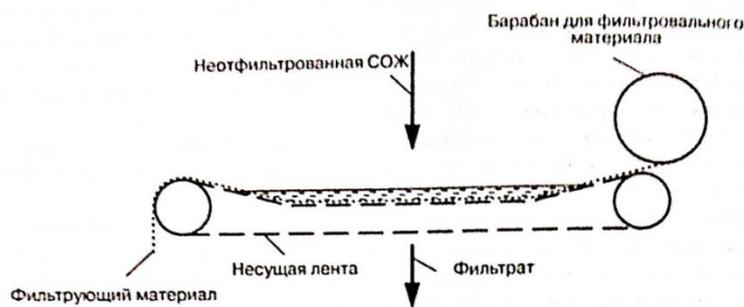
Рис. 3.2 Фильтрация: а - на кеке; б - глубокая фильтрация с вспомогательным слоем; в - фильтрация на сетчатом фильтре

**Фильтрация на сетчатых фильтрах** применяется при размерах стружки превышающих размер отверстий фильтрующей сетки (тонкость фильтрования).

**Ленточные фильтры** используются в централизованных циркуляционных системах СОЖ. На рис. 3.3 показана принципиальная схема устройства плоских фильтров для разных рабочих условий.

Схема при нормальных условиях (Рис. 3.3 а) работает с давлением столба жидкости. Скорость подачи чистого фильтра зависит от скорости очищаемой жидкости и регулируется специальной контрольной системой, которая определяет скорость потока. Такое оборудование для глубокой фильтрации стоит дорого, и занимает очень много места.

Для работы вакуумных ленточных фильтров (Рис. 3.3 б) требуется вакуумная камера с максимальным вакуумом 0.1 Па. С помощью вакуума, производительность вакуумных фильтров примерно в 4раза выше, чем у фильтров, которые работают при нормальных условиях.



а)

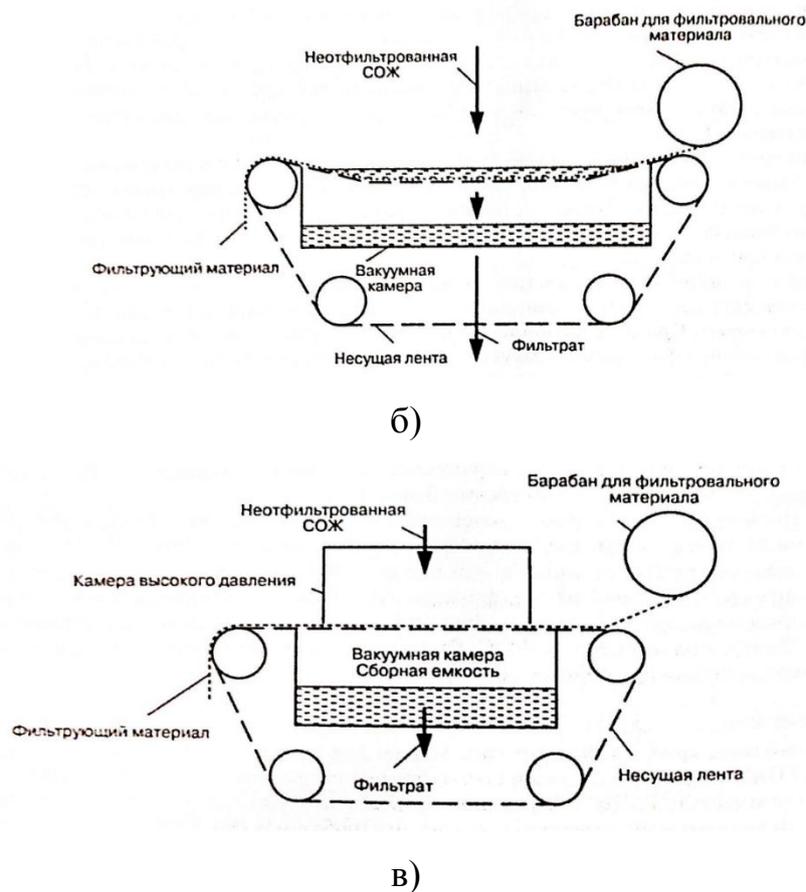


Рис. 3.3 Ленточные фильтры: а-нормальные условия; б-вакуум;  
в-фильтрация под давлением

В схеме фильтрации под давлением (рис. 3.3 в) необходима камера высокого давления. Поэтому давление может достигать более 0.1МПа. При такой фильтрации пропускная способность в 2 раза выше, чем при вакуумной фильтрации.

**Гравитационные барабанные фильтры** используется для удаления мелкой стружки (рис. 3.4). Например фильтр модели КВФ 452/500 фирмы Resy Filtration (Германия) работает под действием гидростатического давления СОЖ. Загрязненная жидкость из бака-отстойника системы охлаждения станка через входную трубу 2 поступает в фильтрационный бак 4 и проходит через фильтровальное полотно 5, перемещаемое с гусеничной лентой 1 к станку, а затем

через стельку ружейного сверла в зону резания.

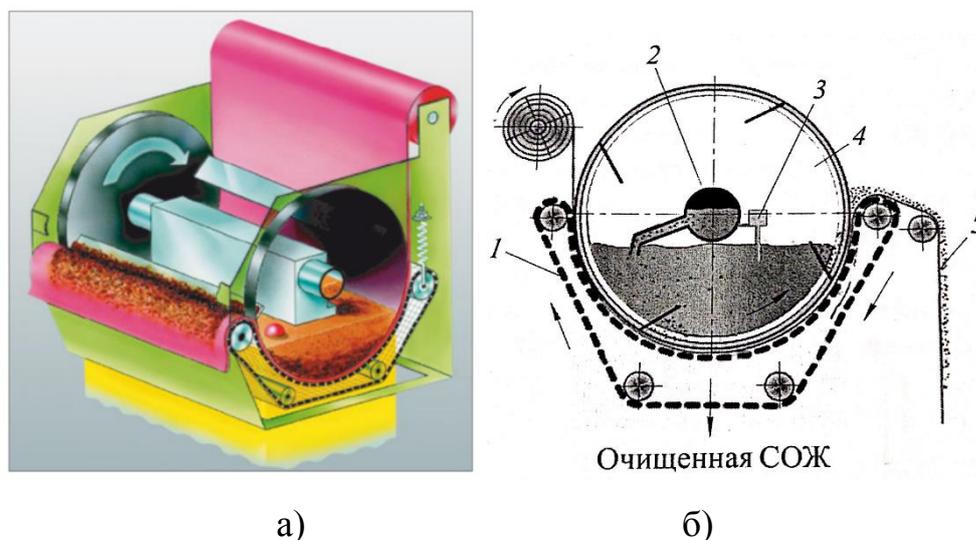


Рис. 3.4 Общий вид (а) и схема гравитационного барабанного фильтра модели KBF фирмы Resy Filtration (б) : 1 - гусеничная лента ; 2 - входная труба ; 3 - поплавковый уровнемер ; 4 - фильтрационный бак ; 5 - фильтровальное полотно

**Вакуумный ленточный фильтр** например модели SAFI-T фирмы «POLO Filter-Technik» (Германия) показан на рис. 3.5 [6].

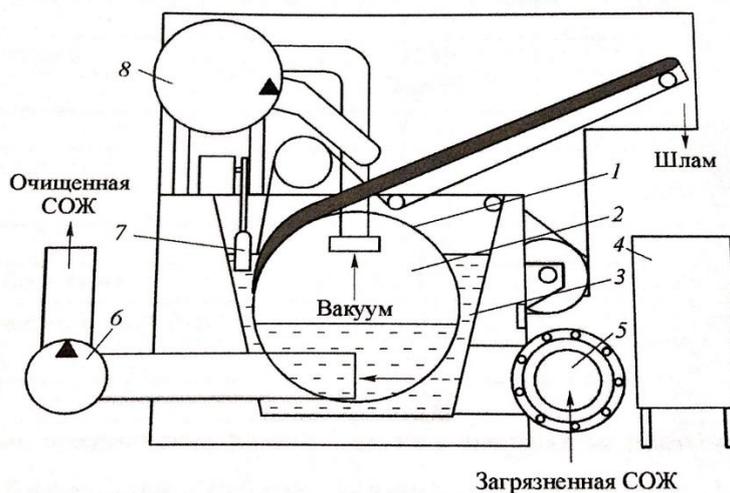


Рис. 3.5 Схема вакуумного ленточного фильтра модели SAFI-T фирмы « POLO Filter-Technik»: 1-барабан; 2-вакуумная камера; 3-приемная камера; 4-грязесборник; 5-патрубок; 6-насос; 7-поплавковый переключатель; 8-вакуумный насос

В процессе очистки, вращающийся барабан 1 огибает цепь, на которую опирается фильтровальный тканый материал. Вакуумный насос 8 создают разрежение в вакуумной камере 2, что значительно увеличивает производительность очистки СОЖ. Загрязненная жидкость из бака-отстойника системы охлаждения станка через патрубок 5 поступает в приёмную камеру 3 фильтра и проходит через фильтровальный материал в вакуумную камеру 2. Далее очищенная СОЖ поступает в станку.

Основные технические характеристики вакуумных ленточных фильтров модели SAFI-T фирмы « POLO Filter-Technik» приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1 - Технические характеристики вакуумных ленточных фильтров фирмы « POLO Filter-Technik» (Германия)

Модель фильтра	SAFI-T 0,4	SAFI-T 0,7	SAFI-T 1,0	SAFI-T 1,7
Максимальный расход СОЖ, л/мин	200	500	1000	1300
Объем СОЖ, л	90	250	500	600
Вес фильтра, кг	260	400	620	700
Потребляемая мощность, кВт	1,7	4,6	5,4	7,2
Длина, мм	1350	2000	2000	2150
Ширина, мм	820	885	1440	1505
Высота, мм	1050	1550	1550	1550

### 3.3. Магнитная очистка

Магнитная очистка используется при обработке металлов, обладающих магнитными свойствами (Fe, Co, Ni и др.) и осуществляется с помощью магнитных конвейеров.

**Магнитный конвейер** модели MD фирмы Astos (Чехия) (рис. 3.7) используется для удаления крупной стружки. Он имеет герметичный корпус, закрытый стальным немагнитным транспортным листом. Под транспортным листом расположены подвижные постоянные магниты, благодаря которым крупная

стальная стружка перемещается по транспортному листу вверх, достигая верхней точно наклонной части конвейера. Затем стружка падает в стружкоприемник 1. При этом, СОЖ, прилипшая к стружке, под действием силы тяжести стекает в загрузочную воронку и далее в бак насосной станции станка.



Рис. 3.7 Схема магнитного конвейера типа MD фирмы Astos (Чехия) :1 - стружкоприемник; 2 - транспортный лист; 3 - загрузочная воронка

### 3.4. Центрифуги

Центрифуги применяют для сушки металлической стружки. Установка модели Scoro Z3 фирмы “Машины и технологии” (Беларусь) показана на рис 3.8. Влажная стружка поступает в дробилку, где происходит измельчение крупной и длинной стружки. Затем стружка проходит через крупное сито, стекает в танк и далее поступает в центрифугу, где СОЖ отделяется от стружки. Затем осушенная стружка с помощью отводного конвейера поступает в поворотный лоток и далее падает в стружкоприемник.

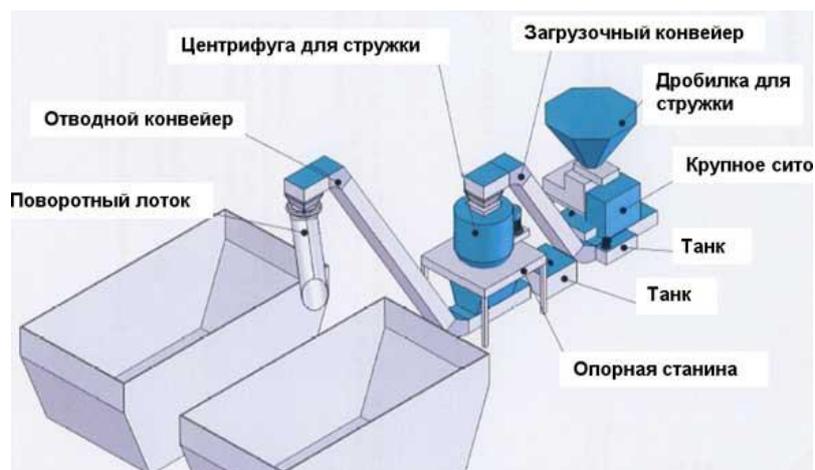


Рис. 3.8 Схема установка для сушка металлической стружки

Центрифуга непрерывного действия обеспечивает безостановочную работу установки в автоматическом режиме, технические характеристики приведены в табл.3.2.

Таблица 3.2 - Технические характеристики

Наименование	Мощность привода, кВт	Диаметр барабана, мм	Производительность, кг/ч
Scoro Z3	2,2	300	180
Scoro Z4	3	400	350
Hydramax 4	3	400	1200
Hydramax 5	4	500	2000
	7,5	600	3500

## Глава 4.Методика эксперимента

### 4.1. Определение кинематической вязкости $\nu$

Вязкость СОЖ определяли по ГОСТ 33, используя вискозиметр стеклянный капиллярный типа ВПЖ-2 (рис.4.1).

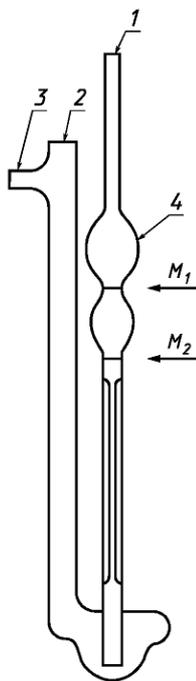


Рис.4.1. Вискозиметр типа ВПЖ-2

На отводную трубку 3 надевали резиновую трубку. Затем, зажав пальцем колено 2 и перевернув вискозиметр, опускали колено 1 в сосуд с СОЖ, которую засасывали с помощью резиновой груши до метки  $M_2$ , следя за тем, чтобы в жидкости не образовывались пузырьки воздуха. В момент, когда уровень СОЖ достигал метки  $M_2$ , вискозиметр вынимали из сосуда и быстро переворачивали в нормальное положение. Снимали с внешней стороны конца колена 1 избыток СОЖ и надевали на неё резиновую трубку. Вискозиметр устанавливали в термостат так, чтобы расширение 4 было ниже уровня СОЖ. После выдержки в термостате не менее 15 мин засасывали СОЖ в колено 1 примерно до 1/3 высоты расширения 4.

Соединяли колено 1 с атмосферой и определяли время перемещения мениска СОЖ от метки  $M_1$  до  $M_2$ .

Если результаты трех последовательных измерений не отличались более чем на 0,2%, то кинематическую вязкость  $\nu$ ,  $\text{мм}^2/\text{с}$ , вычисляли как среднее арифметическое значение по формуле:

$$\nu = Ct, \quad (2)$$

где  $C$  - калибровочная постоянная вискозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$ ,

$t$  - Среднее арифметическое значение времени истечения, с.

#### 4.2. Определение кислотного числа К

Кислотное число определяли по ГОСТ 11362 методом потенциометрического титрования с помощью устройства, показанного на рис.4.4.

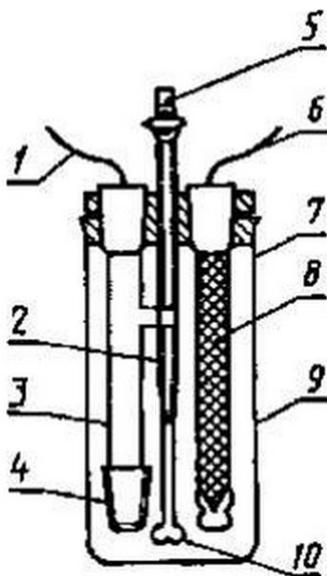


Рис.4.4. Устройство для потенциометрического титрования: 1-провод для сравнительного электрода; 2-удлиненный конец бюретки (перед мешалкой); 3-электрод сравнения; 4-трубка со стеклянным шлифом у основания; 5-бюретка; 6-экранированный провод для стеклянного электрода; 7-бакелитовая основа; 8-стеклянный электрод (защищен внутри); 9-стакан; 10-пропеллерная мешалка

Массовую долю свободных органических кислот выраженную в мг КОН на 1г смазки, вычисляли по формуле

$$X = \frac{V \cdot 0,00561 \cdot 1000}{m}, \quad (3)$$

где  $V$  - объем с точностью 0,1 моль/дм<sup>3</sup> спиртового раствора гидроокиси калия, израсходованный на титрование, см<sup>3</sup>;

0,00561 - титр 0,1 моль/дм<sup>3</sup> раствора гидроокиси калия;

1000 - коэффициент для пересчета г в мг;

$m$  - масса испытуемой СОЖ, г.

#### 4.3. Определение содержания серы

Для определения содержания серы в образцах использован анализатор рентгеновский энергодисперсионный серы в нефти и нефтепродуктах «СПЕКТРОСКАН S» в соответствии с ГОСТ Р 51947-2002, ASTM D 4294-98. Метод определения основан на энергодисперсионном канале со спектральными фильтрами и пропорциональным датчиком.

#### 4.4. Определение коэффициента пропускания $T$

Коэффициент пропускания определяли с помощью спектрофотометра.

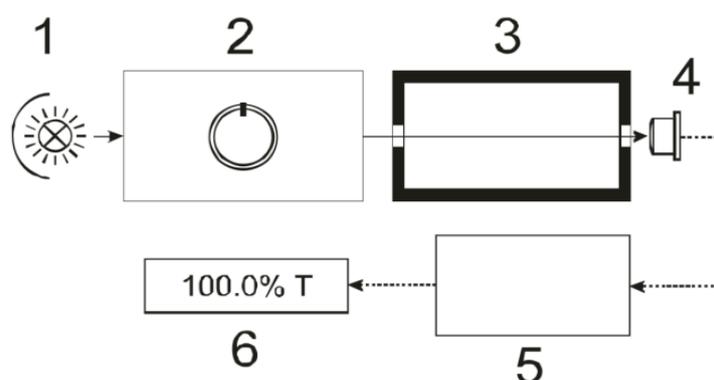


Рис.4.7. Схема спектрофотометра: 1- галогенная лампа как источник

света; 2-монохроматор для выделения спектрального диапазона требуемых длин волн; 3-куветное отделение, служащее для размещения проб и калибровочных растворов; 4-детектор для регистрации света и преобразования его в электрический сигнал; 5-электроника, обеспечивающая проведение измерений и управление работой прибора; 6-цифровой индикатор (дисплей) для отображения результатов измерений и вспомогательной информации.

Принцип действия спектрофотометра (рис.4.7) основан на сравнении светового потока  $\Phi_0$  прошедшего через исследуемую среду и падающего  $\Phi$  потока. Световые потоки  $\Phi_0$  и  $\Phi$  преобразуются фотоприемником в электрические сигналы  $I_0$  и  $I$ . По величинам этих сигналов микропроцессором спектрофотометра рассчитывается и отображается на дисплее результат измерения.

Коэффициент пропускания  $T$  исследуемой СОЖ определяется как отношение потоков по формулам:

$$T = \frac{\Phi_0}{\Phi}, \quad (4)$$

где  $\Phi_0$  – световой поток прошедший через исследуемую жидкость;

$\Phi$  – падающий световой поток.

## **Глава 5. Исследование окисляемости масляных СОЖ**

Исследование окисляемости масляных СОЖ выполняли в два этапа:

### **5.1. Исследование влияния температуры на основные физико-химические свойства трёх марок масляных СОЖ.**

Это исследование проводили путём моделирования процесса окисляемости масляных СОЖ. Для этого СОЖ марок *Garia* 601 *M-22* (далее *M-22*), *MP-3*, *MP-7* нагревали в термостате при температурах 65 и 95 °С и течение 200 часов. Термостатирование осуществляли при атмосферном давлении и перемешивании жидкостей механической мешалкой, вращающейся с частотой 300 мин<sup>-1</sup>. Температуру во время испытаний устанавливали дискретно и выдерживали постоянной автоматически с помощью терморегулятора с точностью ±0,1 °С. Затем через каждые 50 часов термостатирования отбирали пробы и определяли кинематические вязкости, кислотные числа и содержания серы.

#### **Средства измерений:**

1. Термостат жидкостный (с механической мешалкой) для исследования нефтепродуктов мод. ВИС-Т-08-4 ООО Термэкс (Россия);
2. Титратор потенциометрический автоматический мод. АТП-02 НПО Аквилон (Россия);
3. Вискозиметр стеклянный капиллярный типа ВПЖ-2;
4. Спектрометр рентгенофлуоресцентный мод. Спектроскан S НПО Спектрон (Россия).

## Результаты исследования.

Кинематическая вязкость СОЖ трёх марок в течение 200 часов термостатирования при температуре 65 °С не изменилась. При температуре 95 °С вязкость СОЖ марок МР-3 и МР-7 увеличилась на 83,3 и 47,6% соответственно, а марки М-22 осталась без изменений, что свидетельствует о её высоком качестве (рис. 5.1 а). Увеличение вязкости СОЖ марок МР-3 и МР-7 объясняется наличием в этих жидкостях легколетучих углеводородов, которые при нагреве интенсивно испаряются.

Таблица 5.1 - Основные физико-химические характеристики трёх марок масляных СОЖ

Показатели	Метод испытаний	Марки СОЖ		
		М-22	МР-3	МР-7
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 3900	-	850-915	800-930
	<i>DIN</i> 51757	882	-	-
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с: а) при 20/50 °С;	ГОСТ 33	-	-/5...17	-/23...30
	<i>DIN</i> 51562	55/22/4,6	-	-
Температура вспышки в открытом тигле, °С не ниже	ГОСТ 4333	-	125	180
	<i>DIN/ISO</i> 2592	190	-	-
Кислотное число, мг КОН/г не более	ГОСТ 6707 ГОСТ 11362	-	2,0	1,2
Массовая доля серы, % в пределах	ГОСТ 1431 ГОСТ 1437	-	1,0...2,2	1,2...2,0
Массовая доля фосфора, % не менее	ГОСТ 9827	-	0,02	-
Массовая доля механических примесей, % не более	ГОСТ 6370	-	0,04	0,04

Примечание:

1. *Garia* 601 М-22 (далее М-22) – СОЖ производства фирмы Houghton Deutschland (Германия).

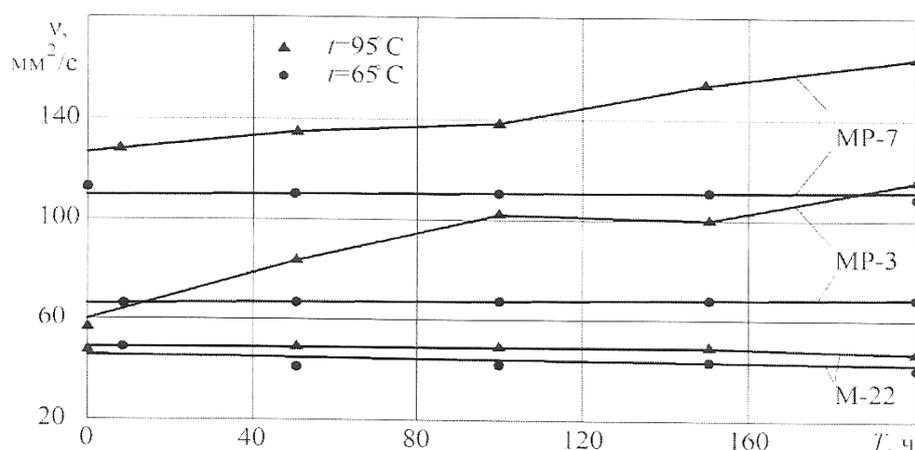
2. МР-3 по ТУ 0258-082-23763315 – СОЖ производства ЗАО

“Промэкология” (Россия, г.Омск).

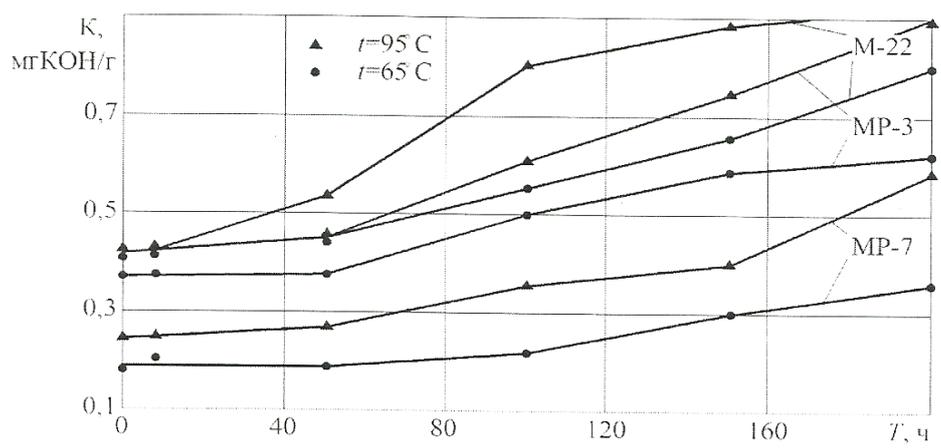
3. МР-7 по ОСТ 38.01415-88 с изм. №1– СОЖ производства ЗАО “Промэкология” (Россия, г.Омск).

Кислотное число СОЖ марок М-22, МР-3 и МР-7 в течение 200 часов термостатирования при температурах 65 и 95°С увеличилось на 95, 125; 71,4, 114,28 и 75, 132,1% соответственно (рис. 5.1 б). Это свидетельствует о протекании в указанных жидкостях процессов окисления углеводородов и превращении их в свободные органические кислоты. В тоже время кислотное число может характеризовать состав СОЖ, т.к. известно, что добавляемые присадки повышают общую кислотность жидкости. Отсюда следует, что СОЖ марки М-22 в сравнении с остальными жидкостями содержит большее количество присадок, повышающих кислотное число и уменьшающих её вязкость.

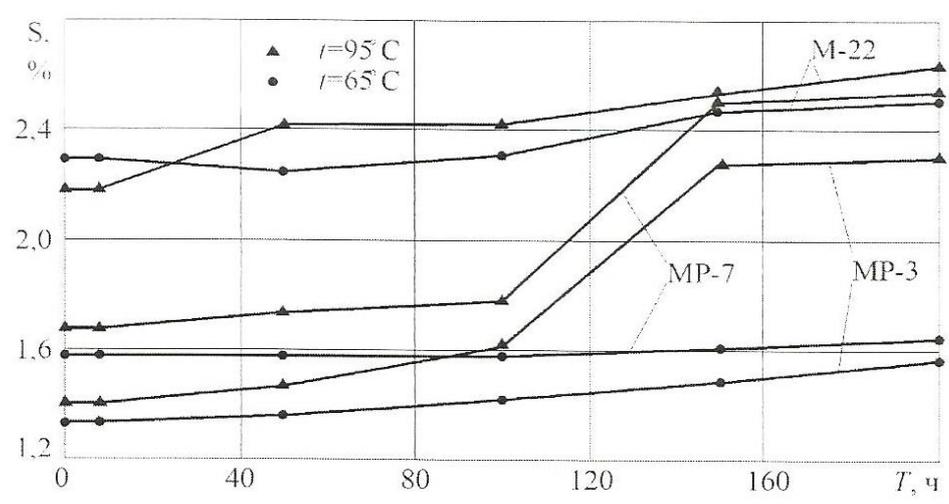
В результате испарения СОЖ, а соответственно и потери массы жидкости увеличивается концентрация продуктов окисления, СОЖ темнеет, содержание общей серы увеличивается (рис.5.1 в).



а)



б)



в)

Рис.5.1 Влияние марки масляной СОЖ, температуры  $t$  и времени термостатирования  $T$ : а- на кинематическую вязкость  $\nu$ ; б- на кислотное число  $K$ ; в - на содержание серы  $S$

**5.2. Исследование оптические свойства масляных СОЖ трёх марок подвергнутых искусственному окислению.**

Образцы СОЖ полученные на первом этапе, исследовали на спектрофотометрах мод. СФ-25 УВИ и СФ-256 БИК ИК ООО ЛОМО Фотоника (Россия). При этом в качестве источников излучения использовали: а) для работы в области спектра  $\lambda=190...360$  нм - дейтериевую лампу ДДС-30М; б) для работы в области спектра

$\lambda=360...2700$  нм - галогенную лампу КГМ 12-10. Для уменьшения рассеяния светового потока и устранения высших порядков дифракций перед монохроматором устанавливали блок со светофильтрами.

После измерений выполненных с точностью 1% рассчитывали спектральные коэффициенты пропускания СОЖ и кюветы по формуле:

$$T = \Phi_{\text{пр}} / \Phi_{\text{пад}}, \quad (5)$$

где  $\Phi_{\text{пр}}$  - интенсивность прошедшего светового потока;

$\Phi_{\text{пад}}$  - интенсивность падающего светового потока.

Затем рассчитывали коэффициенты пропускания СОЖ, учитывающие потери интенсивности светового потока при его прохождении через кювету:

$$T_{\text{СОЖ}} = T / T_{\text{к}}, \quad (6)$$

где  $T$  - коэффициент пропускания СОЖ и кюветы;

$T_{\text{к}}$  - коэффициент пропускания кюветы.

Спектры пропускания СОЖ указанных марок показаны на рис.5.2.

Измерения коэффициентов пропускания проводилось в одной и той же кювете, которая после каждого удаления СОЖ очищалась так тщательно, что достигался уровень её изначальной прозрачности. Таким образом спектральный коэффициент отражения кюветы оставался постоянным и им пренебрегали. Кроме этого контролировали рассеяние светового потока при его прохождении через СОЖ. Было установлено, что это рассеяние очень мало, так как разница между коэффициентами экстинкции и пропускания составляла менее 1%, что свидетельствует о отсутствии в жидкостях

заметной концентрации коллоидных частиц.

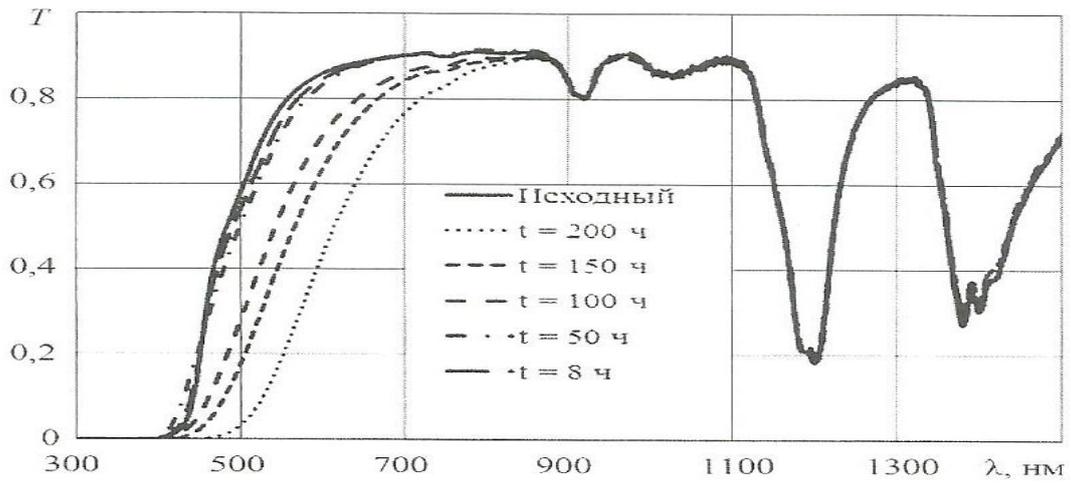
Оптические свойства СОЖ характеризуются показателем поглощения, который является основной оптической характеристикой жидкости и рассчитывается по формуле

$$B_{\text{СОЖ}} = -\frac{1}{l} \times \ln T_{\text{СОЖ}}, \quad (7)$$

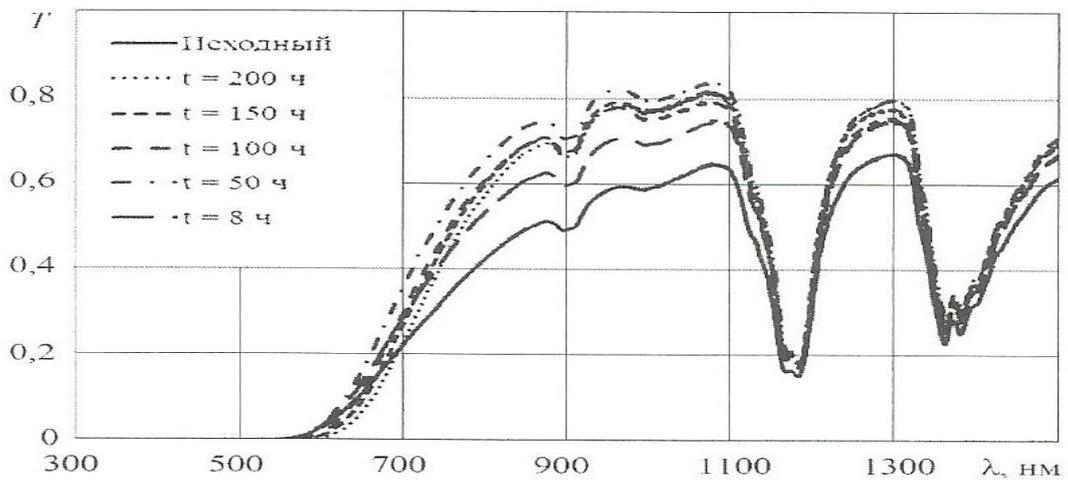
где  $l$ - толщина слоя СОЖ,  $l=1$  см.

Спектры поглощения СОЖ указанных марок представлены на рис. 5.3.

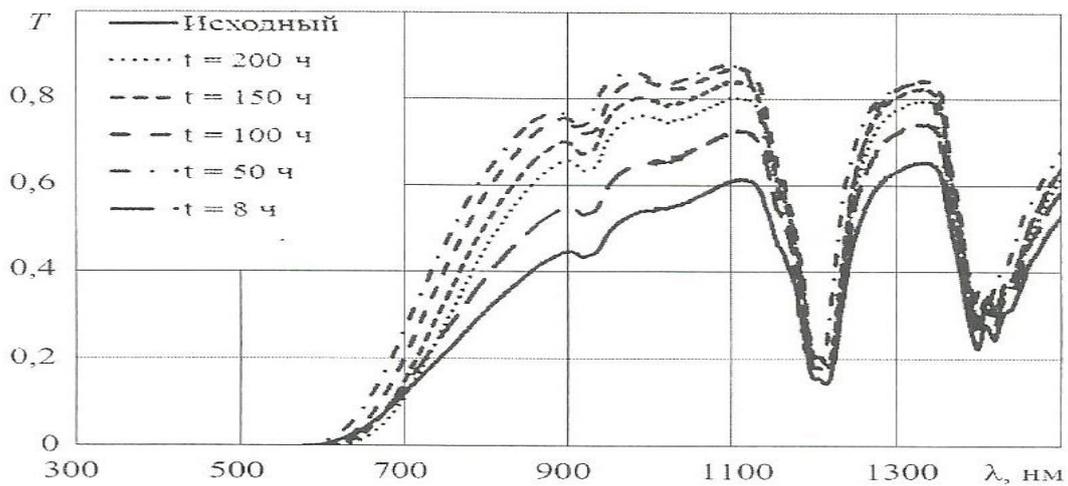
Анализ последних вблизи края собственного поглощения (длины волн  $\lambda=600$ ; 700; 738 нм) показал наличие качественно подобных зависимостей кинематической вязкости, кислотного числа и содержания серы от показателя поглощения. При этом наиболее информативным и удобным для обработки, вследствие меньшей погрешности и относительно больших значений показателя поглощения для исследуемых марок СОЖ, являются зависимости показателя поглощения на длине волны  $\lambda=700$  нм.



а)

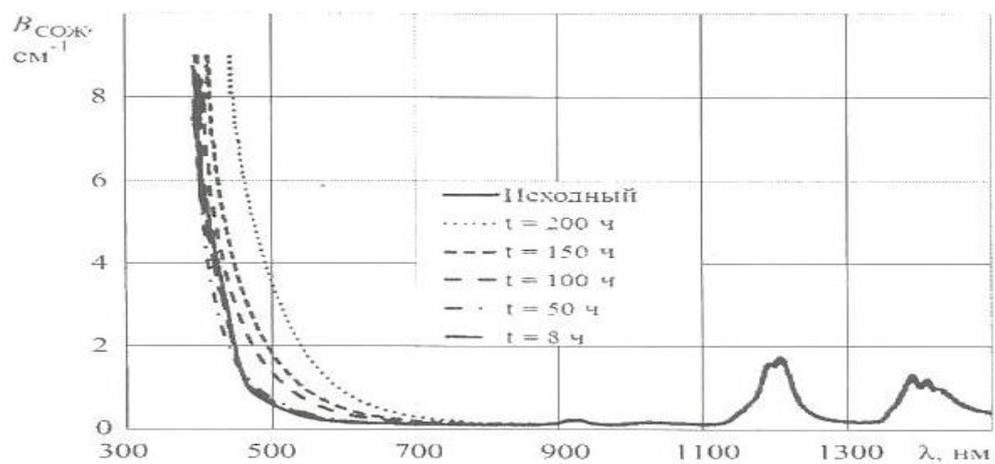


б)

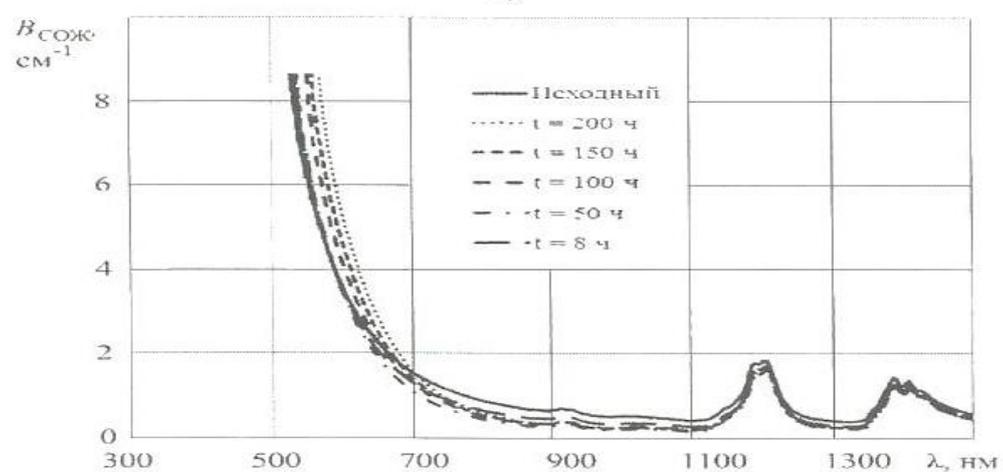


в)

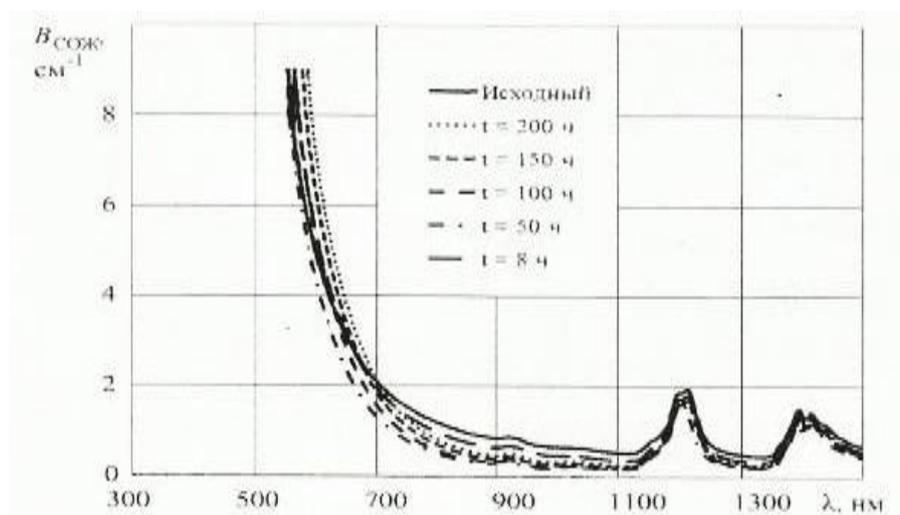
Рис. 5.2. Спектры пропускания СОЖ марок: а-М-22; б-МР-3; в-МР-7



а)



б)



в)

Рис. 5.3. Спектры поглощения СОЖ марок: а-М-22; б-МР-3; в-МР-7

Графические зависимости кинематической вязкости  $\nu_{40^{\circ}\text{C}}$ , кислотного числа  $K$  и содержания серы  $S$  от показателя поглощения

$V_{\text{СОЖ}}$  на длине волны  $\lambda=700$  нм показаны на рис. 5.4.

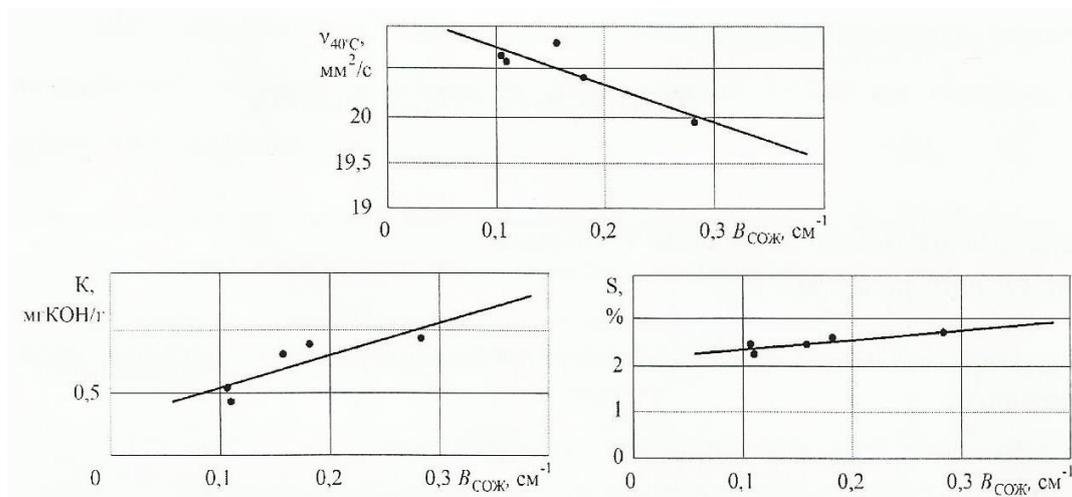


Рис. 5.4. Зависимости кинематической вязкости  $\nu_{40^\circ\text{C}}$ , кислотного числа  $K$  и содержания серы  $S$  от показателя поглощения  $V_{\text{СОЖ}}$  на длине волны  $\lambda=700$  нм ( СОЖ- М-22 ).

Было установлено, что взаимосвязи между указанными параметрами и показателем поглощения  $V_{\text{СОЖ}}$  на длине волны  $\lambda=700$  нм описываются уравнениями прямой (см. рис.5.4, табл. 5.2).

Таблица 5.2. - Аналитические зависимости между вязкостью  $\nu_{40^\circ\text{C}}$ , кислотным числом  $K$ , содержанием серы  $S$  и показателем поглощения  $V_{\text{СОЖ}}$  на длине волны  $\lambda=700$  нм

Уравнение прямой	СОЖ					
	М-22		МР-3		МР-7	
	$k$	$b$	$k$	$b$	$k$	$b$
$\nu_{40^\circ\text{C}}=k*V_{\text{СОЖ}}+b$	2,5934	0,2787	0,9285	-0,6538	0,2616	-0,0762
$K=k*V_{\text{СОЖ}}+b$	-4,1140	21,1390	21,4120	5,7853	6,8666	38,4750
$S=k*V_{\text{СОЖ}}+b$	1,9395	2,1181	1,9470	-0,8766	0,8263	0,6261

Таким образом, зная показатель поглощения жидкости  $V_{\text{СОЖ}}$  можно рассчитать их кинематические вязкости, кислотные числа и содержание серы, и, тем самым, оценить степень её окисления и

принять решения о возможности или невозможности её дальнейшего использования.

## **Выводы:**

1. Предельной температурой нагрева масляных СОЖ, не оказывающей заметного влияния на их окисляемость, является температура 65°C.

2. Масляная СОЖ марки М-22 по сравнению с СОЖ марок МР-3 и МР-7 оказывает большее сопротивление окисляемости.

3. Наибольшую кинематическую вязкость имеет СОЖ марки МР-7, а наименьшую - марки М-22. Вязкость СОЖ марки МР-3 занимает промежуточное положение.

4. Увеличение вязкости СОЖ с увеличением температуры с увеличением времени термостатирования объясняется испарением легколетучих углеводородов.

5. Кинематическая вязкость СОЖ марки М-22 при термостатировании в течение 200 часов и температурах 65 и 95°C постоянна, что свидетельствует о её высоком качестве.

6. Контроль кислотного числа, кинематической вязкости и содержания серы наиболее оперативно и с высокой точностью необходимо осуществлять методом оптической спектроскопии.