

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2020

УДК 69

Составители: С.А. Чернов, К.Д. Голюбин, Е.А. Еременко

Теоретические основы физико-химических исследований дорожно-строительных материалов : метод. указания / Сост. С.А. Чернов, К.Д. Голюбин, Е.А. Еременко ; Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2020. – 58 с.

Рассмотрены методы и способы исследований дорожно-строительных материалов и конструкций.

Предназначены для обучающихся по направлению 08.04.01 Строительство по программам «Автомобильные дороги».

УДК 69

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Автомобильные дороги»
к.т.н., доцент Д.А. Николенко

В печать 18.09.2020 г.

Формат 60х84/16. Объем 3,6 усл.п.л.

Тираж 50 экз. Заказ № 190.

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2020

Содержание

Практическая работа № 1 Химическая термодинамика. Энергетика химических процессов	4
Практическая работа № 2 Тепловые эффекты процессов. Второй закон термодинамики. Закон Гесса	9
Практическая работа № 3 Поверхностно-активные вещества. Классификация. Основные понятия о структуре поверхностно-активных веществ и их свойства	11
Практическая работа № 4 Свойства водных растворов поверхностно-активных веществ	14
Практическая работа № 5 Физико-химические основы обоснования выбора полимерной и армирующей добавок в составе асфальтобетонов	18
Практическая работа № 6 Полимерно-дисперсно-армированный асфальтобетон и его свойства	23
Практическая работа № 7 Определение адсорбционной способности минеральных порошков колориметрическим методом.....	25
Практическая работа № 8 Оценка сцепления битума с поверхностью зерен каменных материалов методом кипячения	38
Практическая работа № 9 Определение сцепления битума с каменными материалами колориметрическим методом	43
Практическая работа № 10 Определение вязкости битумных вяжущих	47
Литература	58

Практическая работа № 1

Химическая термодинамика. Энергетика химических процессов.

Физико-химические методы исследования (ФХМИ) основаны на использовании зависимости физических свойств веществ (например, светопоглощения, электрической проводимости и т.д.) от их химического состава. Иногда в литературе от ФХ отделяют физические методы исследования, подчёркивая тем самым, что в ФХМИ используется химическая реакция, а в физических - нет. *Физические методы исследования* и ФХМИ, главным образом, в западной литературе, называют *инструментальными*, так как они обычно требуют применения приборов, измерительных инструментов. Инструментальные методы исследования в основном, имеют свою собственную теорию, отличную от теории методов химического (классического) анализа (титриметрии и гравиметрии). Базисом этой теории является взаимодействие вещества с потоком энергии.

При использовании ФХМИ в зависимости от вида энергии в веществе происходит изменение энергетического состояния составляющих его частиц (молекул, ионов, атомов), выражающееся в изменении того или иного свойства (например окраски, магнитных свойств и т.п.). Регистрируя изменение этого свойства как аналитический сигнал, получают информацию о качественном и количественном составе исследуемого объекта или о его структуре. Наибольшее практическое применение имеют оптические, хроматографические и потенциометрические методы исследования.

По способам определения различают прямые и косвенные ФХМИ. В прямых методах количество вещества находят непосредственным пересчётом измеренного аналитического сигнала в количество вещества (массу, концентрацию) с помощью уравнения связи. В косвенных методах аналитический сигнал используется для установления конца химической реакции (как своеобразный индикатор), а количество определяемого вещества, вступившего в реакцию, находят с помощью закона эквивалентов, т.е. по уравнению, непосредственно не связанному с названием метода.

Обычно многие эти методы и процессы сопровождаются заметным выделением или поглощением тепла, света, электричества и т.д., то есть происходит превращение химической энергии в другие виды энергии.

Энергетические эффекты химических процессов *изучает химическая термодинамика.*

Термодинамика - научная дисциплина, которая рассматривает переводы энергии из одной формы в другую; энергетические изменения при различных физических и химических процессах.

Термодинамика устанавливает возможность и пределы самопроизвольного (без затраты работы) течения процессов в данном направлении при заданных условиях. Термодинамика не рассматривает механизм процессов и ничего

не говорит о скоростях явлений. В этом ее ограниченность. Но выводы термодинамики являются общими и имеют большое практическое значение. Технологическую схему какого-либо процесса выбирают на основе термодинамических расчетов.

Объектом изучения в термодинамике является система.

Система - это тело или группа тел, мысленно обособляемых от окружающей среды. Она характеризуется определенным запасом энергии.

Изолированная система не обменивается энергией с окружающей средой. Различают гомогенные и гетерогенные системы. Гомогенные (однородные) системы состоят из одной фазы, гетерогенные (разнородные) - из двух или нескольких фаз. Фаза - это часть системы, однородная во всех точках по составу и свойствам и отделенная от других частей системы поверхностью раздела. Примером гомогенной системы может служить водный раствор сульфата меди или какой-либо другой растворимой соли. Но если раствор насыщен и на дне сосуда есть кристаллы сульфата меди, то рассматриваемая система гетерогенна. Другим примером гомогенной системы может служить вода, но вода с плавающим в ней льдом - система гетерогенная. В термодинамике состояние системы характеризуется при помощи ряда переменных, называемых параметрами: давление - p , объем - V , температура - T , масса - m . На основе этих параметров могут быть выведены другие характеристики, зависящие от них и называемые *термодинамическими функциями*.

Термодинамические функции позволяют характеризовать состояние системы и происходящие в ней изменения. Эти функции следующие (наиболее важные)! u - внутренняя энергия; H - энтальпия; S - энтропия; G - изобарно-изотермический потенциал.

Большое значение имеет функция, называемая внутренней энергией U . Внутренняя энергия U - это общий запас энергии системы (или вещества) без учета потенциальной и кинетической энергий. Внутренняя энергия складывается из энергии движения молекул, энергии движения электронов в атомах, движения ядер, внутриядерной энергии межмолекулярного взаимодействия, т.е. сюда входят все виды энергии кроме потенциальной и кинетической энергии системы. От чего зависит величина U ? От массы, от тех условий, в которых вещество находится, от состояния (твердое, жидкое, газообразное), от природы вещества. Например, равные массы различных газов C_{12} , F_2 , O_2 , имеют разные U , т.к. неодинакова природа этих газов, различно строение молекул этих газов.

Разным массам одного и того же газа соответствует не одинаковая внутренняя энергия (например, 1 и 5 г F_2 обладает различным U). Внутренняя энергия непосредственно не может быть измерена, поэтому оценить абсолютное значение U мы не можем. Можно лишь говорить об изменении внутренней

энергии процесса. Причем внутренняя энергия не зависит от пути, а лишь зависит только от начального и конечного состояния системы

$$U = U_{\text{кон}} - U_{\text{нач.}}$$

Такие функции, изменение которых не зависит от пути, называются функциями состояния.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Допустим, что к некоторой системе подводится тепло (Q), оно тратится:

- на изменение внутренней энергии системы – ΔU ;
- на совершение работы против внешних сил – A .

Это можно записать следующим образом: $Q = \Delta U + A$. Уравнение является аналитическим выражением первого закона термодинамики.

Первый закон термодинамики является частным случаем закона сохранения энергии, имеются следующие формулировки первого закона термодинамики: в изолированной системе общий запас энергии системы – величина постоянная или разные формы энергии переходят друг в друга в строго эквивалентных, всегда одинаковых соотношениях.

Обратимся к выражению $Q = \Delta U + A$, $\Delta U = Q - A$, A - работа расширения при химической реакции. Под работой против внешних сил подразумевается работа против внешнего давления. Она равна

$$A = P \cdot \Delta V = P(V_2 - V_1),$$

где $\Delta V = (V_2 - V_1)$ изменение объема; P - давление.

Итак, первый закон термодинамики может быть представлен в виде уравнения $Q = \Delta U + P \cdot \Delta V$. Проанализируем это выражение

1. Для круговых процессов: совершив процесс (работу), система вернулась в исходное состояние. Изменение U в этом процессе равно нулю $\Delta U = 0$, т.к. $U_1 = U_2$, и, следовательно, $Q = A = P \Delta V$. Для круговых процессов подводимое к системе тепло тратится на совершение внешней работы. Для изохорных процессов $V = \text{const}$, $\Delta V = 0$, и, следовательно, $Q_V = \Delta U$. В изохорном процессе подводимое к системе тепло расходуется на изменение внутренней энергии системы.

2. Для изобарных процессов:

$$\begin{aligned} P &= \text{const}, Q_p = \Delta U + P \Delta V; \\ Q_p &= U_2 - U_1 + P(V_2 - V_1); \\ Q_p &= (U_2 + P V_2) - U_1 + P V_1. \end{aligned}$$

Обозначим

$$U + P V = H,$$

где H - энтальпия.

$$Q_p = H_2 - H_1 = \Delta H. Q_p = \Delta H.$$

Функция H - энтальпия является функцией состояния, т.е. ее изменение не зависит от пути, а только от начального и конечного состояния системы.

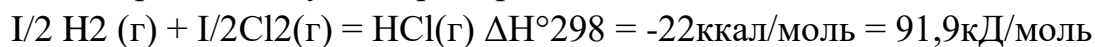
$H = U + PV$ - энтальпия как и внутренняя энергия характеризует энергетическое состояние вещества но еще включает PV - энергию, затрачиваемую на преодоление внешнего давления.

Таким образом, энтальпия характеризует состояние системы при постоянном давлении ($P = \text{const}$). Сравнивая $Q_v = \Delta U$, $Q_p = \Delta H = \Delta U + PV$ можно заключить, что $Q_p > Q_v$ на величину.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РЕАКЦИЙ

Химические процессы, как правило, протекают либо с выделением, либо с поглощением тепла. С выделением – экзотермические + Q . С поглощением - эндотермические - Q .

Энтальпии элементарных (простых) веществ в стандартных условиях принимаются равными нулю. Пример:



Для простых веществ хлора и водорода стандартная энтальпия H° образования равна нулю. Стандартные условия:

$$T = 298^\circ \text{K} \text{ и } P = 101,3 \text{ кПа. } H^\circ \text{Cl}_2 = 0 \quad \Delta H^\circ \text{H}_2 = 0$$

Для многих веществ важной характеристикой является энтальпия сгорания (теплота сгорания), которая дается для стандартных условий, Энтальпии образования и сгорания для многих веществ известны и сведены в таблицы.

Существование таких таблиц (справочников) упрощает расчеты, так как благодаря знанию теплоты образования и сгорания можно рассчитать тепловые эффекты для многих тысяч реакций,

В настоящее время известны энтальпии образования примерно для 4 тысяч веществ.

ЭНТРОПИЯ

Любая форма энергии (механическая, электрическая, химическая и др.) может полностью перейти в теплоту. Однако вся теплота не может полностью переходить в работу или иную форму энергий. Та доля теплоты, которая, в данных условиях не способна превращаться в другие формы энергии, является как бы связанной, т.е. как бы обесцененной. Мера такого обесценивания выражает термодинамическая функция, называемая энтропией и обозначаемая буквой S .

Следовательно, энтропия (S) – это мера перехода энергии в такую форму, из которой она не может переходить самопроизвольно в другие формы. Отсюда связанная энергия и энтропия отражают одно и то же явление.

Понятие энтропии как термодинамической функции было введено Р. Клаузиусом в 1850г. Энтропия может быть представлена в виде выражения

$$S = Q/T,$$

где Q - теплота процесса; T – температура; $S = Q/T = \text{дж/мольград} = \text{кал/мольград}$.

Из уравнения следует, чем больше тепловой энергии участвует в процессе, тем выше энтропия.

Энтропия является функцией состояния, следовательно, её изменение не зависит от пути, а только от начального и конечного состояния системы.

$$\Delta S = S_2 - S_1, \text{ если } S_2 > S_1.$$

Работа, внутренняя энергия и т.д. - все они легко и наглядно могут быть представлены. Понятие энтропии не обладает такой характеристикой. Энтропию можно объяснить еще таким образом.

Большинство процессов стремится к выравниванию (например, температуры, давления, концентрации и т.д.) рассеянию, диффузии, т.е. стремится к достижению равновесия. Во всех этих процессах выравнивания система стремится перейти из состояния с меньшим беспорядком. Количественной мерой разупорядоченности системы является S – энтропия. При переходе из более упорядоченного состояния в менее упорядоченное, энтропия возрастает, этот процесс идет самопроизвольно. Энтропия отражает движение частиц вещества и является мерой неупорядоченности системы. Она возрастает с увеличением движения частиц.

ΔS возрастает при нагревании, испарении, плавлении, расширении. ^ Процессы, связанные с упорядоченностью системы, ведут к уменьшению энтропии. ΔS убывает при конденсации, кристаллизации, полимеризации, увеличении давления.

Рассчитаем изменение энтропии в некотором процессе. Например, при давлении, льда, которое, как известно, происходит при 0°C . Теплота плавления одного моля льда равна 6,010 дж/моль.

$$\text{Итак, } T = 0 + 273 \text{ K} = 275 \text{ K. } Q_{\text{пл}} = 6,010 \text{ дж/моль.}$$

Следовательно, при плавлении одного моля льда энтропия возрастает на 22 джоуля. Давление способствует упорядоченности системы и, следовательно, уменьшает энтропию. Возьмем 1 грамм-моль NH_3 при $T = 500 \text{ K}$ и разном давлении

$$S_{\text{NH}_3(\text{г})} \text{---} 500^\circ, 1 \text{ атм.---} 50,7 \text{ кал/моль град} = 200 \text{ дж/моль K.}$$

$$S_{\text{NH}_3(\text{г})} \text{--} 500^\circ 300 \text{ атм.---} 35,0 \text{ кал/моль град} = 140 \text{ дж/моль K.}$$

Давление вызывает упорядоченность системы, следовательно, с увеличением давления энтропия (S) незначительно уменьшается.

Изменение энтропии в химических процессах вычисляется следующим образом. Имеем реакцию (в общем виде) $aA + bB = cC + dD$.

$$\Delta S_{\text{хим.р.}} = [dS_d + oS_c] - [aS_a + bS_b] \quad \Delta S_{\text{хим.р.}} = \text{конечн.} - \text{исходн.}$$

Чтобы энтропии веществ были сравнимы как и энтальпии, образования принято относить к определенным условиям: температура 25°C или 298 K , давление 1 атмосфера или $101,3 \text{ кПа}$. Это стандартные условия. Энтропия при этих условиях обозначается - ΔS°_{298} и называется стандартной энтропией.

Практическая работа № 2

Тепловые эффекты процессов. Второй закон термодинамики. Закон Гесса

Первый закон термодинамики позволяет решить многие вопросы химии и химической технологии, связанные с определением теплоты и работы при различных химических и физических процессах.

Однако, в каком направлении будет протекать процесс и до какого предела, ответ на этот вопрос может дать второй закон термодинамики. Многочисленные наблюдения выявили определенную направленность, самопроизвольно, без затраты внешней работы протекающих процессов: тепло не может переходить от холодного к нагретому телу, диффузия идет от мест с большей концентрацией к местам с меньшей концентрацией; электрический ток течет от более высокого потенциала к более низкому; раствор не может разделиться на составляющие вещества и т.д.

Таким образом, *второй закон термодинамики* определяет направленность превращения энергии. Второй закон так же, как и первый, подтверждается всем накопленным опытом человечества и имеет несколько формулировок. Первая из них, правда, высказанная в несколько иной форме еще М.В. Ломоносовым (1747) и Р. Клаузиусом (1850), имеет следующую формулировку: теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более тепловому. Отсюда следует, что в замкнутой системе переход тепла в работу будет совершаться только при наличии разности температур только при наличии нагревателя и холодильника, обуславливающих переход от более нагретого тела к более холодному.

Следовательно, при $T = \text{Const}$, теплота не может самопроизвольно превращаться в работу. Было установлено, что даже в самой идеальной машине в работу превращается только часть той теплоты, которая отдается от нагревателя холодильнику.

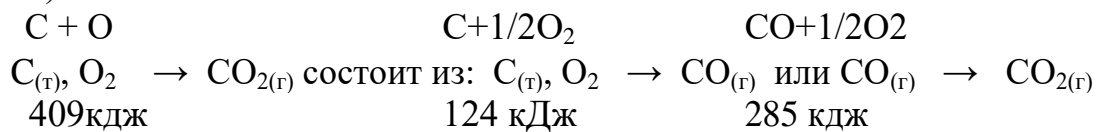
ЗАКОН ГЕССА

Раздел термодинамики, где изучаются тепловые эффекты химических реакций, называется *термохимией*.

Измерение тепловых эффектов производится в приборах, называемых калориметрами.

Основной закон термохимии был установлен в 1840 г, петербургским академиком Генрихом Ивановичем Гессом.

Тепловой эффект реакции не зависит от пути, а только от начального и конечного состояния и вида веществ, участвующих в реакции (при $P = \text{const}$ и $V = \text{const}$)



$$124 \text{ кДж} + 285 \text{ кДж} = 409 \text{ кДж.}$$

Необходимо подчеркнуть, что закон Гесса справедлив лишь при $V = \text{const}$ и $P = \text{const}$ т.к. в этих условиях $Q_v = \Delta U$. Обе функции U и H – функции состояния, их изменение не зависит от пути и однозначно определяется лишь начальным и конечным состоянием системы.

Закон Гесса позволяет рассчитывать тепловые эффекты реакций, которые не могут быть определены опытным путем. Из закона Гесса вытекает ряд следствий. наиболее важное: тепловой эффект реакции равен сумме энтальпий образования продуктов реакции за вычетом энтальпий образования исходных веществ, с учетом коэффициентов перед формулами этих веществ в уравнении реакций. Например, для реакции $aA + bB = cC + dD$

$$\Delta H_{\text{хим.р}} = [c\Delta H_c + d\Delta H_d] - [a\Delta H_a + b\Delta H_b] \quad \Delta H_{\text{хим.р}} = \Delta H_{\text{пр.р.}} - \Delta H_{\text{пр.в.}}$$

Функция энтальпия H отражает взаимное влияние атомов в молекуле, стремление к объединению частиц, т.е. способность их к агрегации. Функция энтропия ΔS отражает противоположную тенденцию, именно стремление к беспорядку, к дезагрегации. Известно, что энтропия растет с повышением температуры (с возрастанием температуры увеличивается разупорядоченность системы), т.о. произведение $T\Delta S$ можно считать мерой беспорядка системы. Итак, имеем: с одной стороны, частицы стремятся сблизиться, взаимодействуя друг с другом, и дать прочные агрегаты, заняв при этом минимальный объем. Этот процесс характеризуется энтальпийным членом H . С другой стороны, тепловое движение вызывает стремление к разбрасыванию частиц, к рассеянию в возможно большем объеме: т.к. с ростом температуры эта тенденция возрастает, то можно считать, что мера беспорядка характеризуется энтропийным членом $T\Delta S$.

В изобарно-изотермических процессах ($T = \text{const}$, $P = \text{const}$) таких большинство, движущая сила процесса определяется двумя противоположно направленными факторами H и $T\Delta S$. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$. $\Delta G = (H_2 - H_1) - (TS_2 - TS_1)$. Величину G называют изобарно-изотермическим потенциалом или энергией Гиббса. В честь Джозиа Вилларда Гиббса (1839 - 1903) выдающегося американского физика, одного из основателей химической термодинамики и статистической физики, ΔG зависит от природы вещества и его количества. Самопроизвольно протекают процессы, идущие в сторону уменьшения любого потенциала в частности, в сторону уменьшения ΔG . Если $\Delta G < 0$, то процесс принципиально осуществим самопроизвольно. Если $\Delta G > 0$, процесс самопроизвольно проходить не может.

В состоянии равновесия

$$\Delta G = 0 \quad \text{и} \quad H = T^* \Delta S.$$

В химии (химической термодинамике) имеется термин «химическое сродство». Это не совсем правильный, но укоренившийся термин, выражает способность к взаимодействию данных веществ $A + B = AB$. Будут ли вещества A и B иметь сродство друг к другу, т.е. произойдет ли эта реакция самопроизвольно, т.е. сама собой при соприкосновении веществ A и B ?

Ответ на это дает исследование ΔG этой реакции. Как мы уже видели, если $\Delta G < 0$ (т.е. знак отрицателен), то реакция идет, А и В имеют сродство друг к другу.

Таким образом, мерой химического сродства при $P = \text{const}$ и $T = \text{const}$ - является изобарно-изотермический потенциал или энергия Гиббса.

Итак, критерием течения процесса - мерой химического сродства является убыль изобарно-изотермического потенциала, т.е. - ΔG .

Чем меньше ΔG , тем дальше система от состояния химического равновесия и тем более она реакционно способна. Значения ΔG для различных химических веществ в стандартных условиях ($T = 298 \text{ K}$ и $P = 1 \text{ атм}$) обозначаются ΔG°_{298} и называются энергией Гиббса образования. Значения энергии Гиббса образования приводятся в термодинамических справочниках. Расчет ΔG для химической реакции $aA + bB = cC + dD$ можно произвести следующим образом (аналогично вычислению $\Delta H_{\text{реак.}}$ и $\Delta S_{\text{реак.}}$). $\Delta G_{\text{хим.реак.}} = [c \Delta G_C + d \Delta G_D] - [a \Delta G_A + b \Delta G_B]$ или

$$\Delta G_{\text{хим.реак.}} = \Delta G_{\text{продобр}} - \Delta G_{\text{исхобр}}$$

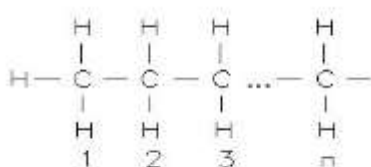
Необходимо отметить, что значения $\Delta G_{\text{обр}}$ образования простых веществ, как и в случае $\Delta H_{\text{обр}}$ принимаются равными нулю, что следует учитывать при расчетах.

Практическая работа № 3 Поверхностно-активные вещества.

Классификация. Основные понятия о структуре поверхностно-активных веществ и их свойства

Поверхностно-активными веществами (ПАВ) называют такие химические соединения, которые адсорбируются на поверхности раздела жидкостей и твердых тел и влияют на их физико-химические или химические свойства. ПАВ являются, как правило, соединениями, молекулы которых состоят из двух главных частей – радикала и функциональной группы.

Радикал представляет собой группу атомов, которая при ряде химических превращений неизменна и переходит из молекулы одного соединения в молекулу другого. Радикалы образуются, например, при отщеплении в молекулах углеводородов органических соединений атома водорода:



Место отщепленного водорода в молекуле может занять другой атом или группа атомов, обладающих определенными свойствами, что обуславливает наличие определенного электрического диполя и дипольного момента всей молекулы. Такие атомы или группы атомов называются *функциональными группами*.

- Малые добавки ПАВ позволяют управлять ходом физико-химических процессов, особенно когда в этих процессах участвуют тонкоизмельченные те-

ла, обладающие весьма развитой поверхностью. ПАВ существенно изменяют условия смачивания твердых тел жидкостями. Они усиливают или ослабляют прилипание (адгезию) жидкостей к твердым телам, способствуют измельчению последних при тонком помоле, проникая в мельчайшие трещины, развивающиеся в процессах разрушения и увеличивая их.

- ПАВ дают значительный положительный эффект в технологии обработки минеральных материалов битумами и при активации (гидрофобизации) минеральных порошков в процессе помола.

- ПАВ помогают равномерному перемешиванию самых мелких частиц, обеспечивают полное и быстрое физико-химическое взаимодействие их с окружающей средой, улучшают обрабатываемость минеральных материалов вяжущими, благодаря чему уменьшаются энергетические затраты на проведение процессов смешивания.

Простейшие поверхностно-активные молекулы в соответствии с их строением иногда представляют в виде своеобразных «головастика» (рис.1): головкой служит полярная группа, с которой химически связан достаточно длинный хвостик – углеводородный радикал.

Если какая-либо поверхность полярна или имеет собственные активные (полярные) группы, то она, естественно, будет притягивать (адсорбировать) противоположно заряженные полярные группы молекул ПАВ, которые будут при этом ориентироваться углеводородными радикалами наружу (рис. 2, а). Покрытая слоем в одну молекулу такая поверхность со стороны окружающей среды приобретает свойства, характерные для углеводородов. Она не будет смачиваться водой и потому будет гидрофобной (от греческого «ненавидящий воду»), или водоотталкивающей. Первоначально же поверхность, будучи полярной, хорошо смачивалась водой, что указывало на ее гидрофильность (от греческого «любящий воду»).

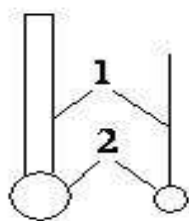


Рис. 1. Условное обозначение молекулы ПАВ:

1-углеводородный радикал;
2-функциональная (полярная) группа

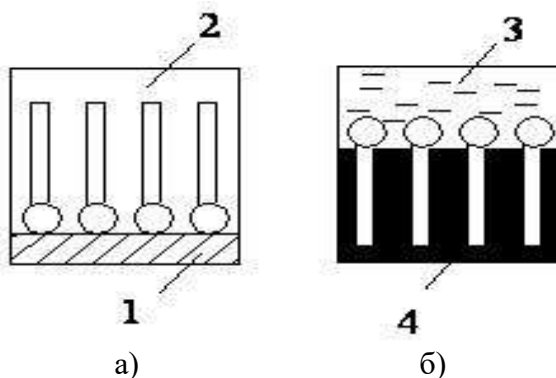


Рис. 2. Ориентация поверхностно-активных молекул в адсорбционном слое:

а - на твердой поверхности;
б - на поверхности раздела неполярной жидкости с полярной:
1-твердое тело; 2-воздух или жидкость; 3-полярная жидкость; 4-неполярная жидкость

Классификация ПАВ

Классификация ПАВ по способности образовывать ионы и заряды ионов.

Принципиально все ПАВ разделяются на две большие группы: *ионогенные* соединения, при растворении в воде диссоциирующие на ионы, и *неионогенные*, которые на ионы не диссоциируют. В зависимости от того, какими ионами обусловлена поверхностная активность ионогенных веществ

– анионами или катионами, ионогенные вещества подразделяются на *анионактивные*, *катионактивные* и *амфолитные* (амфотерные).

Анионактивные вещества диссоциируют в щелочных растворах, образуя отрицательно заряженные поверхностно-активные ионы (анионы):



Катионактивные вещества при диссоциации в кислых растворах образуют положительно заряженные поверхностно-активные ионы (катионы):



Амфолитные ПАВ содержат две функциональные группы, одна из которых имеет кислый, другая – основной характер, например карбоксильную и аминную группу. В зависимости от среды амфолитные соединения обладают анионными либо катионными свойствами.

Неионогенные ПАВ, растворяясь в воде, не образуют ионов.

Классификация ПАВ по растворимости: водорастворимые, маслорастворимые и водомаслорастворимые.

Классификация ПАВ по механизму действия. К первой группе относятся низкомолекулярные вещества, истинно растворимые в воде, не образующие коллоидных фаз (структур) ни в объеме, ни в адсорбционном слое, но обладающие поверхностной активностью на границе жидкость – газ и прежде всего вода – воздух. К ним относятся, например, спирты. Добавление их к воде снижает поверхностное натяжение воды на границе с воздухом с 72,8 до 30,5 эрг/см² и облегчает растекание воды на гидрофобной поверхности. Они являются слабыми смачивателями, слабыми пенообразователями. ПАВ этой группы применяют и как пеногасители, они снижают устойчивость пены. Пеногасители приобретают значение во многих производствах, например при нагревании и испарении воды из гудрона или битума, когда создается устойчивая пена.

Ко второй группе относятся поверхностно-активные вещества, которые, адсорбируясь на границе двух несмешивающихся жидкостей или твердых поверхностях раздела, понижают свободную поверхностную энергию жидкости или твердого тела, облегчают образование новых поверхностей, т. е. дисперги-

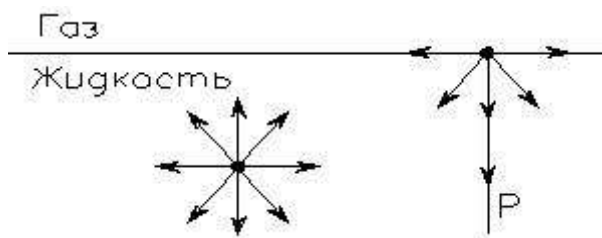
рование, например, в процессах распыления жидкостей, эмульгирования, диспергирования твердых тел. Такие вещества называют диспергаторами.

Третья группа ПАВ дает гелеобразную структуру как в адсорбционном слое, так и в растворе. ПАВ этой группы повышают прилипание битума к каменному материалу. Такое увеличение адгезии достигается гидрофобизацией минеральных поверхностей в результате химически фиксированной адсорбции.

Четвертую группу ПАВ образуют моющие вещества, занимающие первое место по объему практического использования. Их предназначение – отмы- вать разнообразные загрязнения с поверхностей, переводя эти загрязнения в со- стояние стабилизированной суспензии (или эмульсии) и тем самым препят- ствуют их обратному налипанию на поверхности, с которых отмыты. Они долж- ны обладать всем комплексом свойств, характерных для ПАВ указанных трех групп: сильно понижать поверхностное натяжение воды на границе с воздухом, т. е. обладать высокой поверхностной активностью, смачивающим, гидрофили- зирующим действием. Образую пространственные мицеллярные структуры в объеме раствора и, особенно, в поверхностных слоях, моющие вещества долж- ны являться не только диспергаторами, но и сильными стабилизаторами су- пензий и эмульсий (эмульгаторами).

Практическая работа № 4 Свойства водных растворов поверхностно-активных веществ

Поверхностное натяжение. Каждая молекула в растворе испытывает притяжение со стороны окружающих ее молекул, поэтому равнодействующая всех этих сил равна нулю. Но у молекулы, находящейся на поверхности, силы не сбалансированы; на нее больше действуют молекулы жидкости, чем воздуха, и она стремится втянуться внутрь жидкости. Чтобы оторвать молекулу с по- верхности, требуется затратить работу.



Поверхностное натяжение – это работа образования единицы новой по- верхности или это сила, действующая на поверхности (касательная к ней) и стремящаяся сократить свободную поверхность тела до наименьших возмож- ных пределов при заданном объеме. Поверхностное натяжение измеряется в эрг/см² или дин/см в соответствии с определением.

Концентрация ПАВ в адсорбц. слое на неск. порядков выше, чем в объеме жидкости, поэтому даже при ничтожно малом содержании в воде (0,01-0,1% по

массе) ПАВ могут снижать поверхностное натяжение воды на границе с воздухом с $72,8 \cdot 10^{-3}$ до $25 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².

Так как появление поверхности жидкости требует совершения работы, каждая среда «стремится» уменьшить площадь своей поверхности: в невесомости капля принимает сферическую форму (сфера имеет наименьшую площадь поверхности среди всех тел одинакового объёма) или же струя воды «слипается» в цилиндр.

Сорбция.

Процессы поглощения газов или растворенных веществ твердыми материалами или жидкостями могут протекать по разным механизмам и носят общее название *сорбции*.

Вещества – поглотители называют сорбентами, поглощаемые газы или растворенные вещества – сорбатами.

Различают четыре основных сорбционных процесса: абсорбцию, адсорбцию, капиллярную конденсацию, хемосорбцию.

Абсорбцией называют поглощение пара или газа всем объемом твердого вещества или жидкостью. Этот процесс состоит в проникновении молекул газа в массу сорбента и заканчивается образованием твердого или жидкого раствора. Примером является поглощение CO₂ водой. Добыча золота включает абсорбцию золота ртутью.

Адсорбция. ПАВ вследствие дифильных свойств адсорбируются на поверхности раздела фаз: жидкость, газ, твердое тело. Адсорбция ведет к уменьшению свободной энергии поверхности. Различают физическую и химическую адсорбцию. При физической адсорбции вещество сохраняет свои свойства, при химической адсорбции оно реагирует с адсорбентами. Если концентрация молекул растворенного вещества на поверхности больше, чем в объеме раствора, то адсорбция положительная. Если концентрация молекул в объеме раствора больше, чем на поверхности, то адсорбция отрицательная.

Хемосорбции поглощение вещества поверхностью твердого тела, при котором между адсорбированными молекулами и твердым телом возникает химическое взаимодействие. Характерная особенность хемосорбции – её специфичность, т.е. чувствительность к химической природе адсорбента и чистоте поверхности. Хемосорбированные молекулы образуют на поверхности мономолекулярный слой.

Межфазное натяжение. Межфазным натяжением принято называть поверхностное натяжение между двумя жидкостями или жидкостью и твердым телом. При соприкосновении двух несмешивающихся жидкостей каждая из них оказывает влияние на поверхностные свойства. Поверхность раздела между несмешивающимися жидкостями можно рассматривать как поверхность, состоящую из молекул одной жидкости между молекулами другой жидкости. По-

верхностное натяжение между ними численно равно работе, которую требуется затратить для увеличения поверхности раздела на 1 см^2 . Межфазное натяжение тем меньше, чем больше взаимная растворимость двух жидкостей. При полном смешении жидкостей межфазное натяжение равно нулю. Межфазное натяжение между водой и несмешивающимся парафином будет высоким. При добавлении мыла снижается поверхностное натяжение воды и снижается межфазное натяжение.

Смачивание. Смачивание относится к числу наиболее распространенных физико-химических явлений. Смачивание может быть полезным, например, при смазке узлов трения и подшипников, цемента и наполнителей в технологии строительных материалов и вредным, например, при изготовлении водонепроницаемой ткани, получении гидрофобных строительных материалов.

Смачивание – это явление, наблюдаемое на границе соприкосновения трех фаз: твердое тело — жидкость — жидкость или твердое тело — жидкость — газ. Смачивание определяется интенсивностью взаимодействия между молекулами различных веществ. Если молекулы жидкости взаимодействуют с молекулами твердого тела сильнее, чем между собой, то жидкость будет растекаться по поверхности твердого тела. Если взаимодействие между молекулами жидкости сильнее, чем между молекулами твердого вещества и жидкости, то смачивания твердого тела не происходит. Между этими крайними случаями могут быть промежуточные положения в зависимости от соотношения молекулярных сил. Неполлярные жидкости с малым поверхностным натяжением хорошо смачивают все твердые тела.

Под термином «смачивание» понимают, когда краевой угол между жидкостью и твердым телом равен нулю или близок к нему, тогда жидкость свободно растекается по поверхности твердого тела. Под термином «несмачивание» понимают явление, когда краевой угол между жидкостью и твердым телом превышает 90° и жидкость стремится собраться в сферическую каплю.

Влияние ПАВ на прилипание битума к поверхности минеральных материалов различной природы

В соответствии с адсорбционно-молекулярной теорией адгезии начальной стадией формирования адгезионного контакта является приближение молекул битума к поверхности. Этот процесс может ускоряться повышением температуры, введением пластификаторов и растворителей. На последующей стадии между молекулами битума и минерального материала начинают действовать молекулярные силы.

Необходимое условие адгезии – смачивание битумом поверхности минерального материала. ПАВ, содержащиеся в битуме или нанесенные на поверхность минерального материала, улучшают смачивание. Даже на мокром минеральном материале битум в присутствии ПАВ распределяется в виде пленки,

тогда как без ПАВ он собирается в капли. После смачивания происходит избирательная адсорбция и хемосорбция активных компонентов битума на минеральной поверхности.

Если химического взаимодействия не наблюдается, адсорбция будет физической и представляет собой обратимый процесс.

Смачивание и адсорбция сопровождаются ориентацией молекул ПАВ: полярными группами к гидрофильной поверхности минерального материала, а гидрофобными радикалами — наружу.

Прочное сцепление битумов с минеральными материалами достигается в тех случаях, когда между активными высокомолекулярными соединениями битума и минеральным материалом происходит химическая реакция с образованием водонерастворимых соединений (хемосорбционных соединений типа мыл). При этом даже 30-минутное кипячение в воде щебня, обработанного битумом, не приводит к отслоению последнего. Если же в зоне контакта битума с минеральным материалом отсутствуют химически сорбирующиеся ПАВ и имеет место лишь физическая адсорбция, то битум легко вытесняется кипящей водой с поверхности щебня. Этот эффект, как известно, положен в основу определения способности битумов прилипать к поверхности минеральных материалов.

Поверхность минеральных материалов, встречающихся в дорожно-строительной практике, мозаична, и каждая активная зона адсорбирует свой определенный вид полярных групп. Но в целом вся поверхность может характеризоваться как сумма специфических активных зон определенного заряда. Учитывая превалирование тех или иных активных зон, поверхность большинства известняков считается заряженной положительно (+), а большинство гранитов — отрицательно (—).

Тем не менее, принадлежность минерального материала к тому или иному типу горной породы (кислая, основная) однозначно не определяет степень прилипания битума к его поверхности.

Поскольку в битумах присутствуют ПАВ преимущественно анионного типа, хемосорбционные процессы возможны лишь на поверхности минеральных материалов, содержащих окислы щелочноземельных и тяжелых металлов (например, известняки, доломиты). На поверхности же минеральных материалов кислой природы адсорбция обычно имеет физический характер.

Добавка ПАВ может изменить или увеличить полярность битума. При этом концентрация ПАВ в поверхностном адсорбционном слое в десятки тысяч раз превышает концентрацию его в объеме. Адсорбционный слой молекул ПАВ осуществляет как бы переход между двумя граничащими фазами, противоположными по молекулярной природе. Благодаря этому обеспечивается тесная связь между соприкасающимися телами (адгезия).

При контактировании ПАВ с минеральными материалами в результате обменной химической реакции на поверхности минерала возникает труднорастворимая плёнка, состоящая из аниона минерала и катиона ПАВ. Закрепление аминов на поверхности кислых минеральных материалов обусловлено в значительной мере электростатической адсорбцией ионов ПАВ во внешней обкладке двойного электрического слоя.

Практическая работа № 5

Физико-химические основы обоснования выбора полимерной и армирующей добавок в составе асфальтобетонов

Сохранение стабильной структуры у асфальтобетона в покрытии в эксплуатационный период является основой его долговечности, поскольку внутренние структурные напряжения, возникающие при переходах от одной ее модификации к другой, постепенно расшатывают структуру монолита, что приводит к спонтанному нарушению его сплошности. Основной причиной структурных превращений асфальтобетона в покрытии является термочувствительность битумов.

Таким образом, в технологии производства асфальтобетона часто приходится решать компромиссную задачу. С одной стороны, для получения материала высокой прочности нужна контактная конденсационная структура, с другой стороны, необходимым условием деформативности асфальтового бетона и обратимости его первоначальных свойств является коагуляционный тип структуры. Из этих двух структур необходимо выбрать наиболее рациональную, т.е. соответствующую данному производственному назначению. Так, в условиях современного интенсивного движения тяжелого транспорта, рациональной следует считать коагуляционную структуру по следующим соображениям.

Обратимость, т.е. способность в большей или меньшей степени восстанавливать структуру и свойства, самым непосредственным образом влияет на долговечность материала. В основе этого процесса лежит тиксотропность коагуляционных структур. Обратимость как специфическое свойство асфальтобетона, безусловно, является положительным. Однако процессы и явления, связанные с обратимостью, протекают, как правило, очень медленно, из-за чего их роль часто сводится "на нет".

Поскольку тиксотропность асфальтобетона обусловлена, главным образом, присутствием битума, следовательно, и ее степень возможно значительно понизить увеличением структурной вязкости органического вяжущего.

Структурная вязкость, также как и тиксотропия, связана с обратимым падением вязкости, вызванным ростом напряжений сдвига, с последующим восстановлением структуры в состоянии покоя. Однако в случае структурной вяз-

кости восстановление происходит практически мгновенно, без запаздывания, тогда как процесс тиксотропии требует достаточно продолжительного времени.

Для повышения структурной вязкости битумов широко используют разного рода полимерные модификаторы. Наиболее эффективными считаются высокомолекулярные термоэластопласты, такие как стирол-бутадиен-стирольные (SBS) каучуки либо их отечественные аналоги – ДСТ-30-01 и ДСТ-30Р-01 Воронежского завода синтетического каучука. Их введение позволяет значительно расширить интервал работоспособности битумов, несколько повысить их прочностные показатели. Однако, возможности полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) в повышении прочностных показателей асфальтобетона до известной степени ограничены по следующим причинам. ПБВ по сути своей являются полимерными органодисперсиями. Иначе говоря – это двухфазные системы, в которых дисперсной фазой являются полимерные частицы коллоидных размеров и асфальтены (А), а непрерывной фазой (дисперсионной средой) – мальтены битума.

В последние годы получили развитие дисперсно-армированные асфальтобетоны, упрочненные волокнами или нитевидными кристаллами.

Структуру армированной битумной матрицы асфальтобетона можно представить следующим образом: упругие частицы в виде волокон, которые являются дисперсной фазой, взвешены в упругой среде, в нашем случае – в битуме. Дисперсионная среда при непрерывном деформировании течет, возникают напряжения, растягивающие или сжимающие волокна. Таким образом, упругость этой дисперсной системы проявляется при течении раствора.

В большинстве случаев в качестве армирующего агента использовались частицы в виде нитей, не обладающих жесткостью. Натяжение вызывает выпрямление нитей. Это уменьшает взаимодействие частиц с потоком жидкости и поэтому, вопреки ожиданию, вязкость системы понижается. Такой механизм чаще всего бывает совершенно независимым от температуры.

Касаясь влияния температуры, можно предположить, что силы связей внутри этого беспорядочного агрегата бывают обычно настолько малы, что по мере повышения температуры агрегат постепенно самопроизвольно распадается. Если дисперсной фазой являются упругие частицы в виде пружинок или иной формы, то результат будет совершенно отличным от описанного выше. Частица под действием напряжения не только деформируется в потоке, но и вращается. При повороте пружина освобождается от нагрузки и упруго восстанавливает свою форму. При этом в частице должны возникать передающие жидкости колебания, в результате которых возрастает количество рассеиваемой энергии. Если такой механизм существует, то при повышении скорости сдвига должна возрасти относительная вязкость.

Влияние температуры на структурную вязкость подробно изучено М. Рейнером, Е. Кремером, Р. Вильямсоном и другими исследователями в области реологии. Согласно их выводам, степень температурной зависимости упругих золей значительно понижается, если частицы дисперсной фазы имеют форму свернутых нитей. Замечено, что структурная вязкость не может зависеть от температуры, если явление имеет геометрико-механическую природу (например, выпрямление клубков и спиралей).

Следовательно, эффективность упрочнения битумной матрицы и повышение ее структурной вязкости зависит не только от количества и дисперсности волокна, но и от природы и конформации его полимерной цепи. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе компонента, армирующего дисперсионную среду асфальтобетона.

Большое значение для обеспечения долговечности покрытия имеет снятие внутренних напряжений в битумных пленках, способствующих преждевременному разрушению асфальтобетона. Отсюда следует вывод, что одним из перспективных направлений при исследовании асфальтобетона является изучение факторов, способных снизить концентрацию напряжений в битумных пленках, поскольку легко предположить, что существует качественное соответствие между прочностью пленки и долговечностью структуры асфальтобетона.

Итак, коллоидно-химическое рассмотрение структуры асфальтобетона позволило выяснить механизм управления структурно-механическими свойствами асфальтобетона, что, в свою очередь, открывает возможность регулировать такие его свойства, как прочность, деформативность, долговечность.

Для асфальтобетона, как и любого другого композиционного материала, чрезвычайно важно сформулировать условия выбора составляющих, исходя из особенностей их структуры и напряженно-деформированного состояния композита.

Исследования показали, что если природа фаз остается неизменной, то структурно-механические свойства асфальтобетона являются функцией фазового соотношения. Если же природа матрицы изменяется, то структурно-механические свойства в большей степени зависят от качественных характеристик среды, т.е. вяжущей части композита.

Из напряженно-деформированного состояния асфальтобетона, очевидно, что наиболее равномерные условия работы будут в материале покрытия при равенстве модулей упругости составляющих его компонентов. Сама по себе битумная матрица обладает низкими значениями модуля и прочности. Для повышения ее механических свойств, как показали теоретические исследования, целесообразно воспользоваться известным принципом усиления аморфных структур волокнами.

В первую очередь необходимо определить физическое состояние, в котором должны находиться полимерные волокна в асфальтобетоне.

Полимерные волокна всегда анизотропны – полимерные цепи в них преимущественно ориентированы вдоль оси волокна. Чем выше степень анизотропии, тем больше модуль Юнга для продольных деформаций и тем более прочным является волокно. Отсюда следует, что в качестве агента, армирующего битумную матрицу, наиболее эффективно использовать волокна из обрезков готового синтетического материала, поскольку при промышленных операциях в процессе их изготовления возникают напряжения, как правило, значительно превышающие те, которые встречаются при эксплуатации асфальтобетонного покрытия.

Следует отметить, что "кристаллическими" называют высокоупорядоченные участки волокон, хотя они ничего общего не имеют с кристаллами кварца. Более того, они не обладают ни одной из характеристик, присущих классическим многогранным кристаллам. В современной науке понятие "кристалл" имеет достаточно широкий смысл, в соответствии с которым определяющей характеристикой кристалла считается не внешняя форма (габитус), а внутреннее строение, регулярность в расположении атомов и групп атомов. Такие объекты могут быть изучены лишь с помощью рентгеноструктурного анализа.

Кристаллические участки делают полимерный материал более прочным. Отсюда следует, что из одного и того же полимера можно получать материалы, различные по своим свойствам – в зависимости от степени кристалличности. Многие из этих свойств прямо связаны с химической структурой макромолекул. Если волокна распределены в полимерном растворе или расплаве (в нашем случае – в битуме), получают структуры типа матрица-фибрилла. Большинство макромолекул имеют форму клубков. При сжатии матрицы клубки сжимаются, при растягивающих усилиях – растягиваются в направлении течения.

Анализ приведенных выше теоретических исследований позволяет предположить, что к числу наиболее эффективных материалов, армирующих дисперсионную среду асфальтобетона, относятся полиэтиленовые и полипропиленовые волокна, а точнее их сочетание.

Обоснованность такого выбора обусловлена следующим.

1. Повышению прочности битумной матрицы способствует зигзагообразная конформация цепей полиэтилена. Для их растяжения в направлении цепи требуется увеличить валентные углы и длины связей, а это сопряжено с большими затратами энергии.

2. Спиральная структура макромолекул полипропилена способствует их плотной упаковке в малом объеме структурированного битума. Это качество полипропилена, в сочетании с его высокой теплостойкостью, дает основание говорить о повышении демпфирующей способности асфальтобетона.

Таким образом, основную часть механических нагрузок принимает полиэтиленовая "арматура", матрица передает эти нагрузки на каменный материал, а поскольку она мягче наполнителя (за счет глобул полипропилена), то служит и в качестве амортизатора. Кроме того, клубкообразные цепные молекулы в мальтеновой среде битума набухают до размеров, во много раз превышающих их характеристический (невозмущенный) объем. При этом сильно возрастает вязкость структуры армированного вяжущего, что является главным условием обратимости свойств асфальтобетона.

Однако, как уже отмечалось выше, главными причинами, ограничивающими широкое применение волокон, являются невозможность их равномерного распределения в объеме асфальтобетонной смеси либо битума, а также недостаточное их сцепление с минеральным наполнителем.

Особые условия создаются в асфальтовом бетоне при равномерном распределении волокон в объеме битума. От этого зависит идентичность во всех частях покрытия таких характеристик, как прочность, деформативность и др.

Неравномерность распределения дисперсной арматуры вызывает появление напряжений, которые снижают срок службы материала, способствуют неравномерной усадке, трещинообразованию.

Характер распределения во многом, если не в основном, зависит от природы, дисперсности и формы частиц, а также от технологии приготовления асфальтобетона. В асфальтобетоне внутренние напряжения предлагается понизить введением регранулята полимерных этилен-пропиленовых волокон ППД непосредственно в смеситель на разогретый минеральный материал до подачи битума. Частично "оплавленные" волокнистые гранулы увеличивают число точек контакта между частицами фазы, что значительно повышает прочность коагуляционной структуры, поскольку связь в этих контактах, кроме ван-дер-ваальсовых, обусловлена также химическими силами. Кроме того, как показано выше, такая связь носит упруго-эластичный характер. Такая технология приготовления асфальтобетонной смеси способствует образованию в материале прочной однородной обратимо деформируемой и, как следствие, ненапряженной структуры.

Приведенный теоретический анализ позволил сформулировать рабочую гипотезу: получение полимерно-армированного асфальтобетона, обладающего повышенной прочностью и устойчивостью, может быть достигнуто путем введения в асфальтобетон добавки регранулята полимерных этилен-пропилена, образующего совместно с битумом смешанную интерполимерную структуру вяжущего с взаимопроникающими решетками полимерной добавки и битума и способствующего формированию в асфальтобетоне упрочненной армированной структуры.

Практическая работа № 6

Полимерно-дисперсно-армированный асфальтобетон и его свойства

Полимерно-дисперсно-армированный асфальтобетон получают введением небольшого количества регранулята полимерных этилен-пропилена – ППД в составе асфальтобетонной смеси. При этом ППД оказывает на асфальтобетон двойное действие. С одной стороны, более низкоплавкая полиэтиленовая составляющая (температура плавления полиэтилена 120-1300 С), растворяясь в битуме, выступает в роли полимерной добавки. С другой стороны, полипропиленовая составляющая ППД в этих условиях не плавится и не растворяется, выступая в роли волокнистой армирующей добавки.

Для оценки влияния ППД на качественные показатели асфальтобетона приготавливали мелкозернистую щебеночную асфальтобетонную смесь с различным содержанием исследуемой полимерно-армирующей добавки (0 - 2,0 % от массы минеральных материалов). Данные пределы содержания добавки выбраны на основе проведенных исследований влияния ППД на свойства вяжущего.

Исследование свойств асфальтобетона, в зависимости от количественного содержания полимерно-армирующей добавки, проводили на образцах приготовленного в лабораторных условиях щебеночного асфальтобетона типа Б с содержанием щебня от 40% до 50% (в подобранном составе - 46% щебня). Данный тип асфальтобетона является наиболее сдвигоустойчивым и водостойким для климатических условий страны. Таким образом, при положительном эффекте добавок ППД в асфальтобетоне типа Б будут получены асфальтобетонные смеси, обладающие наиболее высокими эксплуатационными показателями по сравнению со всеми другими используемыми в настоящее время типами асфальтобетонных смесей.

Добавку ППД вводили на разогретый минеральный материал при температуре 1700 С, перемешивали в течение 20 - 30 сек до расплавления полиэтиленовой составляющей ППД на поверхности минерального материала.

Результаты проведенных испытаний указывают на неоднозначное влияние различного количества добавки на физико-механические свойства асфальтобетона.

Прочность асфальтобетона на растяжение при 0⁰ С, характеризующая стойкость асфальтобетона к трещинообразованию в зимний период, при увеличении количества добавки сначала повышается, затем снижается. Повышение прочности асфальтобетона можно объяснить двумя факторами: повышением деформативности образующегося вяжущего за счет растворения в битуме этиленовой составляющей добавки, что подтверждено исследованиями и способностью полипропиленовых волокон воспринимать значительную долю приложенных растягивающих напряжений. Снижение же прочности асфальтобетона

обусловлено изменением его поровых характеристик при введении армирующих добавок. Установлено, что с увеличением количества ППД повышается как остаточная пористость асфальтобетона, так и пористость минерального остова.

Очевидно, что при уплотнении асфальтобетонной смеси эластичные неразтворенные полипропиленовые частицы деформируются в межзерновом пространстве, а после снятия нагрузки стремятся принять первоначальную форму, раздвигая тем самым минеральный остов асфальтобетона. Повышение пористости, в свою очередь, ведет к снижению показателей прочности асфальтобетона на растяжение.

Таким образом, характер зависимости прочности асфальтобетона на растяжение от содержания ППД определяется величинами противоположно действующих эффектов - полимерного армирования и разуплотнения структуры материала. При незначительном количестве вводимой добавки 0,25 - 0,75 % преобладает эффект армирующего влияния, дальнейшее увеличение добавки приводит к преобладанию разуплотняющего воздействия на структуру асфальтобетона. Введение добавки ППД в количестве 0,5 – 0,75 % в 1,3 раза повышает прочность асфальтобетона на растяжение.

Показатель водонасыщения асфальтобетона при увеличении содержания полимерно-армирующей добавки до 1,0% монотонно убывает и остается на этом уровне при дальнейшем увеличении содержания добавки. Снижение водонасыщения асфальтобетона объясняется более прочным взаимодействием битума с каменным материалом на поверхности зерен, так как предварительно на разогретый каменный материал вводится исследуемая добавка ППД. Этиленовая составляющая добавки, расплавляясь на поверхности каменного материала, обволакивает его тонкой клейкой полимерной пленкой. При последующем введении в смесь горячего битума на поверхности каменного материала образуется прочная битумо-полимерная пленка, препятствующая прониканию влаги.

Коэффициент водостойкости, характеризующий коррозионную устойчивость асфальтобетона, с увеличением содержания ППД монотонно возрастает, достигая значения 0,94 при содержании добавки 0,5%. Увеличение коэффициента водостойкости связано со снижением водонасыщения асфальтобетона. Однако дальнейшее увеличение добавки свыше 0,75% приводит к некоторому снижению коэффициента водостойкости, что связано с проявлением разуплотняющего действия добавки.

Наиболее важное значение для автомобильных дорог, эксплуатируемых в условиях Юга России, имеет сдвигоустойчивость асфальтобетона. Анализ результатов испытания полимерно-армированного асфальтобетона при повышенных температурах показал значительное увеличение сдвигоустойчивости

и теплостойкости данного асфальтобетона по сравнению с обычным асфальтобетоном.

Преимущество асфальтобетона с исследуемой добавкой РПЭП также подтверждается исследованиями температурной устойчивости. Известно, что наиболее существенным недостатком асфальтобетонных смесей является значительное снижение прочностных показателей с увеличением температуры эксплуатации. Традиционные асфальтобетонные смеси имеют повышенную жесткость (прочность) при пониженных температурах, что способствует трещинообразованию на дорожных покрытиях, и низкие прочностные показатели при высоких летних температурах, что способствует образованию сдвиговых деформаций и колеи.

При отрицательных температурах прочность асфальтобетона с добавкой ниже прочности асфальтобетона без добавки на 15-20%, а при высоких температурах (+70 С) выше на 25-40%.

Таким образом, исследуемая полимерно-армирующая добавка оказывает комплексное воздействие на асфальтобетон, обеспечивая высокую деформативную способность при отрицательных температурах, высокую сдвигоустойчивость при летних эксплуатационных температурах и повышение модуля упругости - основного расчетного параметра конструирования дорожных одежд при строительстве и реконструкции автомобильных дорог.

Практическая работа № 7

Определение адсорбционной способности минеральных порошков

Колориметрическим методом

Колориметр КФК реализует сравнение светового потока Φ , прошедшего через исследуемый раствор неизвестной концентрацией красителя, со световым потоком Φ_0 , прошедшим через стандартный (исходный, эталонный) раствор с известной концентрацией красителя. Световые потоки Φ и Φ_0 с помощью фотоприемника преобразуются в электрические сигналы U , U_0 и U_T (U_T – сигнал, соответствующий неосвещенному приемнику), которые обрабатываются микроЭВМ колориметра и представляются на световом табло в виде значений: а) коэффициента пропускания; б) оптической плотности D ; в) скорости изменения оптической плотности раствора при адсорбции красителя A за время t ; г) концентрации красителя в растворе к моменту измерения t (с). Все эти изменяющиеся во времени свойства

раствора-красителя микроЭВМ колориметра рассчитывают с использованием формул.

Используемые приборы и оборудование:

1. Весы лабораторные квадрантные технические ВЛКТ – 1 шт.
2. Мерные цилиндры или стаканы – по числу бригад (от 1 до 6).
3. Колбы конические или химические стаканы – по числу бригад.
4. Сита с

отверстиями 0,08 (0,071); 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,50 мм.

5. Сосуд стеклянный с притертой пробкой для хранения растворов битума в органическом растворителе – 1 шт. 26

6. Колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-3 с комплектом принадлежностей (набор кювет № 4, светофильтры контрольные).

Устройство фотоколориметра КФК-3 показано на рис. 1.

Принципиальная оптическая схема прибора КФК-3. Нить лампы 1 изображается конденсором 2 в плоскости диафрагмы D_1 (0,8x4,0), заполняя светом щель диафрагмы. Далее, диафрагма D_1 изображается вогнутой дифракционной решеткой 4 и вогнутым зеркалом 5 в плоскости такой же щелевой диафрагмы D_3 (0,8x4,0). Дифракционная решетка и зеркало 5 создают в плоскости диафрагмы D_3 растянутую картину спектра. Поворачивая дифракционную решетку вокруг оси, параллельной штрихам решетки, выделяют щелью диафрагмы D_3 излучение любой длины волны от 315 до 990 нм. Объектив 7, 8 создает в кюветном отделении 9 слабо сходящийся пучок света и формирует увеличенное изображение щели D_3 перед линзой 10. Линза 10 сводит пучок света на приемнике 11 в виде равномерно освещенного светового кружка. Для уменьшения влияния рассеянного света в ультрафиолетовой области спектра за диафрагмой D_1 установлен светофильтр 3, который работает в схеме при измерениях в спектральной области 315-400 нм, а затем автоматически выводится.

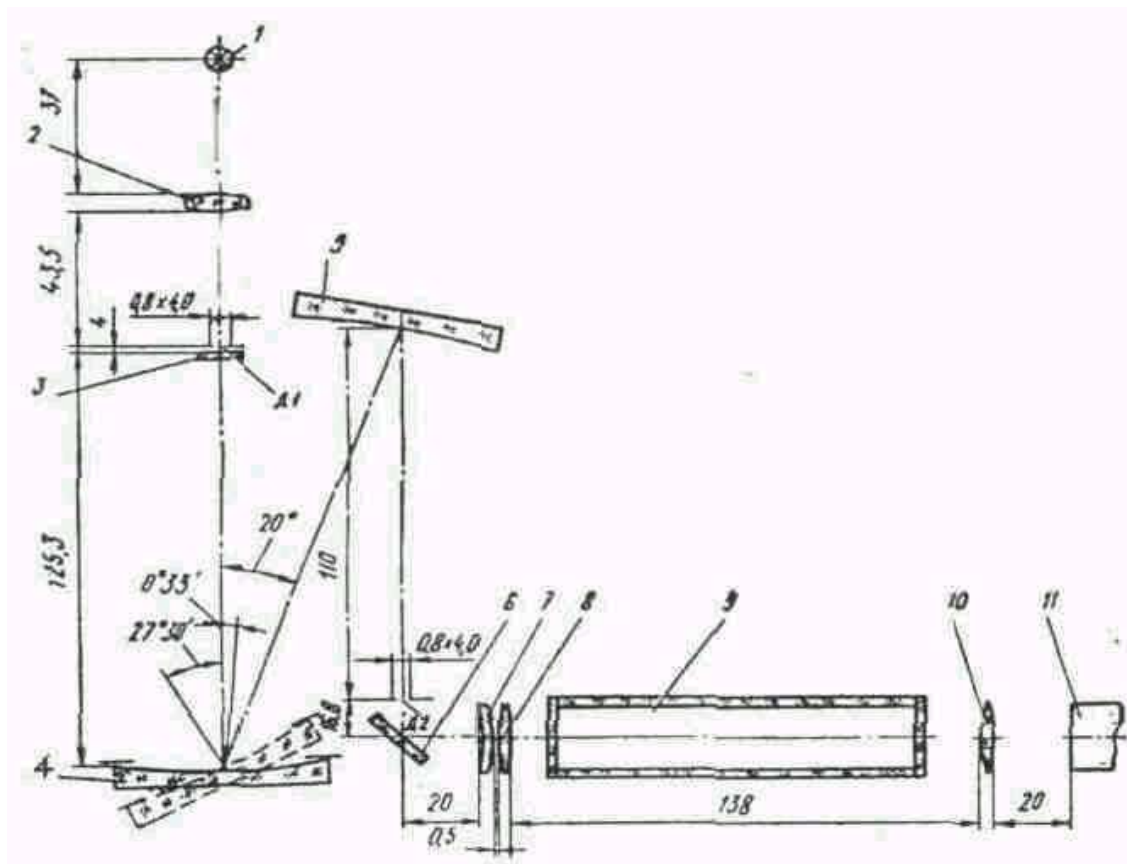


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема колориметра КФК-3: 1 – электро- лампа; 2 – линза-конденсор; 3 – светофильтр и диафрагма D_1 ; 4 – дифракционная решетка; 5 – вогнутое зеркало; D_2 – диафрагма; 6 – плоское зеркало; 7, 8 – линзы объектива; 9 – прямоугольная кювета с растворами; 10 – линза; 11 – приемник светового пучка

В кюветное отделение (между объективом 7, 8 и линзой 10) устанавливаются прямоугольные кюветы 9.

Электрическая схема фотометра, представленная на рис. 2, состоит из преобразователя светового излучения в электрический сигнал (фотодиода *VD*), усилителя постоянного тока *A1*, микропроцессорной системы *A2*, преобразователя угла поворота дифракционной решетки в напряжение *A3* вместе с датчиком угла поворота, стабилизатора напряжения осветителя *A4* и блока питания фотометра *A5*.

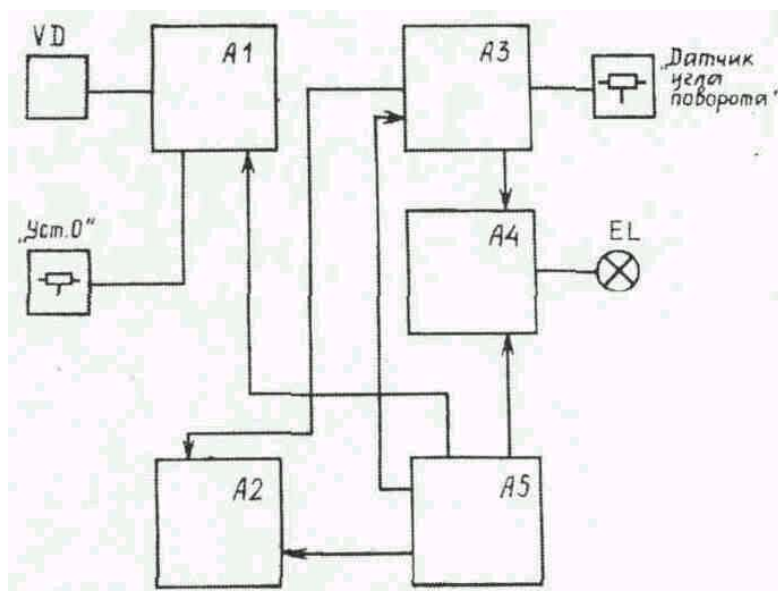


Рис. 2. Электрическая схема колориметра КФК-3: *VD* – фотодиод; *A1* – усилитель постоянного тока; *A2* – микропроцессорная система; *A3* – преобразователь угла поворота дифракционной решетки в напряжение с датчиком угла поворота; *A4* – стабилизатор напряжения осветителя; *A5* – блок питания колориметра

Конструкция и работа составных частей колориметра

Колориметр (рис. 3) выполнен в виде одного блока. На металлическом основании 3 закреплены узлы колориметра, которые закрываются кожухом 1. Кюветное отделение закрывается съемной крышкой 5.

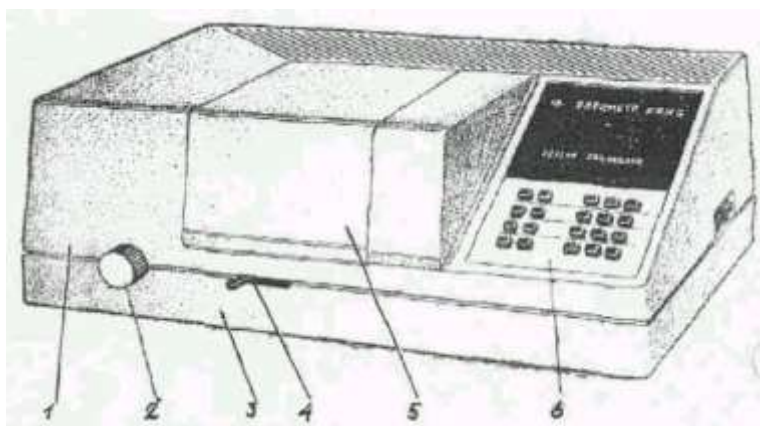


Рис. 3. Общий вид фотометра КФК-3: 1 – кожух; 2 – ручка управления дифракционной решеткой; 3 – основание прибора; 4 – тумблер ввода в световой луч кювета с эталонным или исследуемым раствором; 5 – крышка кюветного отделения; 6 – клавиатура и цифровое табло микропроцессорной системы

В колориметр входят фотометрический блок 1, 2, 5 (рис. 4), блок питания 3, микропроцессорная система 4.

На боковой стенке колориметра (рис. 5) расположены ось резистора 1 (УСТ. 0) и тумблер 2 (СЕТЬ).

На задней стенке основания колориметра (см. рис. 5) расположена розетка 5 для подключения к нему термопечатающего устройства типа УТП-2.

Блок фотометрический. В фотометрический блок входят: осветитель, монохроматор, кюветное отделение, кюветодержатель, фото- метрическое устройство. Конструкция механизма осветителя (см. рис. 7) обеспечивает перемещение лампы в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Монохроматор 1 (см. рис. 4) служит для получения излучения заданного спектрального состава и состоит из корпуса, узла входной щели, сферического зеркала, дифракционной решетки, узла выходной щели и синусного механизма.

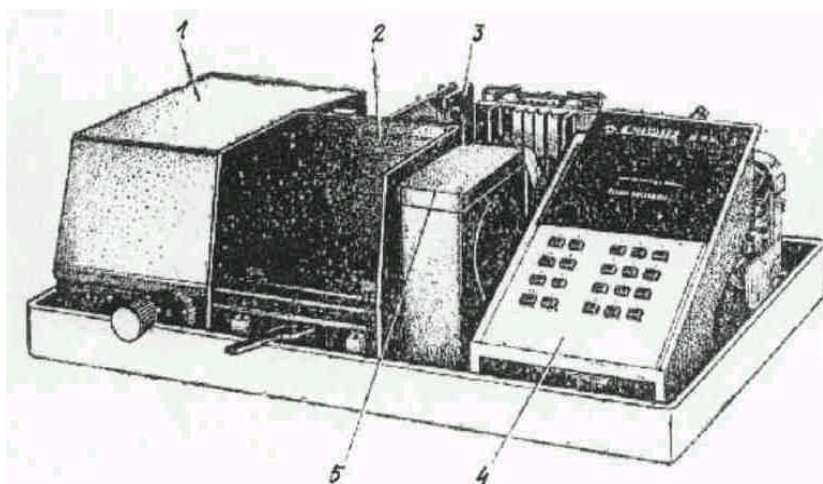


Рис. 4. Вид колориметра КФК-3: 1 – монохроматор; 2 – кюветное отделение; 3 – блок питания; 4 – клавиатура и табло микропроцессорной системы; 5 – фотометрическое устройство

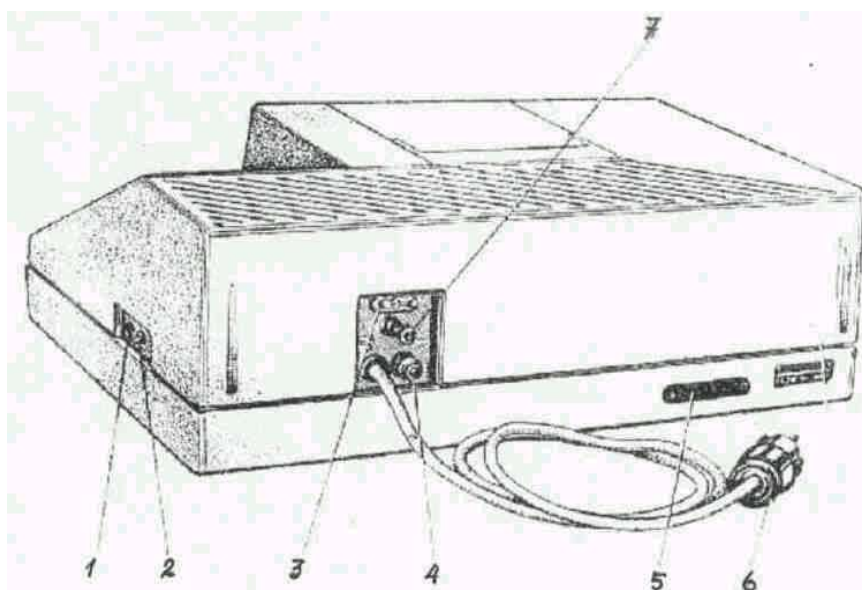


Рис. 5. Вид фотоколориметра КФК-3 сзади: 1 – резистор; 2 – тумблер сетевого напряжения; 3 – розетка для подключения блока проточной кюветы; 4 – предохранитель (1А); 5 – розетка для подключения печатающего устройства; 6 – электрошнур с вилкой для включения в сеть; 7 – зажим защитного заземления

Ручка 2 (см. рис. 3) служит для поворота дифракционной решетки через синусный механизм и установки требуемой длины волны в нанометрах.

Кюветное отделение 2 (см. рис. 4) представляет собой отсек, который с помощью болтов крепится к корпусу монохроматора. В правой части этого корпуса расположен карман 5 с крышкой, в котором размещено фотометрическое устройство. В фотометрическое устройство входит фотодиод и усилитель постоянного тока. Усилитель постоянного тока (УПТ) устанавливается в колориметр через разъем.

Для контроля выходного напряжения УПТ на печатной плате, находящейся у боковой стенки колориметра имеется 2 гнезда, закрытых кожухом 1 (см. рис. 3). На этой же плате расположен резистор 1 (см. рис. 5).

В кюветодержатель устанавливают кюветы с растворителем (контрольным раствором и исследуемым раствором) и помещают их в кюветное отделение 2 (см. рис. 4).

Кюветодержатель устанавливают в кюветное отделение на столик так, чтобы две маленькие пружины находились с передней стороны.

Ввод в световой пучок одной или другой кюветы осуществляется поворотом рукоятки 4 (см. рис. 3) до упора влево или вправо.

При установке рукоятки до упора влево в световой пучок вводится кювета с исходным раствором, при установке рукоятки до упора вправо в световой пучок вводится кювета с исследуемым раствором.

При открытой крышке кюветного отделения шторка перекрывает световой пучок.

Блок питания. В блоке питания 3 (см. рис. 4) расположены печатные платы стабилизаторов напряжений, силовой трансформатор.

На боковой стенке блока питания имеется выключатель сетевого напряжения (тумблер) 2 (см. рис. 5).

На задней стенке блока питания (см. рис. 5) имеется электрошнур с вилкой 6 для включения в сеть, предохранитель 4 (1А), розетка 3 для подключения блока проточной кюветы, а также зажим защитного заземления 8. На вилке 6 имеется заземляющий контакт. Вилка 6 должна подсоединяться к розетке, соединенной с заземляющей шиной.

Микропроцессорная система. Микропроцессорная система 4 (см. рис. 4) состоит из двух печатных плат, соединенных между собой разъемом. К фотометру система подсоединяется через разъем. Клавиатура и цифровые табло системы выходят на переднюю панель фотометра.

Принадлежности и сменные части

Кюветы. К фотометру прилагается набор прямоугольных кювет

№ 4. Рабочая длина и объем кювет 1 (рис. 6) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Рабочая длина и объем кювет из набора №4

Рабочая длина кюветы, мм	30	20	10
Объем, мл	14	9	5

В набор входят по три кюветы каждого размера. Кюветы 1 устанавливают в кюветодержатель 2.

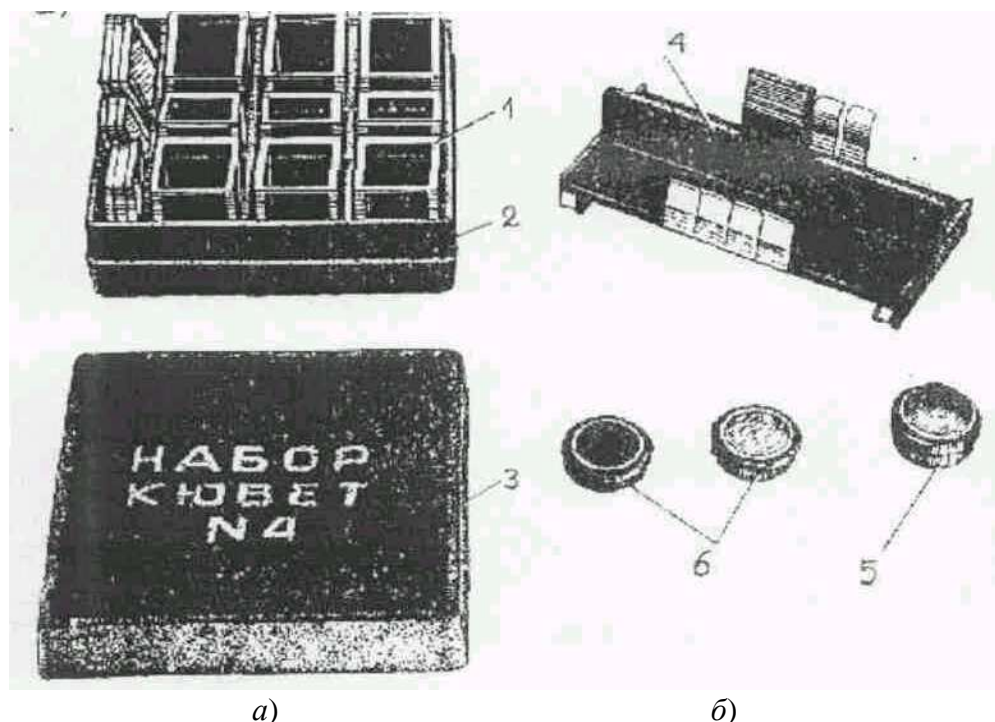


Рис. 6. Набор прямоугольных кювет № 4 (а) и контрольных светофильтров (б) к колориметру КФК-3: 1 – кюветы, 2 – контейнер для кювет; 3 – крышка контейнера; 4 – кюветодержатель; 5 – светофильтр «К-3»; 6 – светофильтры «К-1» и «К-2»

Рабочая длина и объем кювет из наборов № 1, 2 и 3 приведены в табл.2.

Таблица 2

Рабочая длина и объем кювет из наборов № 1, 2 и 3

Набор №1	Рабочая длина кюветы, мм	20	10	5	3	1
	Объем, мл	9	5	2,3	1,2	0,4
Набор №2	Рабочая длина кюветы, мм	50	30	20	10	5
	Объем, мл	20	14	9	5	2,3
Набор №3	Рабочая длина кюветы, мм	100	50	—	—	—
	Объем, мл	45	20	—	—	—

Примечание. Наборы кювет №1, 2 и 3 поставляются по требованию заказчика.

Светофильтры контрольные. Контрольные светофильтры «К-1», «К-2» (поз. б) (см. рис. 6) с коэффициентами пропускания, близкими к 15-75 % и «К-3» (поз. 5), применяются при периодической проверке технического состояния фотометра в процессе эксплуатации.

Коэффициенты пропускания светофильтров «К-1», «К-2» и длина волны в максимуме пропускания светофильтра «К-3» измерены на фотометре и указаны в паспорте фотометра.

Общие указания по эксплуатации

Если фотометр внесен в помещение с мороза, то распаковка и расконсервация его должны производиться после 24 часов пребывания в помещении. Фо-

тометр следует извлекать из ящика осторожно и ни в коем случае не брать за рукоятки управления фотометра.

После распаковки следует проверить комплектность фотометра на соответствие паспорту, а затем ознакомиться с его работой, конструкцией и назначением всех органов управления.

Вблизи фотометра не должны находиться мощные источники электрических, магнитных полей, мощные источники света и нагревательные устройства. Не допускается попадание прямых солнечных лучей на фотометр.

Температура окружающего воздуха должна быть по возможности близкой к 20 °С, допустимый диапазон температур окружающего воздуха при работе с фотометром от 10 до 35 °С, при влажности воздуха 50–80 %.

Установку длин волн необходимо выполнять подводкой со стороны коротких волн к более длинным. Если при установке значение длины волны перешло требуемое – вновь вернуться на 20–30 нм к более коротким волнам и повторно подвести к требуемому значению длины волны. Чувствительность фотометра в ультрафиолетовой области спектра наименьшая, поэтому для получения надежных результатов измерения в области спектра 315–350 нм рекомендуется оптическую плотность раствора или образца выбирать не более 1.

Рабочие поверхности кювет должны перед каждым измерением тщательно протираться спиртоэфирной смесью. При установке кювет в кюветодержатели нельзя касаться пальцами рабочих участков поверхностей (ниже уровня жидкости в кювете). Наличие загрязнений или капель раствора на рабочих поверхностях кюветы приводит к получению неверных результатов измерений.

Жидкость наливается в кюветы до метки на боковой стенке кюветы. Жидкость в ограниченном объеме кюветы в некоторых случаях образует мениск. По капиллярам, в особенности по углам кюветы, жидкость поднимается на высоту до 6 мм.

Если уровень жидкости превышает метку на боковой стенке кюветы, то наблюдается затекание жидкости по углам, что создает впечатление протекания кюветы.

Не наклонять кювету с жидкостью при установке в кюветодержатель. Закрывать кюветы крышками.

При загрязнении защитного стекла МПС, для снятия результатов измерений, необходимо протереть защитное стекло сухой ветошью при отключенном фотометре. Не допускается производить протирку ветошью, смоченной растворителями.

Кратковременное пропадание индикации после протирки защитного стекла МПС не является дефектом.

Во время неправильного транспортирования возможны случаи сбивания лампы КГМ 12-10. При этом в кюветном отделении в плоскости шторки может нарушиться изображение щели. Для восстановления изображения щели симметрично относительно диафрагмы необходимо воспользоваться юстировочными винтами 1, 2, 3 (см. рис. 7).

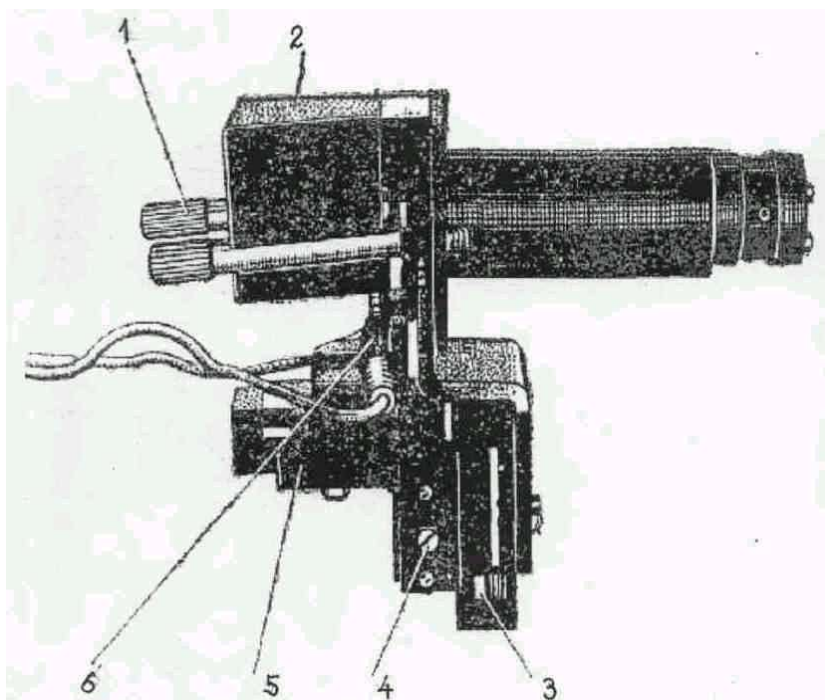


Рис. 5.7. Узел осветителя с механизмом подвижки лампы:

1 – невыпадающие винты; 2 – кожух; 3, 4, 5 – винты, регулирующие изображение нити лампы на входной щели; 6 – крепежные винты

Подготовка к работе

Подсоединить фотометр к сети 220 В, 50/60 Гц и включить тумблер «СЕТЬ».

Нажать клавишу «ПУСК», на цифровом табло появляются символ «Г», соответствующее ему значение и значение длины волны.

После длительного хранения или транспортирования фотометра необходимо провести проверку технического состояния фотометра. При текущей подготовке фотометра к работе проверку производить не требуется, достаточно выдержать фотометр во включенном состоянии 30 минут при открытой крышке и произвести измерение и учет нулевого отсчета (смещение нуля усилителя). Измерение и учет нулевого отсчета n_0 произвести нажатием клавиши «НУЛЬ». При измерении нулевого отсчета крышка кюветного отделения должна быть открыта. На цифровом табло справа от мигающей запятой высвечивается значение n_0 , слева – символ «О». Значение $0,200 \cdot n_0$ должно быть не менее 0,005 и не более

Если отсчет n_0 не укладывается в указанные пределы, следует добиться нужного значения с помощью резистора УСТ. 0. Установку нуля производить при нажатии клавиши «НУЛЬ».

Порядок работы

Измерение коэффициента пропускания или оптической плотности.

Установить в кюветное отделение кюветы с контрольным раствором, по отношению к которому производится измерение, и исследуемым раствором. Кювету с контрольным раствором установить в дальнее гнездо кюветодержателя, а кювету с исследуемым раствором – в ближнее гнездо кюветодержателя.

В световой пучок установить кювету с контрольным раствором рукояткой 4 (см. рис. 3) – влево до упора. Если измерение проводится относительно воздуха, например, для образца из стекла или другого прозрачного материала, то в этом случае дальнейшее гнездо кюветодержателя должно быть свободным.

Установить ручкой 2 (см. рис. 3) длину волны, на которой проводятся измерения раствора. Длина волны высветится на верхнем цифровом табло 1.

Примечание. При работе на длине волны 400 нм возможна нестабильная работа фотометра. Во избежание этого устанавливайте длину волны (400 ± 2) нм, где стабильность работы вас устроит.

При закрытой крышке кюветного отделения нажать клавишу «Г». На нижнем цифровом табло слева от мигающей запятой высветится символ «Г». Нажать клавишу «П» или «Е». Слева от мигающей запятой высветится соответственно символ «П» или «Е», а справа от мигающей запятой – соответственно значения « $100,0 \pm 0,2$ » или « $0,000 \pm 0,002$ », означающие, что начальный отсчет пропускания (100,0 %) или оптической плотности (0,000) установился на фотометре правильно.

Если отсчеты « $100,0 \pm 0,2$ » или « $0,000 \pm 0,002$ » установились с большим отклонением, нажать на клавиши «Г», «П» или «Е» повторно, соблюдая небольшую паузу (3–5 с).

Открыть крышку кюветного отделения и нажать клавишу «НУЛЬ», закрыть крышку, нажать клавишу «П» или «Е».

Примечание. Для проверки правильности учета «нуля» откройте крышку кюветного отделения, при этом отсчет на табло должен быть $(0,00 \pm 0,02)$.

Затем рукоятку 4 (см. рис. 3) установить вправо до упора, при этом в световой пучок вводится кювета с исследуемым раствором. Отсчет на световом табло справа от мигающей запятой соответствует коэффициенту пропускания или оптической плотности исследуемого раствора.

Повторить операции три раза, вычислить среднее арифметическое значение измеряемой величины.

Для построения спектральной кривой коэффициента пропускания или оптической плотности образца измерения. Построить спектральную кривую светопропускания или оптической плотности исследуемого раствора, откладывая по горизонтальной оси длины волн в нанометрах, а по вертикальной – светопропускание или оптическую плотность.

Измерение концентрации вещества в растворе.

Для измерения концентрации вещества в растворе необходимо предварительно выполнить ряд подготовительных операций в следующей последовательности:

- выбор длины волны;
- выбор кюветы;
- построение градуировочного графика для данного вещества и определение коэффициента факторизации F ;
- введение коэффициента F в память вычислительного блока;
- измерение концентрации вещества.

Выбор длины волны. Для достижения наименьшей погрешности в определение концентрации следует правильно выбрать длину волны, на которой будет выполняться измерение. Для этого по спектральной кривой раствора, выбрать такой участок, на котором выполняются следующие условия:

- оптическая плотность имеет максимальную величину;
- ход кривой примерно параллелен горизонтальной оси, т. е. оптическая плотность мало зависит от длины волны.

Длина волны, соответствующая этому участку, выбирается для измерения. Если для некоторых растворов второе условие не выполняется, то рабочая длина волны выбирается по первому условию.

Выбор кюветы. Как указывалось выше, абсолютная погрешность измерения коэффициента пропускания не превышает 0,5 %. Относительная погрешность измерения оптической плотности раствора будет различной и достигает минимума при значении оптической плотности 0,4. Поэтому при работе на фотометре рекомендуется путем соответствующего выбора длины кювет работать вблизи указанного значения оптической плотности, например в пределах от 0,3 до 0,6.

Построение градуировочного графика и определение коэффициента факторизации.

Построение градуировочного графика проводить следующим образом. Приготовить ряд растворов данного вещества с известными концентрациями, охватывающими область возможных изменений концентраций этого вещества в исследуемом растворе.

Измерить оптические плотности всех растворов и построить градуировочный график, откладывая по горизонтальной оси известные концентрации, а по вертикальной – соответствующие им значения оптической плотности.

Следует убедиться в том, что зависимость оптической плотности раствора от концентрации красителя – линейная, т. е. выражается на графике прямой линией.

Рассчитать по графику коэффициент факторизации F , для этого по графику концентраций снимают значение c для средней части графика и соответствующую этой концентрации оптическую плотность. Если при построении градуировочного графика будет установлено, что зависимость между оптической плотностью и концентрацией не линейная, коэффициент факторизации F определять не требуется. Определение концентрации в этом случае проводить по градуировочному графику.

Введение коэффициента факторизации F в память вычислительного блока. Ввести в память вычислительного блока коэффициент F . Для этого нажать клавишу «F», на цифровом табло слева от мигающей запятой высветится символ «F». Набрать с помощью клавиатуры значения коэффициента F . На цифровом табло справа от мигающей запятой высветится набранное значение коэффициента. Фотометр для измерения концентрации подготовлен.

Примечание. При повторном выведении коэффициента факторизации на цифровом табло возможно уменьшение последней значащей цифры на единицу.

Измерение концентрации вещества в растворе.

При этом исследуемый раствор налить в кюветы той же рабочей длины, с которой производилась градуировка, и установить длину волны. Нажать клавишу «С». На табло слева от мигающей запятой появится символ «С». Отсчет на цифровом табло справа от мигающей запятой соответствует значению концентрации исследуемого раствора.

Определение скорости изменения оптической плотности раствора. Для определения состояния реакции, протекающей в растворе, бывает необходимо определять скорость изменения оптической плотности A за какой-то заданный промежуток времени t (время вводится в минутах и может принимать значения целых чисел от 1 до 9).

Через время t на цифровом табло справа от мигающей запятой высветится значение скорости изменения оптической плотности.

Если требуется определить скорость изменения оптической плотности того же раствора в следующий промежуток времени t , нажать вновь клавишу «А».

Работа с термопечатающим устройством типа УТП-2.

Включить термопечатающее устройство в сеть.

Подключить термопечатающее устройство к разъему 5 (см. рис. 5).

Нажать клавишу «ВКЛ.» термопечатающего устройства. На передней панели устройства должен загореться светодиод.

Подготовить фотометр к работе.

После проведения соответствующих измерений, необходимо нажать клавишу «ПЕЧАТЬ» и наблюдать вывод результатов и значения длины волны на бумажной ленте.

ВНИМАНИЕ! Нажатие клавиши «ПЕЧАТЬ» производить только при подключенном термопечатающем устройстве. Если данное условие нарушено, то необходимо нажать клавишу «ПУСК» и подготовить фотометр к работе согласно описанию.

Проверка технического состояния

Периодическая проверка технического состояния фотометра проводится с целью определения работоспособности фотометра в период эксплуатации. Рекомендуемая периодичность проверок при активной эксплуатации – один раз в месяц.

Проверяемыми параметрами являются:

- смещение нуля усилителя;
- показания длин волн на цифровом табло;
- показания коэффициента пропускания на цифровом табло.

Проверка нуля усилителя. Отсчет по цифровому табло должен быть не менее 0,005 и не более 0,200.

Фотометр включить в сеть 220 В, 50/60 Гц. Открыть крышку кюветного отделения, включить тумблер «СЕТЬ». Фотометр выдержать во включенном состоянии 30 минут. Проверку нуля усилителя произвести нажатием клавиши «НУЛЬ». На цифровом табло справа от мигающей запятой высветится значение

нулевого отсчета, а слева – символ «О».

Если значение нулевого отсчета не укладывается в пределы 0,005 – 0,200, установить с помощью резистора «УСТ. О» отсчет в указанных пределах. Установку отсчета производить при нажатии клавиши «НУЛЬ».

Проверка показаний длин волн на цифровом табло. Значения длины волны на цифровом табло должно соответствовать длине волны

контрольного светофильтра «К-3», записанного в паспорте в точке максимального пропускания с погрешностью не более 3 нм.

Проверить нулевой отсчет .

Вращая ручку длин волн, установить значение длин волны по шкале на 15–20 нм меньше «паспортного значения» на светофильтр «К-3». Закрыть крышку, нажать клавишу «Г».

Вращением ручки длин волн по часовой стрелке найти начало максимального отсчета по шкале «Г». Снять отсчет по шкале длин волн, соответствующий максимальному значению отсчета по шкале «Г».

Провести три измерения и вычислить среднее значение длины волны. Вычисленное значение должно соответствовать значению длины волны светофильтра «К-3», указанному в паспорте на данный фотометр. Погрешность не должна превышать 3 нм.

Проверка показаний коэффициента пропускания на цифровом табло. Значение коэффициента пропускания на цифровом табло должно соответствовать коэффициентам пропускания контрольных нейтральных светофильтров «К-1» и «К-2» с погрешностью не более 0,5 % (абс).

Проверку проводить на длине волны $(540 \pm 0,5)$ нм. При закрытой крышке кюветного отделения нажимают последовательно клавиши «Г»,

«П», открывают крышку кюветного отделения, нажимают клавишу «НУЛЬ». Закрывают крышку кюветного отделения, нажимают клавишу «П», на табло должен высветиться отсчет $100 \pm 0,2$. В кюветное отделение устанавливают контрольный нейтральный светофильтр, закрывают крышку. На табло высветится отсчет, соответствующий коэффициенту пропускания светофильтра в процентах. Значения коэффициентов пропускания светофильтров «К-1», «К-2», приведенные в паспорте фотометра, сравнить с полученными результатами проверки. Погрешность не должна превышать 0,5 % (абс.).

Примечания:

1. Контрольные светофильтры «К-1», «К-2» и «К-3» входят в комплект фотометра. Значения параметров светофильтров записаны в паспорте фотометра и действительны только для данного фотометра. Не допускается для проверки использовать контрольные светофильтры других фотометров.

2. Контрольные светофильтры «К-1», «К-2» и «К-3» устанавливаются в кюветное отделение гравировкой вверх симметрично пазам оправы, куда вставляется светофильтр.

Техническое обслуживание

Смена лампы осветителя. При замене лампы осветителя отключить фотометр от сети. Снять кожух 1 (рис. 3). Для этого необходимо:

1) снять крышку кюветного отделения, оси которой необходимо подвинуть к середине крышки при помощи выступающих шрифтов;

2) отвернуть 4 винта, крепящие кожух 2 (2 винта на задней стенке и 2 винта, находящиеся под крышкой кюветного отделения);

3) отвернуть невыпадающие винты 1 (рис.7) и вынуть осветитель из корпуса монохроматора. Снять кожух 2. Ослабив винты 6, вынуть лампу из контактодержателей;

4) поставить исправную лампу, предварительно укоротив проволоочные выводы до 8–10 мм, затянуть винты контактодержателя. Протереть колбу лампы ватой, смоченной этиловым спиртом. Поставить кожух 2. Удерживая осветитель в руке, включить тумблер «СЕТЬ». С помощью винтов 3, 4, 5 получить резкое и симметричное изображение нити лампы на входной щели, которое наблюдают через круглое отверстие на тубусе, закрытое пластмассовой пробкой. Поставить на место осветитель, затянуть винты 1. В кюветном отделении в плоскости шторки изображение щели должно располагаться на глаз симметрично относительно диафрагмы. Поставить на место крышку на задней стенке корпуса.

ВНИМАНИЕ! После установки осветителя необходимо проверить отсчет по шкале «Г». Он должен находиться в пределах значений от 1,750 до 4,700 на длине волны 398 нм или на промежутке длин волн от 500 до 800 нм. Если это не выполняется, то необходимо перемещением лампы добиться указанного условия. Кроме этого, нужно проверить отсчет по всему спектральному диапазону (3154–990 нм); значение отсчета должно быть не менее 0,1.

Вновь установленная лампа первые часы работы может изменять значение светового потока. Поэтому в этот период выставку отсчета 100 (пропускание) или 0 (плотность) необходимо периодически контролировать через 1–2 минуты.

Смена предохранителя. Предохранитель 4 (см. рис 5) расположен на задней стенке фотометра. Для смены предохранителя нажать на колпачок держателя предохранителя, повернуть колпачок против часовой стрелки и вынуть его и предохранитель из держателя.

Установить исправный предохранитель и колпачок в держатель.

Правила хранения и транспортирования

Фотометр должен храниться на стеллажах в помещении при температуре от 5 до 40 °С. Относительная влажность в помещении склада не должна быть более 80 % при температуре 25 °С. В помещении склада не допускается наличие агрессивных паров и газов.

Не допускается хранение фотометра вблизи нагревательных элементов или у наружных холодных стен.

Транспортирование фотометров осуществляется в соответствии с правилами перевозок, действующими на соответствующих видах транспорта, в крытых транспортных средствах.

При транспортировании морским транспортом фотометры должны упаковываться в специальную морскую упаковку с применением герметичных мешков из поливинилхлоридной пленки.

Транспортирование авиацией должно производиться в отапливаемых герметизированных отсеках.

Практическая работа № 8

Оценка сцепления битума с поверхностью зерен каменных материалов методом кипячения

Цель определения

Оценить качество сцепления битума и изучить влияние добавок ПАВ на показатель сцепления битума с поверхностью зерен каменных материалов основной и кислой природы.

Область применения

Метод используется при определении свойств битумов при их испытании и на стадии проектирования составов асфальтобетонных смесей. Способность битума к прочному сцеплению с поверхностью минеральных частиц (активность битума) оказывает большое влияние на водо- и морозостойкость асфальтобетона.

Теоретические основы методики

Метод основан на способности каменных материалов, предварительно обработанных битумом, удерживать битумную пленку при её вытеснении водой в процессе кипячения в воде.

Прочность прилипания битума к поверхности каменного материала (адгезия) достигается за счет хорошего смачивания его битумом, различия в полярностях взаимодействующих поверхностей битума и камня, а также протекания химических реакций на поверхности раздела фаз (хемосорбция). Большинство каменных материалов, применяемых в дорожном строительстве, имеют кристаллическое строение с ионной решеткой. При дроблении и измельчении на их поверхности образуется сложное электрическое поле, знак и величина потенциала которого определяются свойствами ионов и характером их расположения на поверхности. Карбонатные и основные породы (известняки, доломиты, базальты, диабазы, серпентиниты) имеют положительный заряд, кислые (граниты, кварцы, сиениты и др.) – отрицательный. Битумы обычно содержат некоторое количество поверхностно-активных соединений, относящихся к группе анионных – асфальтогеновые кислоты и их ангидриды. С точки зрения электростатической теории адгезии хорошее сцепление битума с карбонатными и основными породами объясняется разноименными зарядами каменного материала и компонентов битума, а плохое – одноименными с кислыми.

Прочность сцепления можно повысить введением в битум поверхностно-активных веществ (ПАВ), даже небольшое количество которых резко изменяет природу поверхности и условия взаимодействия на границе битум – каменный материал.

К поверхностно-активным относятся вещества, которые способны адсорбироваться на поверхности раздела фаз, снижая избыток межфазной поверхностной энергии. Молекулы большинства ПАВ имеют дифильный характер и состоят из двух частей – полярной (гидрофильной) группы и неполярного углеводородного радикала. К полярным группам относятся OH, -COOH, -NH₂, -SH, -SO₃H и др.

По химической природе ПАВ разделяются на ионогенные и неионоген-

ные. Ионогенные ПАВ подразделяются на анионактивные и катионактивные. В анионных ПАВ углеводородная часть молекулы входит в состав аниона, в катионных – в состав катиона. К анионным ПАВ относятся высокомолекулярные органические кислоты, соли нафтенных кислот, высшие фенолы и др. К катионным ПАВ относятся жирные амины, четырехзамещенные аммониевые основания, амидоамины и др. Существует группа неионогенных ПАВ, которые при растворении не диссоциируют на ионы (высшие спирты, глицерины, полиглицерины и др.).

При адсорбции на поверхности раздела фаз ПАВ образуют слой ориентированных молекул. Полярные группы взаимодействуют с каменным материалом, а неполярная углеводородная часть молекулы обращена к битуму. Если ПАВ обладает химическим сходством с минеральным материалом, между полярными группами ПАВ и адсорбционными центрами на минеральных поверхностях возникают химические связи, т.е. происходит химическая адсорбция (хемосорбция). Ориентированная адсорбция на поверхности с созданием мономолекулярного слоя ПАВ способствует образованию прочной связи между битумом и поверхностью минерального материала.

Известны различные методы косвенной оценки сцепления битума с каменным материалом. Исходя из условий работы дорожных покрытий, наиболее характерным является поведение битумных пленок на минеральных зернах в присутствии воды. Поэтому большинство методов основано на оценке смещения битумной пленки под действием воды.

Вода как полярная жидкость хорошо смачивает все каменные материалы. При длительном контакте с водой минеральных зерен, обработанных битумом, возможна диффузия воды под битумную пленку и отслаивание ее от поверхности каменного материала. Диффузия зависит от температуры, вязкости и адгезии битума.

Так как при кипячении в воде вязкость битума понижается, создаются благоприятные условия для проникания воды под битумную пленку. Вода отслаивает её от поверхности каменного материала, нарушая адгезионные связи. Если отсутствуют прочные адгезионные связи, то пленка битума легко смещается с поверхности каменного материала. Протекание хемосорбционных процессов обеспечивает более устойчивое сцепление битума с поверхностью каменного материала.

Рабочие гипотезы

Битумы вязкие дорожные марок БНД (улучшенного качества) обычно имеют хорошее сцепление с сухой поверхностью зерен карбонатных и основных горных пород и хуже – с кислой и влажной поверхностью.

Битумы вязкие дорожные марок БН (обычного качества) часто не обладают прочным сцеплением с сухой и влажной поверхностью каменных материалов не только кислых, но и карбонатных горных пород.

Анионактивные ПАВ улучшают сцепление битума с сухой поверхностью зерен карбонатных и основных горных пород. Эффект их применения на влажной поверхности значительно ниже.

Катионактивные ПАВ улучшают сцепление битума с сухой и влажной поверхностью зерен кислых горных пород.

Катионактивные ПАВ типа аминов относятся к универсальным ПАВ, обеспечивающим прочное сцепление битума с различными по природе сухими и влажными каменными материалами.

Используемые материалы и реактивы

1. Битум вязкий нефтяной дорожный по ГОСТ 22245.
2. Битум жидкий дорожный класса СГ или МГ по ГОСТ 11955.
3. Поверхностно-активные вещества катионного и анионного типов.
4. Зерна щебня крупнее 10 мм из каменных материалов карбонатной и кислой горных пород (известняк и гранит).
5. Песок природный или дробленый.
6. Вода дистиллированная по ГОСТ 6769.
7. Бумага фильтровальная по ГОСТ 12026.

Используемые приборы и оборудование

1. Стаканы химические термостойкие по ГОСТ 23932 вместимостью не менее 500 см³.
2. Электроплитка, баня песчаная.
3. Сетка асбестовая.
4. Металлическая сетка № 025 или № 05 с проволочными дужками.
5. Сетка №07.
6. Штатив.
7. Секундомер.
8. Проволока тонкая или нитки.
9. Фарфоровые чашки № 4 по ГОСТ 9147.
10. Металлические чашки вместимостью не менее 100 см³.
11. Весы лабораторные.
12. Термостат.

Порядок подготовки к проведению испытания

Показатель сцепления битума или битума с ПАВ определяют на обработанных битумом: а) щебне крупнее 10 мм из карбонатной и кислой горной породы; б) песке природном или дробленном и щебне размером 3–10 мм.

Минеральные материалы обрабатываются битумом в сухом (для определения пассивного сцепления) или влажном (для определения активного сцепления) состоянии. Пассивное сцепление характеризует способность битума противостоять отслоению его водой от первоначально сухой минеральной поверхности, а активное сцепление свидетельствует о способности пленки битума удерживаться на влажной поверхности каменного материала при воздействии воды.

Из средних проб известнякового и гранитного щебня, предназначенных для испытания, отбирают по 20–30 зерен размером не менее 10 мм. Образцы промывают дистиллированной водой и сушат при температуре 105–110 °С в течение 5 ч.

Образцы песка и щебня размером 3–10 мм (по 60–120 г) промывают дистиллированной водой и сушат при температуре 105–110 °С: песок в течение 2 ч, щебень – 5 ч.

Перед обработкой битумом во влажном состоянии щебень крупнее 10 мм кипятят в течение 1 ч в дистиллированной воде, а минеральные материалы

мельче 10 мм смешивают с 3–5 % дистиллированной воды.

Образец битума обезвоживают нагреванием до 105 °С и процеживают через сито с сеткой № 07. Битум нагревают до рабочей температуры, которую принимают по табл. 1.

Таблица 1

Температура нагрева битума

Температура нагрева, °С	Марка битума			
	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130	БНД 130/200 БНД 200/300 БН 130/200 БН 200/30	СГ 130/200	СГ 70/130 МГ 70/130 МГО 70/130
Битум	130–150	100...120	90–100	80–90
Минеральный материал	140–160	110...130	90–120	90–120

В 2–3 металлические чашки отвешивают по 100 г битума для получения битумов с добавками ПАВ. В качестве ПАВ могут быть использованы некоторые отечественные продукты, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Оптимальная дозировка ПАВ

Наименование ПАВ	Тип ПАВ	Расход ПАВ, % от массы битума	Фирма
Амдор	Катионное	0,5–1,0	АОЗТ «Амдор» (г. С.-Петербург)
АМИНЫ C ₁₇ -C ₂₁	Катионное	0,5–1,0	АОЗТ «Амдор» (г. С.-Петербург)
КОД – кубовый остаток при производстве диафена	Двойного действия	3,0	ОАО «Азот» (г. Кемерово)
Смолы твердых топлив – побочные продукты коксо- химических производств	Анионное	5–10	ОАО «Кокс» (г. Кемерово)
Сульфидно-спиртовая барда (ССБ) или сульфидно-дрожжевая бражка (СДБ) – отходы целлюлозы	Анионное	3–5	Целлюлозно-бумажные комбинаты

В чашки с нагретым битумом отвешивают определенное количество ПАВ катионного и анионного типов. Если неизвестна оптимальная дозировка ПАВ, то готовят смеси битума с разным содержанием ПАВ в пределах, указанных в табл.2. При необходимости ПАВ предварительно подогревают до текучего состояния. Производят интенсивное перемешивание смеси битума с ПАВ шпателем или лабораторной мешалкой в течение 10–15 мин, соблюдая температуру, указанную в табл. 1.

Порядок определения сцепления битума с поверхностью зерен крупнее 10 мм.

Сцепление с сухой поверхностью. Сухие и чистые щебенки обвязывают хлопчатобумажной ниткой, нагревают в термостате в течение 1 ч при температуре, выбранной по табл. 1, и поочередно погружают на 15 с в чашку с битумом или битумом с ПАВ. Извлеченный из битума щебень подвешивают на штативе для стекания избытка битума и охлаждения. Зерна щебня из известня-

ка обрабатывают битумом и битумом с анионным ПАВ, зерна гранита – битумом и битумом с катионным ПАВ. Для испытаний берут по 3 параллельных образца (щебенки, обработанные битумом).

Зерна щебня испытывают не ранее чем через 1 ч после обработки битумом или битумом с ПАВ. Для этого химический стакан заполняют на 2/3 объема дистиллированной водой, устанавливают на электроплитку с песчаной баней и доводят воду до кипения (не допуская бурного кипения). По 2–3 зерна щебня (в зависимости от крупности щебенки и объема стакана) из одного каменного материала и обработанные одним видом вяжущего помещают (подвешивают на нитке или укладывают на сетку) в стакан так, чтобы зерна не касались друг друга, стенок и дна стакана, и выдерживают в кипящей воде в течение 30 мин при обработке вязким битумом или 3 мин при обработке жидким битумом.

По истечении указанного времени вяжущее, отделившееся от поверхности щебня в процессе кипячения и всплывшее на поверхность, удаляют фильтровальной бумагой.

Зерна щебня вынимают из стакана и переносят в стакан с холодной водой для охлаждения и закрепления на них пленки вяжущего, где выдерживают 3–5 мин.

Остывший щебень вынимают из воды и укладывают на фильтровальную бумагу. Оценку качества сцепления проводят визуально, пользуясь табл. 3. Сцепление с влажной поверхностью. Увлажненные и обвязанные ниткой щебенки по три параллельных образца быстро обтирают слегка влажной тканью и немедленно погружают на 15 с в чашку с нагретым битумом или битумом с ПАВ. Дальнейшее испытание проводят, как указано для испытания материалов с сухой поверхностью. Сцепление оценивают по табл. 3.

Таблица 3

Шкала для оценки сцепления битума с минеральными материалами

№	Характеристика пленки битума на поверхности минерального материала	Визуальный показатель сцепления
1	Пленка битума полностью сохраняется, при этом толщина пленки битума может быть несколько неоднородной	Отлично (5 баллов)
2	Пленка битума частично смещается водой с острых углов и ребер	Хорошо (4 балла)
3	Пленка битума смещается водой не только с углов и ребер, но и с граней зерен щебня (до 50 %)	Удовлетворительно (3 балла)
4	Пленка битума смещается водой с большей части поверхности щебня. На обнажившейся поверхности наблюдаются отдельные капельки свернувшегося битума, весь битум может всплыть наверх	Плохо (2 балла)

Порядок определения сцепления битума с поверхностью песка или щебня размером 3–10 мм

Сцепление с сухой поверхностью. В две фарфоровые чашки отвешивают по (30 ± 1) г песка или щебня и по $(1,2 \pm 0,01)$ г битума или битума с ПАВ. Чашки выдерживают в термостате при температуре, выбранной по табл. 1, в течение

20 мин. Смесь тщательно перемешивают до полного обволакивания поверхности минерального материала битумом. Полученную смесь охлаждают при комнатной температуре 20 мин.

На металлическую сетку № 025 или 05 с проволочными дужками выкладывают половину подготовленной смеси, распределяют её равномерным слоем и опускают сетку в стакан с кипящей дистиллированной водой. Высота слоя воды над смесью должна быть 40–50 мм. Сетку с образцами выдерживают в небурно кипящей воде в течение

30 мин (при вязком битуме) или 3 мин (при жидком битуме). Битум, отделившийся от смеси в процессе кипячения, осторожно снимают с поверхности воды фильтровальной бумагой.

После кипячения сетку с образцами переносят в стакан с холодной водой, где выдерживают в течение 3–5 мин, после чего битумо-минеральную смесь переносят на фильтровальную бумагу. Аналогичные испытания выполняют с содержимым второй фарфоровой чашки.

Сцепление битума с минеральным материалом оценивают по табл. 3.

Сцепление с влажной поверхностью. Минеральный материал (30 ± 1) г перемешивают с дистиллированной водой (3–5 % по массе), добавляют битум или битум с ПАВ ($1,2 \pm 0,01$) г, смесь нагревают до 70–80

°С при вязких битумах и до 50–60 °С при жидких битумах в течение 20 мин. После нагрева смесь тщательно перемешивают, затем испытывают, как и материалы с сухой поверхностью. Сцепление оценивают по табл. 3.

Обработка и оценка результатов, составление отчета

Среднее значение показателя сцепления битума с ПАВ с поверхностью зерен щебня крупнее 10 мм определяют по результатам испытания трех образцов.

Среднее значение показателя сцепления битума или битума с ПАВ с поверхностью зерен песка или щебня размером 3–10 мм устанавливают по результатам испытания двух проб.

Результаты эксперимента заносят в таблицу, форма которой дана в табл.4.

Таблица 4

Результаты экспериментальных исследований

№ опыта	Марка битума	Вид и содержание ПАВ, % от массы битума	Состояние поверхности каменного материала (сухая или влажная)	Показатель сцепления, баллы, с каменным материалом											
				Известняк				Гранит				Песок природный			
				№ образца				№ образца				№ образца			
				1	2	3	ср.	1	2	3	ср.	1	2	ср.	

По результатам эксперимента делают выводы об активности битума при взаимодействии с сухой и (или) влажной поверхностью каменных материалов, об эффективности действия ПАВ и их оптимальной дозировке.

Практическая работа № 9

Определение сцепления битума с каменными материалами колориметрическим методом

Цель определения и область применения результатов

Целью определения является количественная оценка качества сцепления испытуемого битума с поверхностью зерен минерального материала, используемого в данной асфальтобетонной смеси. Результаты определения практически используются для установления: а) количественной меры адгезионной устойчивости данного чистого битума на поверхности данных каменных материалов (щебня, гравия, песка, минерального порошка); б) эффективности добавок ПАВ в битум или других каких-либо воздействий на него; в) необходимого и достаточного количества добавок ПАВ в битум или вида и режима воздействия на него.

Теоретические основы методики

Используемая в отечественных стандартах методика оценки сцепления битума с поверхностью зерен каменных материалов основана на визуальной оценке величины поверхности зерен, на которой после кипячения в воде сохранилась битумная пленка. Очевидно, что такая оценка является субъективной и недостоверной. Чтобы эту оценку сделать более объективной и достоверной, следует точно измерить площадь поверхности зерен, которая после испытания кипячением оказалась оголенной или осталась покрытой битумной пленкой.

В данной методике для измерения величины поверхности зерен, не покрытой битумом, использована способность некоторых водорастворимых красителей избирательно адсорбироваться из водных растворов на оголенной минеральной поверхности зерен и не адсорбироваться на битумной пленке. Таким красителем является, например, метиленовый голубой, который можно применять только при концентрации водородных ионов в растворе в пределах $pH=3 - 10$.

Таким образом, данная методика основана на теории и принципах колориметрических методов анализа (КМА) окрашенных растворов с использованием колориметра погружения КОЛ-1М или фотоколориметра КФК-3.

Отношение величины адсорбции красителя поверхностью битумированных минеральных зерен, оголившейся после кипячения, к величине адсорбции красителя чистой поверхностью исходных минеральных зерен выражает долю «открытой» поверхности навески зерен, т.е. S_0 – доля "открытой" поверхности минеральных зерен, освободившейся от битума после кипячения, %; S_n для поверхности минеральных зерен, с сохранившейся после испытания битумной пленкой, %; q_n – величина адсорбции красителя оголившейся от битума после кипячения поверхностью минеральных зерен, мг/мл; q_0 величина адсорбции красителя поверхностью зерен чистого минерального материала, мг/мл; q величина адсорбции красителя, вычисляемая на основании разности концентрации красителя в исходном растворе (c_1 , мг/мл) и в растворе после адсорбции красителя адсорбирующей поверхностью (c_2 , мг/мл), мг/г; V – объ-

ем раствора красителя в испытательной кювете прибора КФК-3, мл; m – навеска каменного материала (адсорбента) исходного или обработанного битумом, г.

Адсорбция красителя поверхностью битумированных зерен после их кипячения в воде и поверхностью такой же навески чистых минеральных зерен позволяет объективно и достоверно определить относительную величину поверхности зерен, на которой пленка битума сохранилась после испытания кипячением в воде. Показатель S_n является характеристикой стойкости битумной пленки на поверхности минеральных зерен при воздействии кипящей водой, т.е. косвенным показателем адгезии битума.

Рабочие гипотезы

Показатель адгезии битума S_n повышается по мере использования каменных материалов в следующем порядке: ультракислые (золы от сжигания экибастузских углей на ТЭС) – кислые (кварцевый порошок или песок, гранитный щебень) – карбонатные (известняки, мраморы, доломиты, мергели и др.) – основные (базальты, диабазы) – ультраосновные (перидотиты, пироксениты, серпентиниты).

При добавлении в битум ПАВ показатель адгезии S_n растет, причем имеется характерное для данных битума и каменного материала содержание ПАВ в битуме.

Дальнейшее повышение содержания ПАВ не дает эффекта, но увеличивает стоимость битума.

При использовании кислых и влажных каменных материалов эффект повышения адгезии при добавлении в битум анионных ПАВ отсутствует или незначителен. При добавлении таких ПАВ указанный выше эффект наблюдается только при использовании сухих карбонатных или основных каменных материалов.

Добавление к битуму катионактивных ПАВ улучшает сцепление с сухой и влажной поверхностью зерен основных, карбонатных и кислых каменных материалов.

Используемые материалы и реактивы

1. Зерна щебня крупнее 10 мм из каменных материалов карбонатной и кислой горных пород (известняк и гранит).
2. Песок природный или дробленый.
3. Битум нефтяной дорожный вязкий.
4. Битум нефтяной дорожный жидкий класса СГ или МГ.
5. Поверхностно-активные вещества катионного и анионного типов.
6. Водорастворимые красители (метиленовый голубой, метилен оранжевый и т.п.).
7. Вода дистиллированная.
8. Бумага фильтровальная.

Используемые приборы и оборудование

1. Колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-3 с комплектом принадлежностей (набор кювет №4, светофильтры контрольные) – 1 шт.
2. Весы лабораторные квадратные технические ВЛКТ – 1 шт.

3. Стаканы химические термостойкие по ГОСТ 23932 вместимостью не менее 500 см^3 – по числу бригад (от 4 до 6).
4. Электроплитка, баня песчаная – 2 шт.
5. Металлическая сетка № 025 или № 05 с проволочными дисками – по числу бригад (от 4 до 6).
6. Штатив – 2 шт.
7. Секундомер – 2 шт.
8. Проволока тонкая или нитки.
9. Термостат – 2 шт.
10. Металлические чашки вместимостью не менее 100 см^3 – 4 – 6 шт.
11. Фарфоровые чашки № 4 по ГОСТ 9147 – 2 – 4 шт.
12. Мерные цилиндры или стаканы – по числу бригад.
13. Колбы конические или химические стаканы – по числу бригад.

Порядок подготовки к проведению испытания

Приготовить стандартный (исходный, эталонный) водный раствор вещества-красителя ($c_{ст} = 0,005 \text{ г/л}$) – 1,0 л.

Минеральные материалы (зерна щебня крупнее 10 мм из известняка и гранита, песок природный или дробленый), битум и битум с ПАВ подготовить к испытанию.

Порядок определения

Приготовить навески зерен минеральных материалов разной природы для определения величины адсорбции красителя поверхностью зерен чистого минерального материала. Навеску щебня сделать из 2 – 3 зерен, навеску песка или щебня размером 3 – 10 мм – 10 г.

Провести испытание на сцепление сухих и (или) влажных минеральных материалов с битумом и (или) битумом с ПАВ методом кипячения по методике.

Приготовить навески битумированных зерен минеральных материалов после их кипячения в воде и охлаждения. Битумированного щебня крупнее 10 мм взять 2 – 3 зерна (в зависимости от крупности), битумированного щебня размером 3 – 10 мм или битумированного песка – 10 г.

С помощью мерного цилиндра отмерить 100 мл стандартного раствора ($c_{ст} = 0,005 \text{ г/л}$), вылить его в колбу или стакан и опустить туда зерна щебня или высыпать 10 г песка, прошедших испытания на сцепления. Перемешать содержимое покачиванием колбы в течение 2 – 3 мин, после чего оставить колбу в покое на 5 мин.

В другую колбу или стакан со 100 мл стандартного раствора опустить (или высыпать) зерна чистого минерального материала. Режимы перемешивания и выдерживания аналогичны.

В одну из кювет прибора налить до метки стандартный раствор красителя с концентрацией $c_{ст} = 0,005 \text{ г/л}$, установить ее в дальнее гнездо кюветодержателя. Во вторую кювету налить испытуемый раствор, часть красителя из которого адсорбировалась навеской чистого или битумированного минерального материала, и установить ее в ближнее гнездо кюветодержателя.

Провести измерения коэффициента пропускания или оптической плотно-

сти D три раза, вычислить среднее арифметическое значение измеряемой величины.

Для построения спектральной кривой или D исследуемого раствора провести измерения при разных длинах волн l . Построить спектральную кривую зависимости $\square\square f(l)$ или $D \square f(l)$. Измерение концентрации вещества в растворе возможно после выполнения ряда подготовительных операций: выбора длины волны; выбора кюветы; построения градуировочного графика и определения коэффициента факторизации F .

Практическая работа № 10

Определение вязкости битумных вяжущих

Вязкость (внутреннее трение) – свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

Основными кинематическими переменными для жидкостей служат деформация и ее скорость. Поэтому для изучения реологических характеристик жидких сред устанавливают связь между приложенными внешними нагрузками и кинематическими параметрами.

Жидкости, вязкость которых не зависит от напряжения сдвига и при определенной концентрации и температуре является постоянной величиной в соответствии с законом Ньютона, называются ньютоновскими. Жидкости, вязкость которых не подчиняется закону Ньютона и зависит от напряжения сдвига, называются неньютоновскими.

Различают *динамическую, кинематическую, относительную, удельную, приведенную и характеристическую* вязкости. Для неньютоновских жидкостей, главным образом, характерна *структурная вязкость*. *Структурная (эффективная или кажущаяся) вязкость* – вязкость при данном напряжении сдвига.

Динамическая вязкость или коэффициент вязкости (η) – это приходящаяся на единицу поверхности тангенциальная сила, называемая также *напряжением сдвига (τ)*, выраженная в паскалях (Па), которую необходимо приложить для того, чтобы переместить слой жидкости площадью 1 м^2 со скоростью (v) 1 метр в секунду ($\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$), находящийся на расстоянии (x) 1 м относительно другого слоя, параллельно плоскости скольжения.

Величина dv/dx представляет собой градиент скорости и определяет скорость сдвига D , выраженную в обратных секундах (с^{-1}).

Таким образом, вязкость (η) определяется отношением напряжения сдвига (τ) к скорости сдвига D и определяется по формуле:

$$\eta = \tau / D. \quad (1)$$

Динамическая вязкость (η) в системе СИ выражается в Паскаль-секундах ($\text{Па} \cdot \text{с}$) или миллипаскаль-секундах ($\text{мПа} \cdot \text{с}$); в системе СГС – в пуазах (П) или сантипуазах (сП). Также динамическая вязкость может измеряться в $\text{дин} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ и $\text{кгс} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ и производных от них единицах.

При измерении вязкости ньютоновских жидкостей в капиллярных виско-

зиметрах определяют кинематическую вязкость.

Кинематическую вязкость (ν), выраженную в метрах квадратных на секунду ($\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$), получают делением величины динамической вязкости η на плотность жидкости ρ , выраженную в килограммах на метр кубический ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$), измеренную пикнометром или плотномером при той же температуре:

$$\nu = \eta / \rho . \quad (2)$$

Кинематическая вязкость в системе СИ выражается в метрах квадратных на секунду ($\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) или миллиметрах квадратных на секунду ($\text{мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); в системе СГС – в стоксах (Ст) или сантистоксах (сСт).

При работе с растворами используются такие реологические характеристики, как относительная, удельная, приведенная и характеристическая вязкости.

Относительная вязкость ($\eta_{\text{отн}}$) – отношение вязкости раствора к вязкости растворителя:

$$\eta_{\text{отн}} = \eta / \eta_0 .$$

Часто вязкость выражают как удельную вязкость ($\eta_{\text{уд}}$), которая показывает, какая часть вязкости раствора обусловлена присутствием в нем растворенного вещества:

$$\eta_{\text{уд}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \frac{\eta}{\eta_0} - 1 = \eta_{\text{отн}} - 1 , \quad (3)$$

где η – вязкость раствора; η_0 – вязкость растворителя.

Удельная вязкость, отнесенная к единице концентрации раствора, называется *приведенной вязкостью* ($\eta_{\text{прив}}$):

$$\eta_{\text{прив}} = \frac{\eta_{\text{уд}}}{c} \quad (4)$$

где c – концентрация раствора.

Для растворов полимеров вязкость является функцией молекулярных масс, формы, размеров и гибкости макромолекул. Чтобы определить структурные характеристики полимеров, приведенную вязкость экстраполируют к нулевой концентрации. В этом случае вводится понятие *характеристической вязкости* $[\eta]$:

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \eta_{\text{прив}} = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{\text{уд}}}{c} . \quad (5)$$

Характеристическая вязкость выражается в единицах, обратных единицам концентрации.

Для определения вязкости применяются *капиллярные, ротационные вискозиметры и вискозиметры с падающим шариком*.

Капиллярные вискозиметры обычно используются для определения вязкости при одном значении скорости сдвига, поэтому применяются в основном для исследования ньютоновских жидкостей. Они просты и удобны в обращении.

Ротационные вискозиметры позволяют определять реологические свойства жидкостей в широком диапазоне скоростей сдвига, что особенно важно для неньютоновских жидкостей.

Вискозиметр с падающим шариком (вискозиметр Гепплера) предназначен для измерения вязкости прозрачных ньютоновских жидкостей.

Допускается использование других вискозиметров при условии, что точность и правильность измерений будет не хуже, чем в случае использования вискозиметров, описанных ниже.

Измерение вязкости на капиллярных вискозиметрах

Для измерения кинематической вязкости применяются капиллярные вискозиметры типа Оствальда и Уббелюде различной модификации.

Стеклянные капиллярные вискозиметры предназначены для определения вязкости:

- 1) прозрачных жидкостей – серии ВПЖ и ВПЖТ;
- 2) малых объемов прозрачных жидкостей – серии ВПЖМ и ВПЖТМ;
- 3) непрозрачных жидкостей – серии ВНЖ и ВНЖТ.

На рис. 1 и 2 представлен общий вид вискозиметров серии ВПЖ.

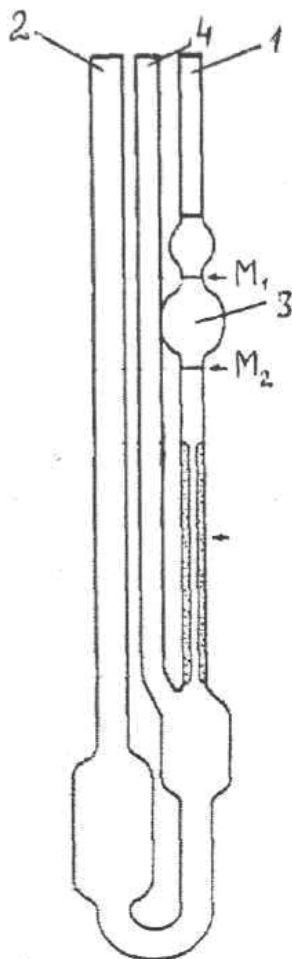


Рис. 1. Вискозиметр стеклянный капиллярный ВПЖ-1 :
1, 2, 4 – трубки; 3 – измерительный резервуар;
 M_1 , M_2 – отметки измерительного резервуара

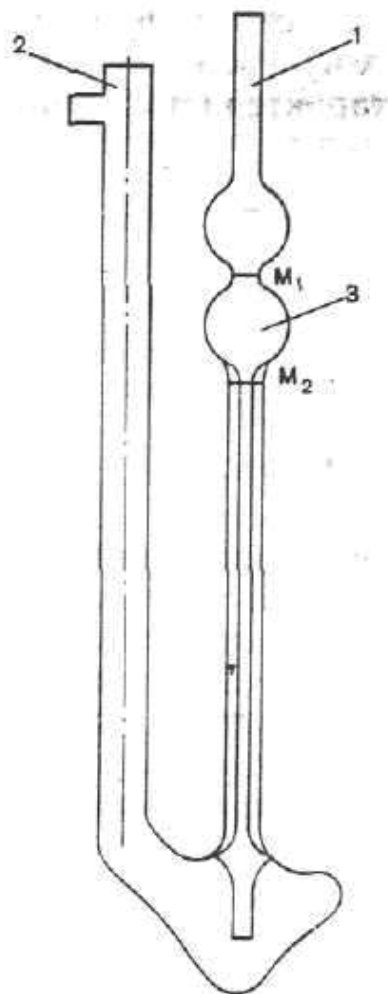


Рис. 2. Вискозиметр стеклянный капиллярный ВПЖ-2:
1, 2 – трубки; 3 – измерительный резервуар;
 M_1 , M_2 – отметки измерительного резервуара.

Вискозиметр состоит из капилляра с радиусом R и длиной L , через который под действием силы тяжести протекает жидкость объема V .

Если H – средняя высота жидкости, g – ускорение силы тяжести, то кинематическая вязкость (ν) в миллиметрах квадратных на секунду ($\text{мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) равна:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot g \cdot H}{8 \cdot L \cdot V} \cdot t = K \cdot t, \quad (14)$$

где $K = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot g \cdot H}{8 \cdot L \cdot V}$ – постоянная прибора, обычно выражаемая в миллиметрах квадратных на секунду квадратную ($\text{мм}^2 \cdot \text{с}^{-2}$).

Если известна плотность испытуемой жидкости ρ , то, зная ν , можно вычислить динамическую вязкость η ($\text{мПа} \cdot \text{с}$):

$$\eta = \rho \cdot \nu = \rho \cdot K \cdot t, \quad (7)$$

где ρ – плотность испытуемой жидкости ($\text{г} \cdot \text{мм}^{-3}$), полученная умножением относительной плотности (d_{20}^{20}) на 0,9982.

Для определения вязкости в каждом конкретном случае капиллярные вискозиметры выбирают в соответствии с табл. 1 и 2 по известным значениям K и V в зависимости от характера испытуемой жидкости, ее объема и значения вязкости.

Методика. Перед проведением измерений вискозиметр следует тщательно промыть и высушить.

В колено трубки 2 вискозиметра наливают измеренный объем жидкости и вискозиметр помещают в вертикальном положении в водяной термостат с температурой $(20 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$, если в фармакопейной статье не указана другая температура, удерживая его в этом положении не менее 30 мин для установления температурного равновесия. Производят повышение уровня жидкости в вискозиметре через отверстие 1 (в случае вискозиметра ВПЖ-1 закрывают трубку 4) до тех пор, пока жидкость не поднимется выше отметки M_1 . Тогда повышение уровня прекращают, и жидкость опускается. Время t , которое требуется, чтобы мениск прошел расстояние между отметками M_1 и M_2 , замеряют секундомером с точностью до 0,2 с.

Время истечения испытуемой жидкости определяют как среднее не менее чем трех измерений. Полученные данные являются приемлемыми при условии, что результаты двух последовательных измерений отличаются не более чем на 1 %.

Для определения относительной вязкости жидкости $\eta_{\text{отн}}$ измеряют время истечения между верхней и нижней меткой мениска той жидкости, относительно которой проводят измерения $t_{\text{оср}}$. Затем в том же чистом и сухом вискозиметре при тех же условиях определяют время истечения испытуемой жидкости $t_{\text{сп.}}$.

Одновременно при той же температуре, при которой определяют вязкость, измеряют плотности испытуемых жидкостей ρ_0 и ρ пикнометрическим методом и рассчитывают относительную вязкость по формуле:

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{t_{\text{сп.}} \cdot \rho}{t_{\text{оср}} \cdot \rho_0} \quad (8)$$

Для определения характеристической вязкости готовят не менее 5 испытуемых растворов различной концентрации. При этом должно выполняться условие возможности линейной экстраполяции приведенной вязкости к нулевой концентрации, т.е. концентрации раствора следует выбирать минимальными в пределах чувствительности и точности метода измерения. Для каждой концентрации раствора определяют $t_{\text{сп.}}$ и рассчитывают приведенную вязкость. Затем строят зависимость $\eta_{\text{прив.}}$ от концентрации c и графически или линейным методом наименьших квадратов экстраполируют приведенную вязкость к нулевой концентрации, т.е. находят характеристическую вязкость.

Таблица 1

Характеристики капиллярных вискозиметров серии ВПЖ-1 и ВПЖТ-1

Номинальное значение постоянной K , мм ² /с ²	Диапазон измерения вязкости, мм ² /с (включительно)	Диаметр капилляра, мм				Объем измерительного резервуара V , см ³	
		ВПЖ-1		ВПЖТ-1			
		Номинальный	Предельное отклонение	Номинальный	Предельное отклонение	ВПЖ-1	ВПЖТ-1
0,003	от 0,6 до 3	0,34	± 0,02	0,34	+ 0,007	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,08
0,01	от 2 до 10	0,54		0,54	± 0,01	3 ± 0,3	3,0 ± 0,15
0,03	от 6 до 30	0,86	± 0,03	0,86	± 0,02	6,2 ± 0,3	6,2 ± 0,30
0,1	от 20 до 100.	1,16		1,16			
0,3	от 60 до 300	1,52	± 0,04	1,52	± 0,03		
1	от 200 до 1000	2,10		—	—		
3	от 600 до 3000	2,75		—	—		
10	от 2000 до 10 000	3,75	± 0,05	—	—		—
30	от 6000 до 30 000	5,10		—	—		
100	от 20 000 до 100 000	6,85	± 0,06	—	—		

Таблица 2

Характеристики капиллярных вискозиметров серии ВПЖ-2 и ВПЖТ-2

Номинальное значение постоянной К, мм ² /с ²	Диапазон измерения вязкости, мм ² /с (включительно)	Диаметр капилляра, мм				Объем измерительного резервуара V, см ³	
		ВПЖ-2		ВПЖТ-2			
		Номинальный	Предельное отклонение	Номинальный	Предельное отклонение	ВПЖ-2	ВПЖТ-2
0,003	от 0,6 до 3.	0,34	± 0,02	0,34	± 0,007	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,08
0,005	от 1 до 5	0,39		0,39	± 0,008		
0,01	от 2 до 10	0,56		0,56	± 0,01	3,8 ± 0,3	3,8 ± 0,2
0,03	от 6 до 30.	0,73		0,73			
0,1	от 20 до 100	0,99	± 0,03	0,99	± 0,02		
0,3	от 60 до 300	1,31	± 0,04	1,31	± 0,03		
1	от 200 до 1000	1,77		1,77			
3	от 600 до 3000	2,37		—	—		
10	от 2000 до 10 000	3,35	± 0,05	—	—		
30	от 6000 до 30 000	4,66		—	—		

Измерение вязкости на ротационных вискозиметрах

Ротационные вискозиметры обычно используют для измерения динамической вязкости. Ротационные вискозиметры различаются по типу измерительных систем: коаксиальные (соосные) цилиндры, конус-плоскость, плоскость-плоскость.

Ротационные вискозиметры представляют собой системы, в которых осуществляется сдвиговое течение жидкости (рис. 3).

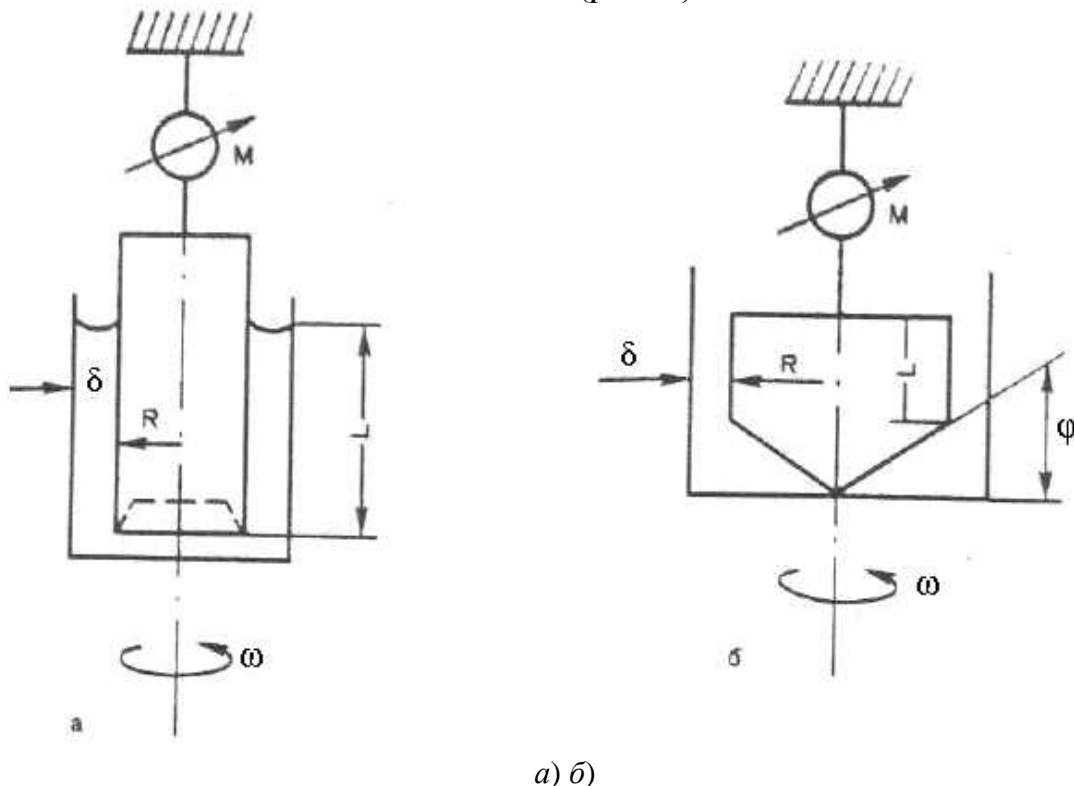


Рис. 3. Геометрия ротационных вискозиметров:

- a – Вискозиметр с концентрическим цилиндром (M – момент сопротивления;
 R – радиус внутреннего цилиндра; δ – внешний цилиндр; L – высота испытуемой жидкости;
 ω – угловая скорость вращения внутреннего цилиндра);
 $б$ – Вискозиметр с системой конус – плоскость (M – момент сопротивления;
 R – радиус конуса; ϕ – угол конуса; L – высота цилиндрической части конуса;
 ω – угловая скорость вращения конуса)

Принцип действия наиболее часто используемых ротационных вискозиметров заключается в измерении силы вращения ротора (крутящий момент) при его вращении с постоянной угловой скоростью (скорость вращения) в жидкости, расположенной между двумя коаксиальными цилиндрами, один из которых вращается двигателем, а второй стационарный.

Ротационные вискозиметры применяются для измерения вязкости ньютоновских (вязкость, независящая от сдвига) или неньютоновских жидкостей (вязкость, зависящая от сдвига, или кажущаяся вязкость). При измерении вязкости (структурной, эффективной или кажущейся) определяется момент силы M (крутящий момент), выраженный в ньютон-метрах ($\text{Н}\cdot\text{м}$), который

пропорционален углу, на который поворачивается внутренний цилиндр.

Ротационные вискозиметры подразделяются на две группы: абсолютные и относительные вискозиметры. В абсолютных вискозиметрах поток жидкости в измеряемой форме вполне определенный. Измерения приводят к значениям абсолютной вязкости, которые можно сравнить с любыми другими абсолютными значениями. В относительных вискозиметрах поток жидкости в измеряемой форме не вполне определен. Измерения приводят к значениям относительной вязкости, которые нельзя сравнить с любыми другими абсолютными значениями или другими относительными значениями, если они не определены с помощью того же метода относительной вискозиметрии.

Для заданных диапазонов вязкости предназначены различные измерительные системы, а также различные скорости вращения.

ПРИБОРЫ

Наиболее распространены следующие типы приборов.

Вискозиметры с концентрическим цилиндром (абсолютные вискозиметры)

В вискозиметрах с концентрическими цилиндрами (вискозиметр с коаксильным двойным цилиндром или вискозиметр с простым коаксильным цилиндром) вязкость определяется путем помещения жидкости в промежуток между внешним и внутренним цилиндром.

В случае ламинарного потока, динамическую вязкость η , выраженную в паскаль-секундах (Па·с), рассчитывают по формуле:

$$\eta = \frac{1}{\omega} \cdot \left\{ \frac{M}{4 \cdot \pi \cdot h} \right\} \cdot \left\{ \frac{1}{R_A^2} - \frac{1}{R_B^2} \right\} = K \cdot \frac{M}{\omega}, \quad (9)$$

где M – крутящий момент на поверхности цилиндра, Н · м; h – глубина погружения внутреннего цилиндра в жидкую среду, м; R_A – радиус внутреннего цилиндра, м; R_B – радиус внешнего цилиндра, м; ω – угловая скорость, рад/с; K – постоянная вискозиметра, рад/м³.

Вискозиметры с системой конус – плоскость (абсолютные вискозиметры)

В вискозиметрах с системой конус – плоскость исследуемая жидкость вводится в просвет между плоским диском и конусом, образуя определенный угол. Измерения вязкости выполняют путем вращения конуса или плоского диска.

В случае ламинарного потока, динамическую вязкость η , выраженную в паскаль-секундах (Па·с), рассчитывают по формуле:

$$\eta = \left\{ \frac{M}{\omega} \right\} \cdot \left\{ \frac{3\alpha}{2\pi R^2} \right\} = K \cdot \frac{M}{\omega}, \quad (10)$$

где M – крутящий момент на поверхности цилиндра, Н · м; R – радиус конуса, м; ω – угловая скорость, рад/с; α – угол между плоским диском и конусом, рад; K – постоянная вискозиметра, рад/м³.

Вискозиметр со шпинделем (относительные вискозиметры)

В вискозиметрах со шпинделем вязкость определяют путем вращения шпинделя (цилиндрического или в форме диска). Относительные значения вязкости (или кажущейся вязкости) могут быть рассчитаны непосредственно с исполь-

зованием преобразующих факторов из показаний для данной скорости вращения.

Постоянная вискозиметра K может быть определена при разных скоростях вращения с использованием градуировочных жидкостей для калибровки вискозиметров.

При этом вязкость рассчитывается по формуле:

$$\eta = K \cdot \frac{M}{\omega}, \quad (11)$$

где M – крутящий момент на поверхности цилиндра, Н · м; ω – угловая скорость, рад/с; K – постоянная вискозиметра, рад/м³.

Выпускаемые приборы сопровождаются таблицами, в которых приведена постоянная вискозиметра в зависимости от площади поверхности используемого цилиндра и скорости его вращения.

Вязкость измеряют в соответствии с инструкцией по применению ротационного вискозиметра.

Условия определения вязкости на ротационном вискозиметре указывают в фармакопейной статье на лекарственное средство. К ним относятся:

- модель вискозиметра;
- температура, при которой проводится исследование;
- тип измерительной системы;
- угловая скорость (число оборотов шпинделя) или скорость сдвига;
- размер контейнера для испытуемого образца лекарственного средства;
- объем испытуемого образца лекарственного средства.

Измерение вязкости на вискозиметре с падающим шариком

Измерение вязкости путем определения скорости падения шарика в жидкости проводят с помощью вискозиметра Гепплера (рис. 4).

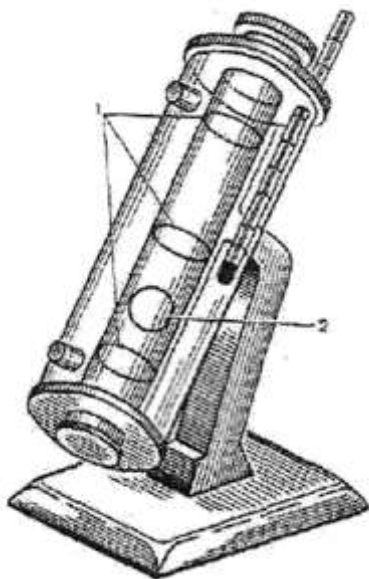


Рис. 4. Вискозиметр с падающим шариком
1 – калибровочные отметки; 2 – шарик.

На рис. 4 показан общий вид вискозиметра с падающим шариком. В комплект вискозиметра входят шарики с диаметром от 10,00 до 15,80 мм, что обеспечивает измерение динамической вязкости градуировочных жидкостей в диапазоне от 0,6 до $8 \cdot 10^4$ мПа·с.

Методика. Для измерения вязкости испытуемую жидкость заливают в трубку, опускают шарик и термостатируют вискозиметр в течение примерно 30 мин при температуре $(20 \pm 0,1)$ °С, если не указано иначе в фармакопейной статье. Далее шарик ставят в исходное положение. Включают секундомер, когда нижняя часть шарика коснется верхней метки, и останавливают, когда шарик достигнет нижней метки. Время движения шарика измеряют не менее 5 – 7 раз. При этом разность между наибольшим и наименьшим значениями времени движения шарика не должна превышать 0,5 % от его среднего значения.

Динамическую вязкость испытуемой жидкости вычисляют по формуле:

$$\eta = K \cdot (\rho_{ш} - \rho_{ж}) \cdot t_{cp}, \quad (12)$$

где η – динамическая вязкость, мПа · с; K – постоянная вискозиметра; $\rho_{ш}$ и $\rho_{ж}$ – плотности шарика и жидкости соответственно, г/см³; t_{cp} – среднее время движения шарика между крайними метками, с.

Постоянная вискозиметра (K) определяется по формуле:

$$K = \frac{\eta_0}{(\rho_{ш} - \rho_{0ж}) \cdot t_{0cp}}, \quad (13)$$

где η_0 – динамическая вязкость градуировочной жидкости, мПа · с; $\rho_{ш}$ и $\rho_{0ж}$ – плотности шарика и градуировочной жидкости соответственно, г/см³; t_{0cp} – среднее значение времени движения данного шарика в градуировочной жидкости, с.

Число постоянных вискозиметра соответствует числу шариков, входящих в комплект вискозиметра.

При необходимости постоянные прибора могут быть проверены по вышеуказанной формуле с помощью градуировочных жидкостей с известными значениями динамической вязкости. Плотность шариков $\rho_{ш}$ вычисляют по формуле:

$$\rho_{ш} = \frac{6 \cdot m}{\pi \cdot d^3}, \quad (14)$$

где m – масса шарика, определяемая взвешиванием, г; d – диаметр шарика, см.

Перед проведением измерений вискозиметр следует тщательно промыть и высушить.

Литература

1. Ковалев Я.Н. Дорожно-строительные материалы и изделия [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Я.Н. Ковалев, С.Е. Кравченко. – М.; Минск : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М" : ООО "Новое знание", 2015. - 630 с.
2. Дорожно-строительные материалы. Асфальтобетон [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.В. Королев и др. - Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ЭБС АСВ, 2012. - 240 с.
3. Ковалев Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Я.Н. Ковалев – М.; Минск : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М" : ООО "Новое знание", 2017. - 285 с.
4. Булидорова Г.В. Первый и второй законы термодинамики [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Г. В. Булидорова, К. А. Романова, Ю. Г. Галяметдинов и др. - Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. - 84 с.