

УДК 621.791 + 658.3

*А. В. Хомченко, С. В. Болотов, А. В. Шульга*

## КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ И АНАЛИЗ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ГЛАЗ СВАРЩИКА

UDC 621.791 + 658.3

*A. V. Khomchenko, S. V. Bolotov, A. V. Shulga*

## TESTING OF PARAMETERS AND ANALYSIS OF DEVICES FOR EYE PROTECTION WHEN WELDING

### Аннотация

Представлены методики и созданные установки для испытания средств индивидуальной защиты глаз сварщика. Рассмотрено устройство автоматического светофильтра сварочной маски и основные контролируемые его параметры, оказывающие влияние на здоровье работника и качество выполняемой работы сварщика. Приведены результаты анализа испытаний сварочных масок разных производителей, а также основные несоответствия, выявляемые при испытаниях.

### Ключевые слова:

контроль параметров средств индивидуальной защиты глаз сварщика, световое излучение при сварке, защитные устройства, светофильтры, оптические затворы, оптические светофильтры, промежуточный слой.

### Abstract

Techniques and installations created for testing personal eye protection equipment for welders are presented. The construction of an automatic filter for a welding helmet is considered, as well as its main tested parameters that affect the health of a welder and the quality of welding performed by him. Results of the test analysis of welding helmets from different manufacturers and the main inconsistencies detected during testing are presented.

### Keywords:

testing of parameters of welder's eye protection devices, light radiation during welding, protective devices, optical filters, optical shutters, interlayer.

### Введение

В современном мире высоких технологий любые сварочные работы вне зависимости от того, где они проводятся, связаны с целым рядом опасных факторов, к которым относятся, прежде всего, высокая интенсивность излучения сварочной дуги, брызги расплавленного металла, разного рода отравляющие соединения, возникающие в процессе работ. По статистике 41 % от общего числа травм сварщика приходится на глаза и органы дыхания [1]. Опасность для зрения представляет ультра-

фиолетовое (УФ) и инфракрасное (ИК) излучение электрической дуги, кроме того, излучение в видимой части спектра также имеет большую интенсивность [2]. В процессе зажигания дуги при любой освещенности рабочего места возникает резкий скачок яркости свечения зоны сварки. Поэтому при проведении сварочных работ защиту глаз обеспечивают с помощью специальной маски.

В зависимости от процесса сварки, окружающих условий и интенсивности работы сварщика к его защите предъявляются самые различные требования.



Адаптированные под конкретный технологический процесс средства индивидуальной защиты определяют безопасность проводимых работ. Основным элементом в сварочной маске является светофильтр как с пассивным, так и автоматическим затемнением. В настоящее время сварочные маски стали удобными и безопасными, при этом современный автоматический светофильтр на маске сварщика не только защищает глаза от электромагнитного излучения, но и позволяет контролировать качество сварного шва.

Таким образом, анализ результатов испытаний характеристик свароч-

ных масок представляет определенный интерес с точки зрения их подбора при проведении различных сварочных работ, что и определяет актуальность выполненных исследований.

### Автоматический светофильтр и его характеристики

Широко используемая в настоящее время фибровая маска содержит автоматический жидкокристаллический (ЖК) затвор с изменяющимся коэффициентом пропускания в зависимости от вида сварочных работ. На рис. 1, а показан внешний вид маски [3].

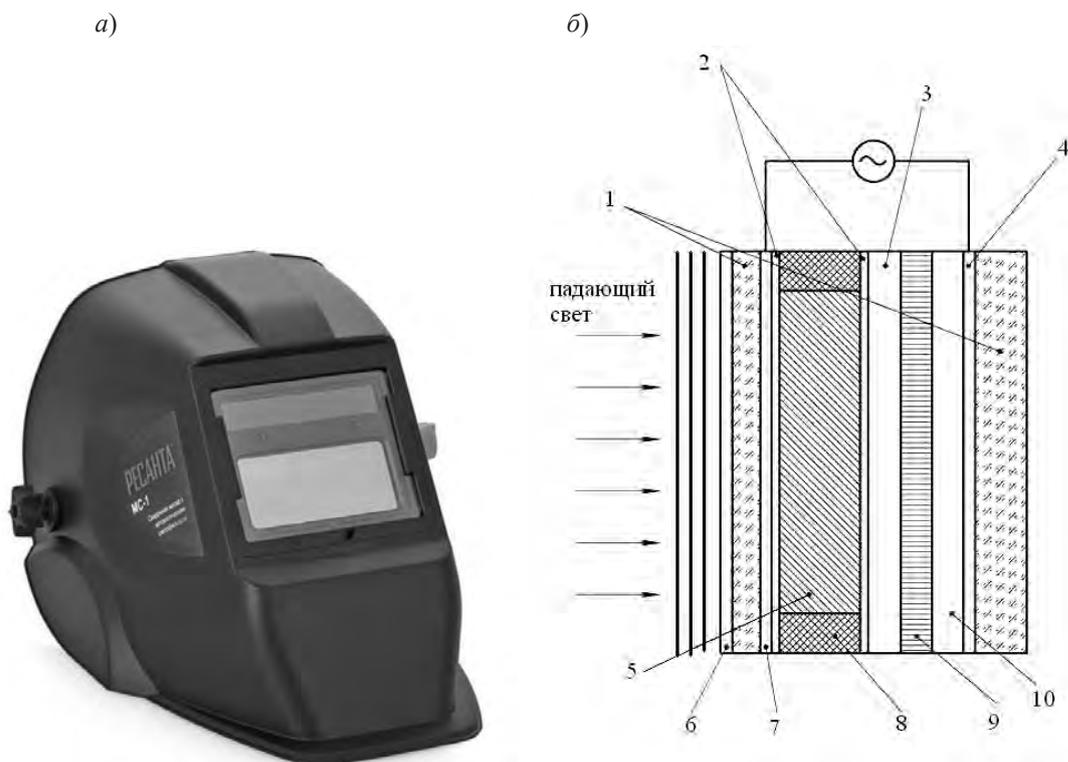


Рис. 1. Внешний вид сварочной маски (а) и конструкция автоматического светофильтра (б): 1 – подложка из стекла; 2 – изолирующий слой; 3 – диэлектрическое зеркало; 4, 7 – прозрачный электрод; 5 – слой ЖК; 6 – интерференционный фильтр; 8 – уплотнитель; 9 – поляризатор; 10 – фоторезистор

Автоматический светофильтр (см. рис. 1, б) состоит из защитного экрана, изготовленного из поликарбоната толщиной 1,2 мм, защищающего оптическую поверхность от механических

воздействий; многослойных ультрафиолетового и инфракрасного светофильтров; двух или трех последовательно расположенных ЖК-ячеек, обеспечивающих переход светофильтра из про-



зрачного в непрозрачное состояние с необходимым коэффициентом пропускания в видимой области спектра для применяемого режима сварки; экрана из поликарбоната, защищающего внутреннюю поверхность светофильтра [4]. Например, оптическая система светофильтра сварочной маски, состоящей из двух жидкокристаллических ячеек, в состав которых входят четыре стеклянные подложки, четыре проводящих слоя ( $\text{In}_2\text{O}_3: \text{Sn}$ ) и три поляризационные пленки, обеспечивает пропускание света в ультрафиолетовой области спектра  $\sim 7 \cdot 10^{-3} \%$ , а в инфракрасной области –  $\sim 2 \%$ . В ИК-диапазоне спектра содержится основная доля излучения дуги сварки, поэтому для его ослабления применяются не поглощающие фильтры, а ИК-отражательные фильтры на основе многослойных интерференционных тон-

копленочных структур, которые, как правило, состоят из чередующихся слоев металла (Ag) и проводящих окислов ( $\text{SnO}_2$  или  $\text{In}_2\text{O}_3$ ) на подложке из оптического стекла марки СЗС 21. Для получения интерференционных фильтров с коэффициентом отражения 90...95 % число пар слоев может варьироваться в диапазоне от 8 до 12 [2].

Известно, что для надежной защиты глаз от светового импульса сварочной дуги необходимо обеспечить определенную скорость изменения оптической плотности фильтра во времени, соответствующую быстродействию  $\sim 1...2$  мс, для современных ЖК-светофильтров время срабатывания составляет менее 0,1 мс. При этом стоит отметить, что время срабатывания и степень затемнения светофильтра связаны обратной зависимостью (рис. 2) [4].

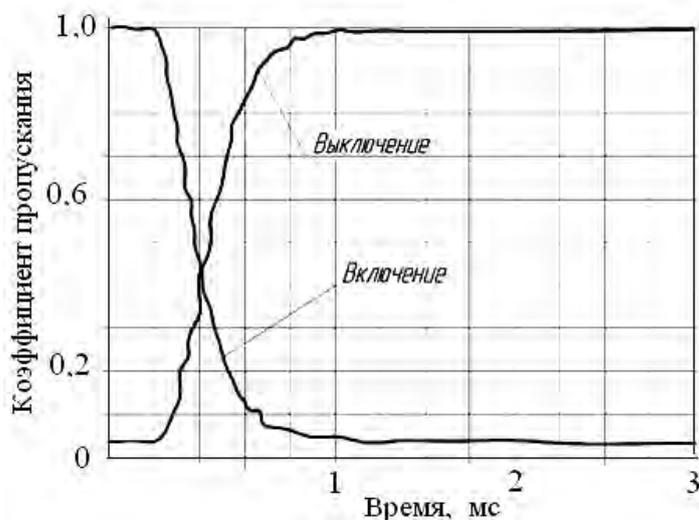


Рис. 2. Взаимосвязь времени срабатывания фильтра и степени его затемнения

Маски с автоматическими светофильтрами производят на целом ряде предприятий Франции, Японии, Германии, Швеции, Швейцарии, КНР, России и Беларуси. Основными производителями таких масок в Европе является шведская фирма ESAB и швейцарская OPTREL, на белорусском рынке среди

разных производителей (ADF, Shtenli, Wurh, Eland, Deca, Sacit, Grandvision, Most, Tecmen, Solaris, Lionking, Darc, Optech, «Ресанта», «Исток») чаще всего можно встретить маски от производителей из КНР. Поэтому при выборе маски следует обратить внимание на ее оптические свойства, т. к. именно они обес-



печивают безопасность работы и качество технологического процесса. Схема маркировки светофильтра обычно приводится на его обратной стороне. Типичный пример такой маркировки имеет вид: 4/9–13 X 1/2/3/2, где отмечено, что это устройство с одним осветленным состоянием 4 и ручной установкой затемненного состояния в одном диапазоне 9–13, далее обычно следует буквенная маркировка изготовителя. За обозначением оптического класса, как установлено в [6, п. 5.3], указывается класс по светорассеянию, класс неравномерности светового коэффициента пропускания и класс угловой зависимости светового коэффициента пропускания, разделенные косой чертой, в приведенном примере – 1/2/3/2. При выборе маски существенное значение имеет первая цифра, определяющая оптический класс светофильтра, который определяет оптическую рефракцию и астигматизм используемого фильтра. Конечно, лучше выбрать фильтр с четырьмя единицами, несмотря на то, что это напрямую влияет на стоимость маски, но зато сохранит вам зрение. Следует отметить, что сварочные маски с оптическим светофильтром третьего класса не рекомендуются для постоянной работы.

Важным параметром для обеспечения надежной защиты глаз является скорость срабатывания автоматического фильтра, которая определяется временем перехода ЖК-ячейки из осветленного состояния в затемненное и должна быть не более 50 мкс. Стоит отметить также, что плавная регулировка чувствительности обеспечивает комфортный режим работы во время сварочного процесса, т. к. слишком чувствительный светофильтр реагирует на блики морганием, а светофильтр с низкой чувствительностью может не отреагировать на появление электрической дуги. Кроме того, во многих масках предусмотрены два режима работы: шлифовка и затемнение. В первом слу-

чае фильтр не затемняется, что позволяет производить абразивную резку и чистку металла, а во втором – в зависимости от величины тока происходит затемнение светофильтра [7].

Такие параметры автоматического светофильтра, оказывающие влияние на здоровье работника и качество выполняемой работы сварщика, как неоднородность светопропускания, спектральная ширина полосы пропускания в видимой области спектра, а также рефракция и астигматизм могут быть использованы при принятии решения о выборе поставщика средств индивидуальной защиты глаз.

### **Контроль параметров средств индивидуальной защиты глаз сварщика**

Для контроля параметров средств индивидуальной защиты глаз сварщика при испытаниях на соответствие требованиям [6] использовались измерительные установки, принципиальные схемы которых приведены в [8], но при этом их практическая реализация была оригинальной.

При испытании светофильтров средств индивидуальной защиты глаз сварщика на сферическую рефракцию и астигматизм использована установка, принципиальная оптическая схема которой приведена на рис. 3.

В качестве источника излучения использована лампа накаливания, цветовая температура нити которых составляла  $(2856 \pm 50)$  К, и светофильтр с максимальным коэффициентом пропускания в зеленой области спектра с рабочей длиной волны 546 нм, а в качестве средства измерения – зрительную трубу гониометра ГС-5. Окуляр зрительной трубы имеет сетку. Тест-объект представляет собой черную пластину с вырезанной зеркальной формой, форма которой приведена на рис. 3, б. Для калибровки установки использовались калибровочные линзы с положительной и отрица-

тельной рефракцией.

Проводя настройку установки, получив резкое изображение сетки в окуляре зрительной трубы путем ее фокусировки, получаем изображение тест-объекта с хорошим разрешением. Это положение принималось за нулевую точку фокусирующей шкалы зрительной трубы, а калибровка установки проводилась путем поочередной установки калибровочных линз на место испытываемого

светофильтра. Смещая окуляр зрительной трубы относительно ее фокусирующей шкалы, получаем резкое изображение тест-объекта, при этом каждой калибровочной линзе соответствует определенное взаимное расположение окуляра и сетки. По результатам калибровки можно построить калибровочную кривую (рис. 4), точность калибровки составляла  $\pm 0,01$  дптр.

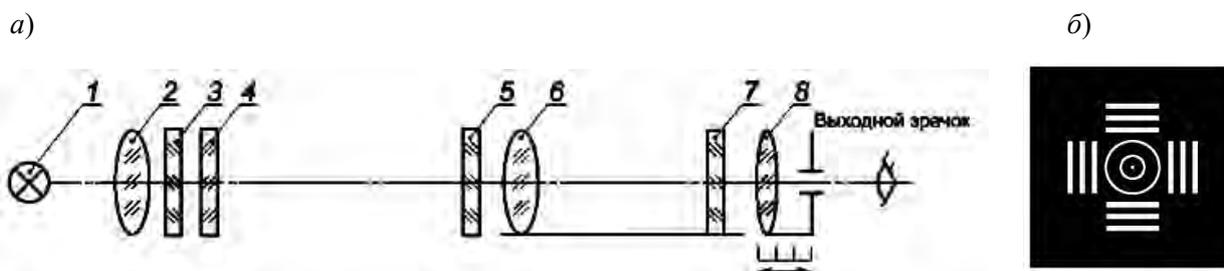


Рис. 3. Принципиальная оптическая схема установки для измерения сферической рефракции (а) (1 – лампа накаливания; 2 – конденсатор; 3 – светофильтр; 4 – тест-объект с зеркалом; 5 – испытуемый светофильтр; 6 – объектив зрительной трубы; 7 – сетка; 8 – окуляр зрительной трубы) и тест-объект с зеркалом (б)

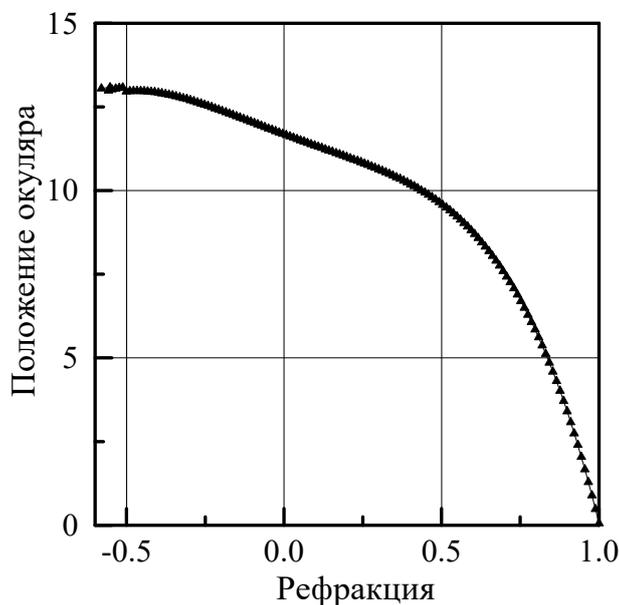


Рис. 4. Результаты калибровки установки для измерения сферической рефракции

При контроле параметров светофильтра зрительная труба фокусируется до получения четкого изображения тест-объекта, при котором и снимаются

по шкале зрительной трубы значения рефракции, последующая обработка полученных данных позволяет определить сферическую рефракцию и астигматизм



светофильтра, а также оценить разность призматического действия. Точные измерения разности призматического действия выполнялись на установке, приведенной на рис. 5.

Время переключения автоматических светофильтров измерялось по стандартной методике на установке, схема которой приведена на рис. 6.

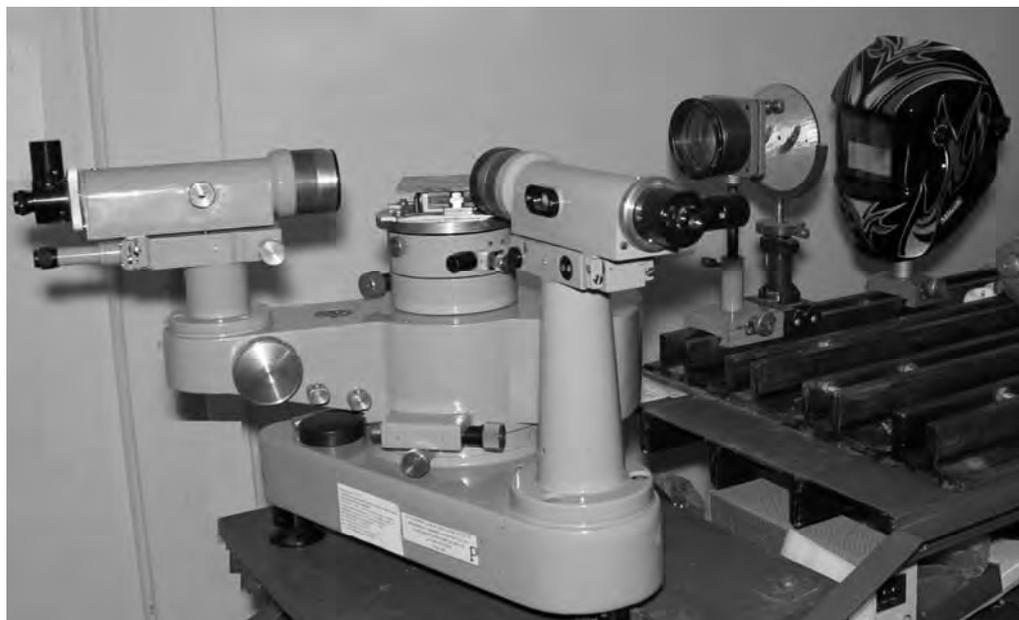


Рис. 5. Внешний вид установки для измерения разности призматического действия светофильтра

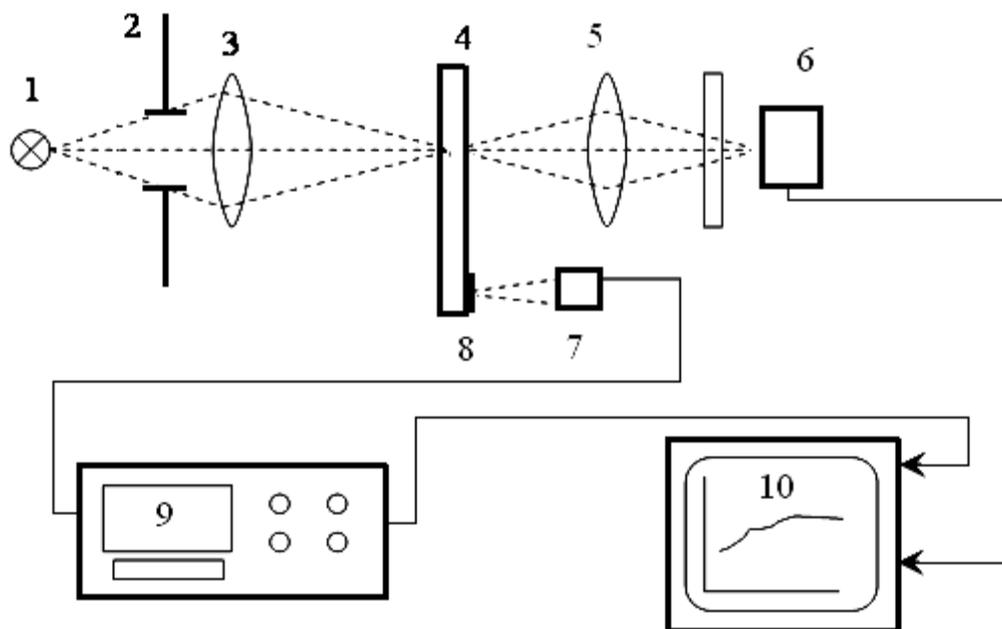


Рис. 6. Принципиальная схема установки для измерения времени переключения автоматических светофильтров



При проведении измерений свет от лампы накаливания 1, проходя через диафрагму 2, систему линз 3, автоматический сварочный светофильтр при нормальном падении попадает на фотоприемник 6, выход которого соединен с осциллографом 10. Прямоугольный импульс излучения со светодиода 7 направляется на фотоприемник 8, вмонтированный в автоматический сварочный светофильтр 4 и включает его. Синхроимпульс от задающего блока 9 и сигнал с фотоприемника 6 подаются на осциллограф 10. По измеренным уровням сигнала, поступающего с фотоприемника при пропускании света фильтром в осветленном состоянии, и сигнала, поступающего с фотоприемника при прохождении света фильтром в затемненном состоянии, определяется световой коэффициент пропускания автоматического фильтра в осветленном состоянии и минимальный световой коэффициент пропускания в затемненном состоянии. Время переключения светофильтра определяется как время, равное утроенному временному интервалу, в течение которого достигается минимальный коэффициент пропускания в затемненном состоянии.

Степень рассеяния света фильтром сварочной маски оценивалась с помощью установки, схема которой приведена на рис. 7. В качестве источника излучения используется гелий-неоновый

лазер с длиной волны излучения 632 нм, при этом диаметр пучка излучения не превышал 1 мм. Линзы 2 и 4 служат для расширения пучка излучения и направления его на геометрический центр испытуемого фильтра. Исследуемый образец 5 и приемная часть установки, включающая сменные диафрагмы 6, 7, линзу 8, фотоприемник 9, установлены на поворотном столике гониометра Г-5, позволяющем вращение относительно вертикальной оси, проходящей через оптический центр испытуемого образца. Линза 8 создает изображение на поверхности фотоприемника 9. Степень светорассеяния светофильтров оценивалась следующим образом. После установки кольцевой диафрагмы на оптической оси приемная часть установки разворачивается в горизонтальной плоскости до тех пор, пока пучок излучения лазера, прошедший через линзы, не попадал в центр кольцевой диафрагмы. Измеренный поток излучения, падающий на фотоприемник, соответствует рассеянному потоку излучения, создаваемому фильтром. Затем вводится в ход лучей круглая диафрагма и измеряется поток излучения, падающий на фотоприемник, который соответствует направленному потоку излучения, и оценивается степень рассеяния светофильтра для телесного угла, определяемого световым диаметром кольцевой диафрагмы.

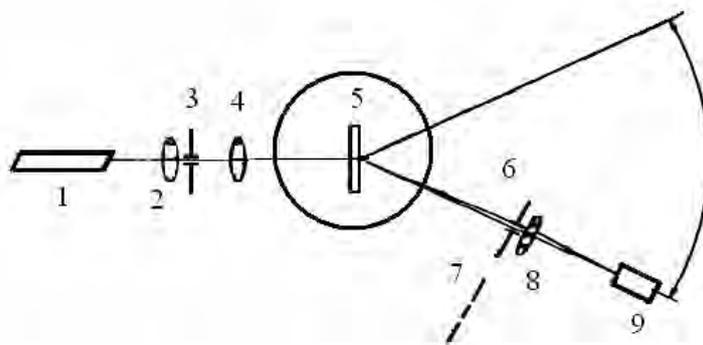


Рис. 7. Принципиальная оптическая схема установки для измерения степени светорассеяния фильтра: 1 – гелий-неоновый лазер; 2, 4, 8 – линзы; 3, 6 – диафрагмы; 5 – исследуемый светофильтр, установленный на поворотном столике; 7 – кольцевая диафрагма; 9 – фотоприемник



Измерение спектрального коэффициента пропускания  $T$  осуществлялось с помощью созданного измерительного комплекса на базе монохроматора МДР-23, а также спектрофотометра МС-122. Однородность светового коэффициента пропускания по полю смотрового окна оценивалась с помощью установки измерения отклонения светового коэффициента пропускания светофильтра сварочной маски от заданных значений в видимой области спектра. Измерение коэффициента пропускания осуществлялось с использованием фотометра с источником света типа А и приемником, спектральная чувствительность которого приведена к относительной спектральной световой

эффективности для дневного зрения. Метод измерения основан на сравнении светового потока, ослабленного исследуемым образцом, с потоком, ослабленным калибровочными мерами.

### Результаты измерений и их анализ

На примере нескольких сварочных марок различных производителей выполнен анализ оптических параметров поступающих на рынок Республики Беларусь сварочных масок с автоматическими светофильтрами. В табл. 1 представлены результаты испытаний оптических параметров автоматических светофильтров двух сварочных масок одного производителя.

Табл. 1. Результаты испытаний оптических параметров автоматических светофильтров

Модель светофильтра	Номер образца	Заявленный оптический класс	Сферическая рефракция, дптр	Астигматизм, дптр	Разность призматического действия, прдптр	
					в горизонтальной плоскости	в вертикальной плоскости
Z87W (Tecmen)	0116	1	0,16	0,01	0,05	0,05
Z87W (Tecmen)	0117	1	0,04	0,06	0,01	0,01

Как следует из приведенных данных, параметры светофильтров масок из одной партии существенно отличаются и нередко не соответствуют заявленному. Так, образец № 0116 по величине сферической рефракции нужно отнести к третьему оптическому классу, что запрещает его использование на производстве. Образец № 0117 имел величину сферической рефракции, позволяющую отнести его к первому оптическому классу ( $\leq 0,06$  дптр).

При этом, если по оптическим параметрам можно отобрать маску с оптическими параметрами, обеспечивающими отнесение ее по измеренным параметрам к более высокому оптическому классу, то спектры пропускания фильтров в видимом диапазоне практически не изменяются и имеют вид, представ-

ленный на рис. 8.

В соответствии с [9, п. Б.3.8.1] максимальная спектральная чувствительность сварочных светофильтров с автоматической установкой градиционных шифров должна находиться на длине волны  $(555 \pm 75)$  нм. В данном случае спектр пропускания имеет многопиковую структуру с неопределенным положением максимума. Как мы уже отмечали выше, при изготовлении интерференционных фильтров число пар слоев варьируется в диапазоне от 8 до 12, поэтому вероятнее всего в данном случае используется минимальное число слоев и более тонкая подложка из оптического стекла марки СЗС 21 (или его аналога). Следует отметить, что маски хорошего качества имеют узкий пик в спектре пропускания (рис. 9, а).



Широкая полоса пропускания всегда сопровождалась повышенным значением рефракции, последнее можно использовать для экспресс-оценки характеристик автоматических светофильтров. При этом ширина полосы пропускания в видимой области спектра нередко служит ограничением использования масок на практике. На рис. 9, б приведены спектры пропускания двух масок. Для них максимальная спектральная чувствительность сварочных светофильтров

с автоматической установкой градационных шифров находится на длине волны 527 нм (при заданной в соответствии с [9] –  $(555 \pm 75)$  нм), ширина полосы пропускания на половине максимального значения равна около 210 нм (при заданных в соответствии с [9] – 50...200 нм), при этом полоса пропускания имеет 10 максимумов вместо положенного одного. Очевидно, что такая маска не может пройти сертификацию и использоваться на производстве.

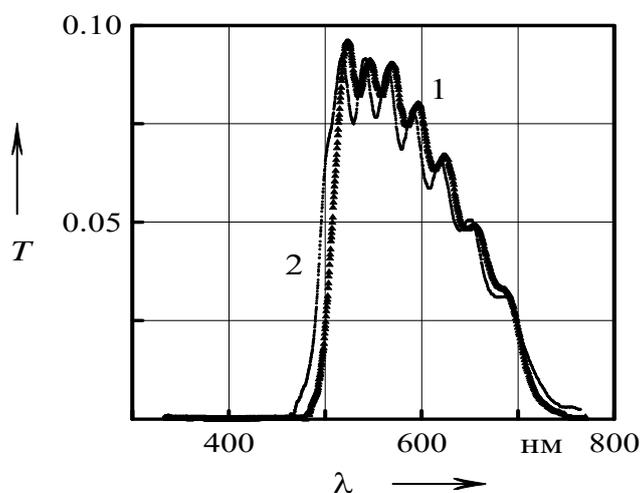
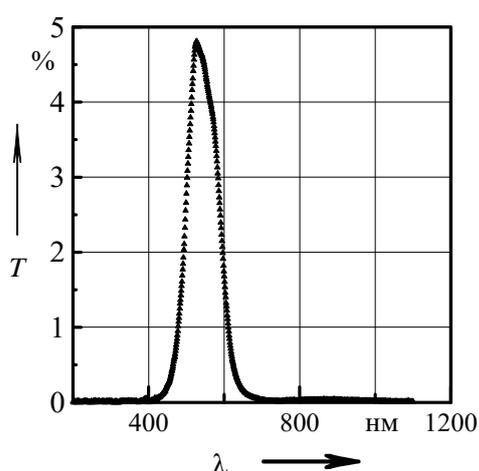


Рис. 8. Спектр пропускания масок Тестен: 1 – образец № 0116; 2 – образец № 0117

а)



б)

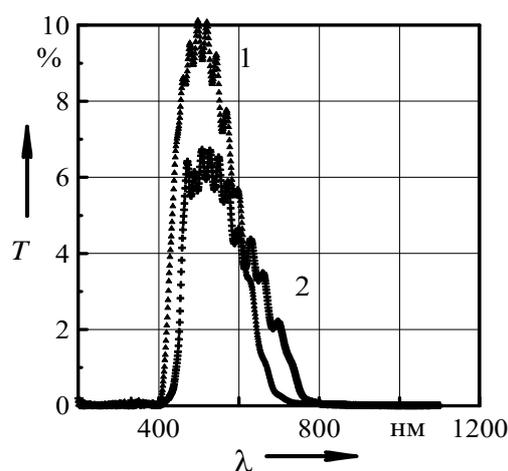


Рис. 9. Спектр пропускания маски Helmet (а) и масок SACIT (1) LY500 (2) (б)

Заявленное время срабатывания обычно в 3–10 раз меньше реально из-

меряемого; так, для образца № 0117 заявленное время срабатывания свето-



фильтра составляло 0,05 мс, а измеренное время его перевода в затемненное состояние было равно 0,3 мс.

Высокая неоднородность светопропускания (более 10 %) встречается редко и обычно не превышает 2...5 % по полю зрения. Приведенный коэффициент яркости не превышает обычно 0,1...0,3 кд/(м<sup>2</sup>·лк), что характеризует низкое светорассеяние автоматических фильтров.

### Заключение

На основе анализа представленных результатов испытаний сварочных масок

разных производителей (ADF, Shtenli, Wurth, Eland, Deca, Sacit, Grandvision, Most, Tecmen, Solaris, Lionking, Darc, Ortech, «Ресанта», «Исток» и др.) обнаружены основные несоответствия, выявляемые при следующих испытаниях: завышенное время срабатывания автоматического светофильтра, неоднородность светопропускания, широкая полоса пропускания в видимой области спектра, высокая рефракция и астигматизм. Приведенные данные могут быть использованы при принятии решения о выборе поставщика средств индивидуальной защиты глаз на предприятии.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слобожанина, Е. А. Анализ средств индивидуальной защиты сварщика / Е. А. Слобожанина, Е. В. Слобожанин // Экология. Риск. Безопасность: материалы IV Общерос. науч.-практ. конф. – Курган: Курганская гос. с.-х. академия, 2016. – С. 99–100.
2. Самарин, А. Маска сварщика с автоматическим ЖК-затвором / А. Самарин // Электроника. Наука, Технология, Бизнес. – 2002. – № 2. – С. 48–51.
3. Тесты сварочных масок «Хамелеон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mytooling.ru/instrumenty/testy-svarochnyh-masok-hameleon>. – Дата доступа: 10.01.2020.
4. Воздействие яркого светового излучения на органы зрения и анализ методов защиты от него / О. В. Кирикова [и др.] // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Сер. Технические науки. – 2016. – № 3 (24). – С. 24–32.
5. Автоматический затемняющий фильтр с автоматическим управлением питания: пат. РФ 2385 699. – Оpubл. 10.04.2010.
6. ГОСТ Р 12.4.230.1–2007. Средства индивидуальной защиты глаз. Общие технические требования. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 31 с.
7. Уголок сварщика. Чудо-кепка для сварщика // Сварка и Диагностика. – 2016. – № 1. – С. 34.
8. ГОСТ Р 12.4.230.2–2007. Средства индивидуальной защиты глаз. Методы испытаний оптических и неоптических параметров. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 92 с.
9. ГОСТ Р 12.4.238–2007. Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах. Общие технические условия. Приложение Б.3.8: Требования к спектральной чувствительности сварочных светофильтров с автоматической установкой градиционных шифров. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 80 с.

*Статья сдана в редакцию 20 марта 2020 года*

**Александр Васильевич Хомченко**, д-р физ.-мат. наук, доц., Белорусско-Российский университет. E-mail: avkh@mogilev.by.

**Сергей Владимирович Болотов**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. E-mail: physic@bru.by.

**Александр Васильевич Шульга**, канд. физ.-мат. наук, доц., Белорусско-Российский университет. E-mail: avkh@mogilev.by.

**Alexander Vasilyevich Khomchenko**, DSc (Physics and Mathematics), Associate Prof., Belarusian-Russian University. E-mail: avkh@mogilev.by.

**Sergei Vladimirovich Bolotov**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. E-mail: physic@bru.by.

**Alexander Vasilyevich Shulga**, PhD (Physics and Mathematics), Associate Prof., Belarusian-Russian University. E-mail: avkh@mogilev.by.

