

СОВМЕСТИМОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТРАКТА ОХЛАЖДЕНИЯ ЛАЗЕРОВ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ЖИДКОСТНЫМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ© 2007 г. **В. М. Волинкин***, канд. хим. наук; **В. М. Подгаецкий****, доктор физ.-мат. наук

* НПК “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

** Московский государственный институт электронной техники (технический университет), Москва

E-mail: bms@miee.ru

Рассмотрены возможности выбора конструкционных материалов тракта охлаждения лазеров. Описана методика исследований оптических свойств материалов в органическом жидкостном теплоносителе.

Коды OCIS: 160.3380.

*Поступила в редакцию 18.01.2007.***Введение**

Широкое применение органических жидкостей в лазерных приборах обусловлено, помимо удобства жидкостного охлаждения, возможностями многоцелевого применения жидкостей. Введение в состав жидкостных теплоносителей (ЖТ) абсорберов оптического излучения позволяет использовать их для фильтрации вредной части излучения накачки лазеров за счет поглощения УФ части излучения накачки в ЖТ. Применение люминофоров в составе ЖТ приводит к возможности трансформации излучения накачки с целью согласования спектрального состава накачки со спектром поглощения активной среды.

Современные органические ЖТ на основе спиртов, алканов, эфиров карбоновой кислоты и алканосиланов способны работать в широком диапазоне температур окружающей среды. Они маловязки и стойки к действию нагрева и облучения [1].

На практике выбор состава ЖТ для применения в конкретном лазерном изделии во многом зависит от совместимости конструкционных материалов тракта охлаждения прибора с ЖТ, т. е. от коррозионных свойств составляющих материалов. Несмотря на важность этой задачи, систематические исследования коррозионной стойкости конструкционных материалов лазерных изделий в наиболее распространенных типах ЖТ ранее не проводились.

С целью выяснения работоспособности материалов проводились ускоренные испытания их стойкости в жидкостных теплоносителях СХЖ-8А, ФЛЖ 2О-1 и ОЖ ПМ1-00Р и ФХЖ РМ11-12Н, основой которых служат растворители, удовлетворяющие целому ряду условий всепогодного применения жидкостей в мощных лазерах. Результаты таких исследований могут упростить работу конструкторов, проектирующих лазерные системы, охлаждаемые органическими теплоносителями.

В традиционных методах испытаний коррозионной стойкости металлов в соответствии с [2] берут за основу уменьшение массы образца, отнесенное к единице его поверхности, при заданной продолжительности испытаний. Глубинный показатель коррозии P выражается в линейных единицах, отнесенных к единице времени [мм/год]:

$$P = AK/\rho, \quad (1)$$

где $A = 8,76$ – коэффициент пересчета, K – скорость коррозии [г/м²], ρ – плотность металла [г/см³]. На практике в качестве меры коррозии металлов часто используют изменение их массы, отнесенное к единице времени [г/год].

Испытания конструкционных материалов в жидкостном теплоносителе СХЖ-8А

Исследования свойств ряда металлических материалов и сплавов, их гальванических пар, а также лазерных отражателей проводились в спирто-алкановом ЖТ СХЖ-8А, который обеспечивает фильтрацию вредной части УФ излучения ламп накачки лазеров. Испытания проходили в нормальных условиях (серия I), при повышенных температурах испытаний T_n (серия II) и при воздействии излучения импульсной лампы ИФП-800 (серия III). После визуального осмотра и взвешивания образцов материалов на аналитических весах АДВ-200 с точностью $\pm 0,1$ мг они размещались в кюветах с СХЖ-8А. Исследовались также гальванические пары материалов в ЖТ. Контрольные образцы материалов помещались в эксикатор с силикагелем.

В серии I по два образца каждого материала выдерживались при комнатной температуре в течение года, причем в течение первой половины года выполнялись их ежемесячные осмотры. В результате экспериментов внешний вид образцов из нержавеющей стали 1Х18Н10Т, алюминиевого сплава Д16Т

(2 образца) и титанового сплава ВТ1-0 (2 образца) не изменился. Изменение массы образцов составляло

$$\begin{aligned} \text{для 1X18H10T} & - \pm (0,1-0,3) \text{ мг/год,} \\ \text{Д16Т} & - + (0,3-0,4) \text{ мг/год,} \\ \text{ВТ1-0} & - - (0,5-0,6) \text{ мг/год.} \end{aligned}$$

В гальванической паре 1X18H10T/ВТ1-0 (4 образца) не было обнаружено изменения внешнего вида, а изменение массы составляло 0,2 мг/год. В случае пары 1X18H10T/Д16Т (4 образца) изменение массы образцов равнялось $\pm (0-0,4)$ мг/год. В то же время на линии контакта Д16Т с 1X18H10T на Д16Т наблюдались точки коррозии, а на линии контакта 1X18H10T с Д16Т на 1X18H10T возникала мутная пленка.

В серии II по два образца материалов выдерживались в ЖТ при $T_{\text{н}} = 60-80$ °С в течение 20 ч. Точность измерения температуры составляла 2 °С.

После указанных испытаний внешний вид образцов из 1X18H10T, Д16Т и ВТ1-0 не изменился. Изменение массы образцов составляло

$$\begin{aligned} \text{для 1X18H10T} & - + (0,1-0,2) \text{ мг/год,} \\ \text{Д16Т} & - - (0,1-0,3) \text{ мг/год,} \\ \text{ВТ1-0} & - - (0,1-0,3) \text{ мг/год.} \end{aligned}$$

В паре 1X18H10T/ВТ1-0 (3 образца) не было обнаружено изменения внешнего вида, а изменение массы составляло $\pm (0,1-0,2)$ мг/год. В случае пары 1X18H10T + Д16Т (3 образца) изменение массы образцов равнялось $\pm (0,3-0,6)$ мг/год. По линии контакта Д16Т с 1X18H10T на Д16Т наблюдались точки коррозии, а на 1X18H10T – мутная пленка.

В серии III образцы конструкционных материалов в ЖТ подвергались облучению до световой нагрузки 1–2 МДж/л. Как и в сериях опытов I и II, внешний вид образцов не изменился. Изменение массы образцов составляло

$$\begin{aligned} \text{для 1X18H10T (3 образца)} & - \pm (0,1-0,3) \text{ мг/год,} \\ \text{Д16Т (4 образца)} & - + (0-0,2) \text{ мг/год,} \\ \text{ВТ1-0 (5 образцов)} & - - (0,1-0,3) \text{ мг/год.} \end{aligned}$$

В паре 1X18H10T + ВТ1-0 не было обнаружено изменения внешнего вида 4 образцов, а изменение их массы составляло $+ (0,1-0,4)$ мг/год (4 образца). В случае пары 1X18H10T + Д16Т (4 образца) изменение массы образцов равнялось $\pm (0,1-0,6)$ мг/год. По линии контакта Д16Т с 1X18H10T на 1X18H10T наблюдалось помутнение поверхности; на всей поверхности Д16Т наблюдались точки коррозии, но наибольшее количество очагов коррозии было в месте контакта.

Таким образом, малое изменение массы образцов конструкционных материалов указывало на их

высокую стойкость в ЖТ СХЖ-8А. Вместе с тем обращало на себя внимание изменение вида образцов в месте контакта гальванических пар.

Наличие гальванических контактов материалов представляет особо важную проблему при использовании многослойных металлических покрытий отражателей лазеров. В связи с этим были проведены испытания двух зеркальных кварцевых отражателей с Ag–Cu–Ni-покрытием по методике серии I. После этих испытаний внешний вид отражателей не изменился, а изменение их массы составляло $\pm (0,2-0,5)$ мг/год.

Несмотря на полученные результаты испытаний, опыт применения отражателей указанного типа говорит о необходимости качественного изготовления их покрытий. Так, в ряде случаев наблюдалось преждевременное снижение выходной энергии лазеров, что было связано с возникновением налета меди на внешней поверхности ламп накачки. Так как в тракте охлаждения лазеров не было деталей из меди и медных сплавов, указанные эффекты могли быть только следствием повреждения защитного слоя никеля в покрытии отражателей.

С целью проверки этого предположения измерялись спектральные характеристики СХЖ-8А после 10-часовой выдержки трех образцов отражателей с Ag–Cu–Ni-покрытием в ЖТ при $T_{\text{н}} = 50$ °С (см. табл. 1). Спектры измерялись на спектрофотометре СФ-26 после остывания жидкости в естественных условиях. Находились значения начального T_0 и конечного T пропускания слоя ЖТ толщиной 10 мм относительно дистиллированной воды на длинах волн $\lambda = 410-414$ нм. Для сравнения в табл. 1 приведены спектральные характеристики образца медной проволоки массой 7 г после термостатирования в ЖТ.

Как видно из табл. 1, удовлетворительные результаты были получены только с одним из трех испытанных отражателей, что подтверждало выводы, сделанные выше.

Результаты приведенных экспериментов указывают на целесообразность использования оптических методов для оценки совместимости материалов и элементов тракта охлаждения лазеров с ЖТ.

Таблица 1. Спектральные характеристики жидкостного теплоносителя СХЖ-8А до и после термостатирования в течение 10 ч

λ , нм	T_0 , %	Номер отражателя			Медная проволока
		1	2	3	
		T , %			
410	40	39	26	29	3,0
412	45	45	32	34	3,5
414	51	50	37	40	4,0

Поэтому в дальнейших исследованиях основное внимание уделялось измерению спектров пропускания ЖТ после коррозионных испытаний.

Испытания конструкционных материалов в жидкостных теплоносителях ФЛЖ 20-1 и ОЖ ПМ1-00Р

В первой серии экспериментов с ЖТ ФЛЖ 20-1 на основе эфира карбоновой кислоты, обладающим наряду с фильтрующими и люминесцирующими свойствами, которые способствуют повышению КПД лазера с таким ЖТ, исследовались коррозионные свойства диффузных лазерных отражателей с силиконовым покрытием на основе связки КО-08 и полимерного материала СИЭЛ 159-305 с наполнителями из окисей циркония ZrO_2 и титана TiO_2 . Контрольные испытания проводились с кварцевыми пластинами с аналогичным покрытием, а также с жидкостной основой ФЛЖ 20-1–ЖТ ОЖ ПМ1-00Р.

Объектами исследования служили следующие образцы:

1) лазерный отражатель, покрытый двумя слоями ZrO_2 (КО, 5%), с нанесенным поверх слоем СИЭЛ с наполнителем (ZrO_2 , 50%);

2) лазерный отражатель, покрытый двумя слоями СИЭЛ с наполнителем (ZrO_2 , 50%);

3) кварцевая пластина, покрытая двумя слоями ZrO_2 (КО, 5%) с нанесенным поверх слоем СИЭЛ с наполнителем (ZrO_2 , 50%);

4) 2 кварцевые пластины, покрытые двумя слоями СИЭЛ с наполнителем (ZrO_2 , 50%);

5) 2 пластины из СИЭЛ с наполнителем (ZrO_2 , 50%);

6) 2 пластины из СИЭЛ с наполнителем (TiO_2 , 20–30%).

Выбор термического режима и длительности коррозионных испытаний проводился с учетом данных [3], по которым подтверждение долговечности полимерного материала может быть выполнено на основании ускоренных климатических испытаний при $T_{\text{и}} \geq 85^\circ\text{C}$. Указанный метод основан на принципе температурно-временной суперпозиции. Время испытания $\tau_{\text{и}}$, соответствующее заданному времени хранения (работы) материала в изделии, определяется выражением

$$\lg \tau_{\text{и}} = \lg \tau_{\text{хр}} + \frac{E(1/T_{\text{и}} - 1/T_3)}{2,3R}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{хр}}$ – заданная продолжительность хранения, E – энергия активации лимитирующего процесса (выраженная в ккал/моль), T_3 – эквивалентная температура, установленная для заданного значения E , R – число Авогадро.

В качестве показателя, по которому определяют изменение параметров полимера, была выбрана устойчивость во времени непрореагировавших гидросилоксановых групп в продукте реакции полиприсоединения. Выделяющийся при их распаде атомарный водород, активно реагируя как с красителем, так и с основой теплоносителя, может изменить спектр ЖТ. Таким образом, гарантийный ресурс полимерного материала СИЭЛ может быть установлен по спектральным характеристикам ЖТ.

Энергия активации процесса, лимитирующего изменение параметров СИЭЛ в ЖТ (распад концевых гидросилоксановых групп), $E \approx 16$ ккал/моль, значение $T_3 = 289$ К [3]. Время испытаний $\tau_{\text{и}}$ при $T_{\text{и}} = 358$ К (85°C), соответствующее продолжительности хранения $\tau_{\text{хр}}$, согласно выражению (2) равно примерно 500 ч. Поэтому, испытания образцов проводились при $T_{\text{и}} = 85\text{--}150^\circ\text{C}$ в течение 10–500 ч. Выбранные термический режим и длительность испытаний моделировали хранение материала СИЭЛ в контакте с ФЛЖ 20-1 в течение не менее десяти лет.

Спектральные характеристики ЖТ определялись до начала термических испытаний и через 250 и 500 ч после начала испытаний образцов 1)–4) при $T_{\text{и}} = 85^\circ\text{C}$. Для образцов 5) и 6), испытывавшихся при $T_{\text{и}} = 150^\circ\text{C}$, спектральные характеристики ЖТ определялись до начала термических испытаний и через 10 ч после начала испытаний.

Объем проб ЖТ при измерениях составлял 3–5 мл. Определялись спектры пропускания ЖТ для толщины слоя жидкости 10 мм относительно дистиллированной воды в диапазоне длин волн от 220 до 900 нм.

Для измерения спектров пропускания применялся комплекс КСВУ на базе монохроматора МДР-23 с дифракционной решеткой 1200 штр/мм, управляемый компьютером АТ-286. Входные и выходные щели монохроматора имели ширину 50 мкм для спектрального диапазона 200–700 нм и 200 мкм для диапазона 700–900 нм. В диапазоне $\lambda = 200\text{--}380$ нм источником излучения служила дейтериевая лампа, приемником излучения – ФЭУ-100; в диапазоне $\lambda = 380\text{--}900$ нм – соответственно лампа накаливания и кремниевый фотодиод. Шаг спектральных измерений составлял 1 нм. Обработка данных проводилась на компьютере Pentium с частотой 133 МГц с помощью программы Microsoft Excell.

Особой целью испытаний материала с ОЖ ПМ1-00Р было выявление возможных изменений спектральных характеристик жидкости в УФ области спектра, что может оказаться более тонким индикатором коррозионных процессов.

При испытаниях образцы размещались в стеклянных бюксах емкостью 50–70 мл и в кюветах емкостью 150–170 мл. Отражатели 1) и 2) размеща-

лись в кюветах с ФЛЖ 2О-1. Кварцевая пластина 3) и одна из кварцевых пластин 4) размещались в бьюксах с ОЖ ПМ1-00Р. Вторая кварцевая пластина 4) размещалась в бьюксах с ФЛЖ 2О-1. По одной из пластин 5), 6) размещались в бьюксах с ОЖ ПМ1-00Р и бьюксах с ФЛЖ 2О-1. Бьюксы и кюветы с образцами 1)–4) помещались на фторопластовой подставке в термостате СНОЛ-2,5/2,5 и выдерживались при $T_{\text{н}} = 85 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 500 ч. Бьюксы с образцами 5), 6) при том же размещении выдерживались при температуре $150 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 10 ч.

Перед проведением испытаний образцы, бьюксы и кюветы промывались водой с содой, дистиллированной водой и спиртом и высушивались в потоке теплого сухого воздуха. Установка и контроль температуры образцов осуществлялись с помощью специального автоматизированного блока стабилизации и контроля температуры.

По результатам измерений спектров пропускания ЖТ было выяснено, что длительное термостатирование (в течение 250–500 ч при $T_{\text{н}} = 85^\circ\text{C}$) не оказывает заметного влияния на спектральные характеристики ОЖ ПМ1-00Р и ФЛЖ 2О-1. Аналогичные результаты были получены при испытаниях тех же ЖТ, находящихся в контакте с отражателем 2) и кварцевыми пластинами 3) и 4).

В отличие от этого было обнаружено небольшое снижение пропускания ФЛЖ 2О-1 в контакте с отражателем 1) в области 880–900 нм после 250 ч термических испытаний при $T_{\text{н}} = 85^\circ\text{C}$ и заметное уменьшение пропускания в области $\lambda = 700\text{--}900$ нм после 500 ч таких же термических испытаний.

Термические испытания при $T_{\text{н}} = 150^\circ\text{C}$ в течение 10 ч не оказывали заметного воздействия на спектральные характеристики ФЛЖ 2О-1, находившегося в контакте с пластинами 5) и 6), и несколько ухудшали спектральные характеристики теплоносителя ОЖ ПМ1-00Р в тех же условиях. Изменение спектральных характеристик теплоносителя ОЖ ПМ1-00Р, находящегося в контакте с пластиной СИЭЛ с наполнителем TiO_2 , было выше, чем в случае пластины из СИЭЛ с наполнителем ZrO_2 .

В соответствии с результатами проведенных испытаний срок службы отражателя (покрытого двумя слоями СИЭЛ с наполнителем ZrO_2), находящегося в контакте с ФЛЖ 2О-1 при $T_{\text{н}} = 85^\circ\text{C}$, составляет не менее 500 ч. Это подтверждалось результатами испытаний кварцевых пластин с таким же покрытием. В то же время срок службы отражателя, покрытого двумя слоями ZrO_2 (связка КО) с нанесенным поверх слоем СИЭЛ с наполнителем ZrO_2 , находящимся в контакте с ФЛЖ 2О-1 при $T_{\text{н}} = 85^\circ\text{C}$, находится в пределах 250–500 ч.

По результатам испытаний кварцевых пластин, покрытых двумя слоями СИЭЛ с наполнителем ZrO_2 ,

а также покрытых двумя слоями ZrO_2 , (связка КО) с нанесенным поверх слоем СИЭЛ с наполнителем ZrO_2 , находящимся в контакте с ОЖ ПМ1-00Р при $T_{\text{н}} = 85^\circ\text{C}$, составляло не менее 500 ч.

Таким образом, применение наполнителей СИЭЛ – ZrO_2 и TiO_2 при контакте с ФЛЖ 2О-1 дает примерно одинаковые результаты. При контакте с ОЖ ПМ1-00Р предпочтительнее наполнитель ZrO_2 .

По результатам вышеописанных испытаний материала СИЭЛ, наполненного ZrO_2 и TiO_2 , находящегося в контакте с ФЛЖ 2О-1, можно гарантировать сохранность этого конструкционного материала лазерных устройств в нормальных условиях хранения в течение 12 лет. Этот материал может применяться в составе отражателя, покрытого двумя слоями СИЭЛ, наполненного ZrO_2 .

Аналогичные выводы могут быть сделаны относительно применения ЖТ ОЖ ПМ1-00Р в контакте с СИЭЛ.

В следующей серии опытов с целью выяснения влияния воздействия других конструкционных материалов – нержавеющей стали 12Х18Н10Т, никеля, титана ВТ1-0, кварцевого и неодимового стекол и фторопласта – на спектральные характеристики ФЛЖ 2О-1 проводились измерения спектров поглощения и пропускания ЖТ до и после выдержки в термокамере в течение 10–60 ч при $T_{\text{н}} = 150^\circ\text{C}$.

Как следует из данных рис. 1, где показаны результаты испытаний для материала 12Х18Н10Т (данные измерений для остальных исследованных материалов были аналогичны), длительное термостатирование мало сказывалось как на спектрах поглощения жидкости, так и на спектрах пропускания ЖТ в области основных полос поглощения неодимовых активных сред ($\lambda_{\text{макс}} \approx 580, 750, 810$ нм), осо-

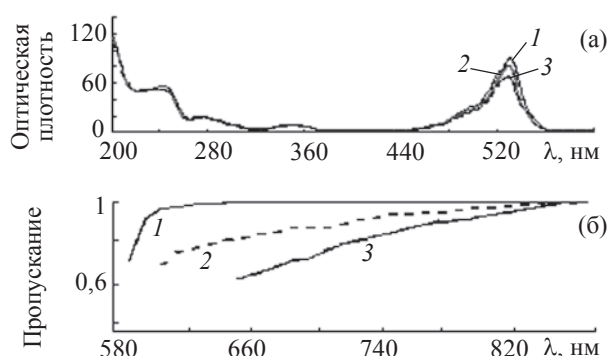


Рис. 1. Спектры поглощения (а) и пропускания (б) в красной и ближней ИК областях спектра ФЛЖ 2О-1 до (1) и после (2, 3) термостатирования в контакте с конструкционными материалами в течение 10 (2) и 60 ч (3) при температуре 150°C . Толщина слоя жидкости $h = 10$ мм.

бенно если учесть значительное превышение толщины слоя ФЛЖ 2О-1 ($h = 10$ мм) при измерениях спектра по сравнению с толщиной слоя ЖТ в квантронах обычно используемых лазеров (2–3 мм).

Испытания резиновых деталей в жидкостных теплоносителях ФЛЖ 2О-1 и ФХЖ РМ11-12Н

В случае ЖТ ФЛЖ 2О-1 и ФХЖ РМ11-12Н (на основе алканосиланов) коррозионные испытания резиновых деталей (РД) в виде колец из резины ИРП-1285 проводились путем контроля спектральных характеристик и внешнего вида РД до и после испытаний. Значения начальной массы и размера резиновых колец приведены в табл. 2.

Испытуемые образцы РД размещались в стеклянных пробирках емкостью 25 мл. Перед проведением испытаний образцы, пробирки и кюветы для спектральных измерений промывались водой с ПАВ, далее дистиллированной водой и этанолом и высушивались в потоке теплого сухого воздуха. Объем проб ЖТ для измерения их спектров составлял 1–2 мл.

Спектры поглощения и пропускания ЖТ в УФ и коротковолновой видимой областях спектра измерялись на спектрофотометре СФ-26 перед началом, во время и после окончания испытаний.

Испытания проводились в следующем порядке. РД размещали в пробирках с ЖТ. Пробирки с образцами РД помещали на подставке в термостате и

Таблица 2. Результаты измерений параметров резиновых деталей в жидкостных теплоносителях

Тип ЖТ	Диаметр, мм		Толщина, мм	Масса, мг
	внутренний	внешний		
ФХЖ РМ11-12Н	7	12	2,4	194
ФЛЖ 2О-1	7	12	2,4	198

Таблица 3. Результаты измерений параметров резиновых деталей после коррозионных испытаний в жидкостных теплоносителях

Условия испытаний	Диаметр, мм		Толщина, мм	Масса, мг
	внутренний	внешний		
ФХЖ РМ11-12Н (120 °С, 50 ч)	7	12	2,5	169
ФЛЖ 2О-1 (120 °С, 50 ч)	7	12	2,5	189
ФХЖФ РМ11-12Н (100 °С, 100 ч)	5	9	2	87
ФЛЖ 2О-1 (100 °С, 100 ч)	5	9	2	94

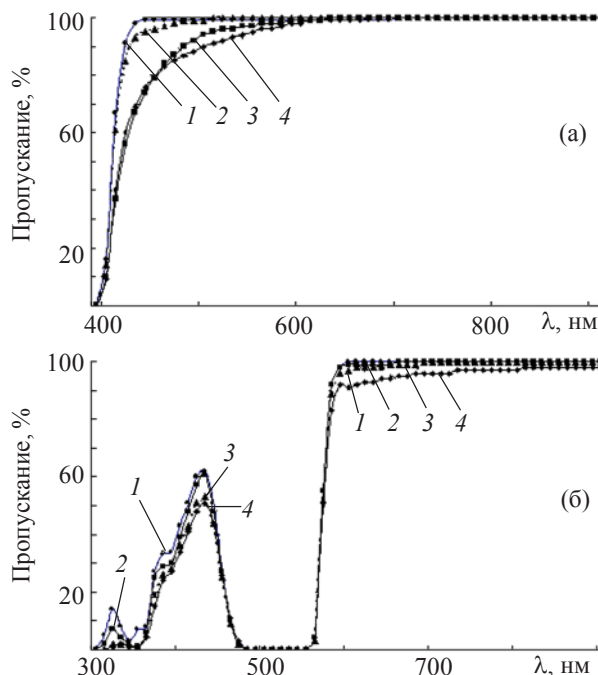


Рис. 2. а – спектры пропускания ФЛЖ 2О-1, $h = 2$ мм; б – ФХЖ РМ11-12Н, $h = 10$ мм. 1 – до испытаний; 2–4 – после испытаний в контакте с резиной ИРП-2021; 2, 4 – 50 ч, 120 °С; 3 – 100 ч, 100 °С. Содержание резины C_p – а: 2 – 1,35, 3 – 3,76, 4 – 6,76 г/л; б: 2 – 0,74, 3 – 3,46, 4 – 7,42 г/л.

выдерживали при температуре $T_{и} = 100 \pm 2$ °С в течение 100 ч и при $T_{и} = 120 \pm 2$ °С в течение 50 ч. Промежуточный замер спектральных характеристик ЖТ проводился через каждые 10 ч после начала испытаний при $T_{и} = 100$ °С и через каждые 5 ч при $T_{и} = 120$ °С. Измерения проводили также по окончании испытаний.

Внешний вид резиновых колец в результате коррозионных испытаний в ФХЖ РМ11-12Н и ФЛЖ 2О-1 при температурах 120 °С (50 ч) и 100 °С (100 ч) практически не изменился.

Замеры параметров резиновых колец после коррозионных испытаний при температуре 120 °С (50 ч) дали результаты, приведенные в табл. 3.

На рис. 2 показаны спектры пропускания ФХЖ РМ11-12Н и ФЛЖ 2О-1 до и после коррозионных испытаний при различных значениях содержания резины ИРП-1285, температуры и длительности испытаний.

Зависимости пропускания слоя ЖТ после коррозионных испытаний в области основных полос поглощения неодимовых активных сред от содержания резины показаны на рис. 3 для различных температур и длительностей испытаний.

Согласно данным рис. 2 спектральные характеристики жидкостных теплоносителей ФХЖ РМ11-12Н и ФЛЖ 2О-1 обеспечивают полное поглощение УФ излучения ламп накачки при малой толщине слоя ЖТ.

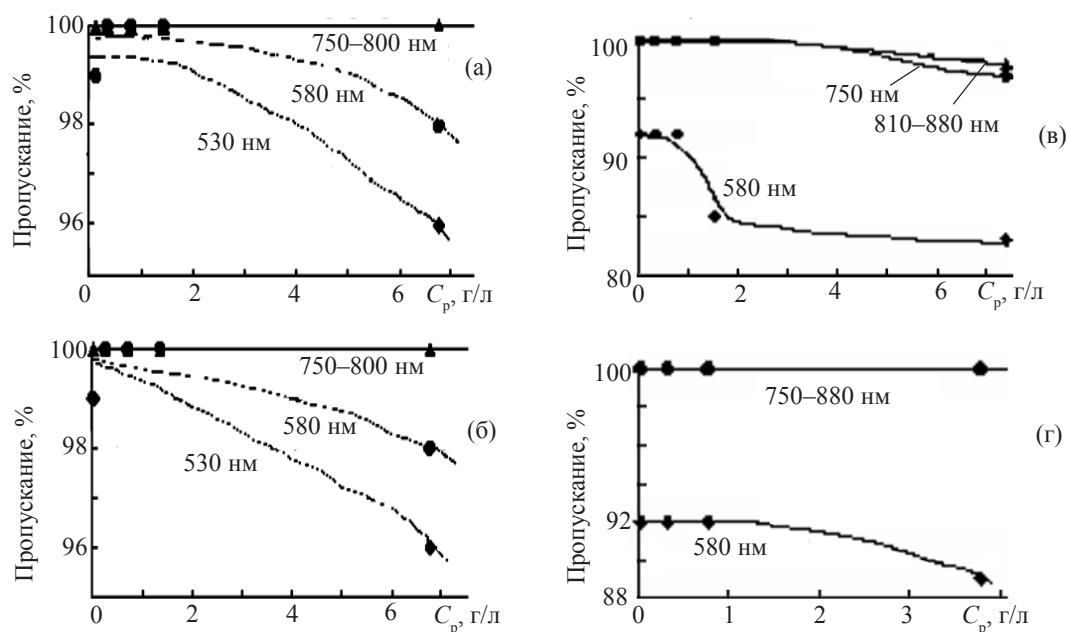


Рис. 3. Зависимости пропускания слоя ЖТ после коррозионных испытаний в области основных полос поглощения неодимовых активных сред от содержания резины ИРП-2021 C_p . ФХЖ РМ11, $h = 10$ мм: а – 100 ч, 100 °С; б – 50 ч, 120 °С. ФЛЖ 2О-1, $h = 2$ мм: в – 100 ч, 100 °С; г – 50 ч, 120 °С.

В видимой (начиная с $\lambda \approx 400$ нм) и ближней ИК областях спектра (до $\lambda \approx 900$ нм) ФХЖ РМ11-12Н полностью прозрачен. Что касается ФЛЖ 2О-1, этот ЖТ прозрачен в длинноволновой видимой (начиная с $\lambda \sim 580$ нм) и ближней ИК областях спектра (до $\lambda \approx 900$ нм).

При коррозионных испытаниях ФХЖ РМ11-12Н наблюдается снижение пропускания ЖТ в сине-голубой области спектра, исчезающее при уменьшении содержания резины в жидкости. Изменения пропускания ФЛЖ 2О-1 в синей и желто-оранжевой областях спектра также исчезают при уменьшении содержания резины C_p в жидкости.

Анализ изменений пропускания ФХЖ РМ11-12Н и ФЛЖ 2О-1 в области основных полос поглоще-

ния неодимовых активных сред после коррозионных испытаний (рис. 3) показывает, что влияние наличия РД в ЖТ ощутимо только в области значений $C_p > 1$ г/л.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подгаецкий В.М., Волынкин В.М., Комлев И.В., Резниченко А.В. Жидкостные теплоносители для лазеров // Прикладная физика. 2003. № 1. С. 123–142.
2. ГОСТ 5272-80. Коррозия металлов. Термины.
3. ГОСТ 9.707-81. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение. Приложение 5.