

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК629.78.072

DOI 10.34131/MSF.20.3.41-53

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕНАЖЕРА МИМ1 ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ МОДУЛЕЙ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

В.В. Батраков, А.И. Крылов, Р.В. Макаров, В.И. Атрощенко,
И.В. Кутина

В.В. Батраков; канд. техн. наук А.И. Крылов; Р.В. Макаров
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)
В.И. Атрощенко (АО НПЦ «НИИ Микроприборов»)
И.В. Кутина (ГНЦ РФ–ИМБП РАН)

Рассмотрена система внутреннего освещения (СВО) модулей РС МКС и основные положения по созданию и применению устройства управления освещением с изменяемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками. Особое внимание уделено вопросам оптимизации обеспечения искусственным освещением пилотируемых космических аппаратов (ПКА) и разработки перспективных СВО для космических тренажеров.

Ключевые слова: система внутреннего освещения, система управления светильниками, моделирование естественного освещения.

The Use of the MRM-1 Simulator for Experimental Development of the Future Internal Lighting System in the ISS RS Modules.

**V.V. Batrakov, A.I. Krylov, R.V. Makarov, V.I. Antroshchenko,
I.V. Kutina**

The paper presents the internal lighting system (ILS) of the ISS RS modules and main provisions for the creation and use of a lighting control device with time-varying spectral-energy characteristics. Special attention is paid to the optimization of artificial lighting in manned vehicles and the development of future ILS for the space purposed simulators.

Keywords: internal lighting system, lighting control system, natural lighting simulation

Одним из важных компонентов среды обитания, влияющих на работоспособность экипажа на борту долговременных орбитальных станций (ДОС) является освещение. При длительном пребывании человека в космосе доля

информации, поступающей к нему от зрительного анализатора, в общем объеме информации возрастает до 95 %. Длительное пребывание в условиях замкнутого объема и связанные с этим проблемы освещения рабочего пространства могут вызвать у космонавтов увеличение психоэмоциональной напряженности, повлечь за собой негативные изменения на физиологическом и биологическом уровне [1].

Как показывает практика, основным источником недомоганий российских космонавтов при нахождении на орбите является отсутствие полноценного сна, что связано, в том числе, и с недостатками применения искусственного освещения [1].

Вопросами внутримодульного освещения активно занимаются специалисты NASA, которые нарушение сна на борту связывают с искусственным освещением, а бессонницу считают одной из самых распространенных расстройств у астронавтов.

Конструктивные и компоновочные особенности малогабаритных объемов пилотируемых космических аппаратов (ПКА) накладывают особые требования к использованию искусственной световой среды.

Для создания условий эффективной работы экипажа на МКС в этом направлении российскими учеными ведутся работы по оптимизации световой среды.

Анализ искусственного освещения модулей РС МКС

Освещение модулей на РС МКС обеспечивает система внутреннего освещения (СВО) из состава СУБА – системы управления бортовой аппаратурой. Основным устройством освещения на МКС длительное время был светильник СД1-7-1 с источником излучения на основе люминесцентных ламп. Такой светильник характеризуется постоянными спектрально-энергетическими характеристиками и создает условия освещения на борту орбитальной станции, отличающиеся от естественных.

Как известно, на Земле биологический ритм человека и его работоспособность тесно связаны с чередованием циклов «день–ночь» при периодически изменяющейся освещенности и спектрального состава естественного источника излучения – Солнца. В связи с этим светильники с источником излучения на основе люминесцентных ламп создают условия, воспринимаемые организмом как стрессовые и требующие включения механизмов его адаптации. Такие условия являются одной из причин возникающих негативных последствий – бессонницы.

С целью обеспечения адаптации экипажа к условиям нахождения на РС МКС разработаны светодиодные светильники с изменяемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками освещения, близкими к естественным (солнечным).

Исследования показали, что светодиодные источники, излучая свет с различной цветовой температурой, облегчают адаптацию экипажа и снижают риск возникновения бессонницы, которой подвержены многие космонавты [1]. В свою очередь, как техническая составляющая, подобные устройства освещения потребляют меньше энергии и имеют более продолжительный срок эксплуатации.

На МКС была осуществлена замена устройств освещения с люминесцентным источником излучения на светильники со светодиодными источниками излучения. В настоящее время наиболее распространенным устройством освещения на РС МКС является светильник ССД305 (рис. 1). Вместе с ним применяются ССД301 (рис. 2), ССД307 (рис. 3), а также в малом количестве переносные светильники СД1-7 и СГ2-8. ССД301 состоит из одной линейки, содержащей 5 светодиодов, ССД305 состоит из двух линеек, каждая из которых состоит из двух групп светодиодов по 5 светодиодов в каждой (всего 20 светодиодов), ССД307 состоит из шести линеек по 8 светодиодов в каждой.



Рис. 1. Светильник ССД305



Рис. 2. Светильник ССД301



Рис. 3. Светильник ССД307

В модулях РС МКС размещены следующие устройства освещения:

- служебный модуль (СМ) «Звезда»: 12 светильников общего освещения ССД305, 2 переносных светильника ССД305, 4 репортажных светильника ССД307, 2 телевизионных переносных светильника ССД307, 2 светильника СД1-7 и 2 светильника СГ2-8;
- функционально-грузовой блок (ФГБ) «Заря»: 12 светильников общего освещения ССД305, 2 переносных светильника СГ2-8;
- стыковочный отсек (СО1) «Пирс»: 3 светильника общего освещения ССД305, 2 переносных светильника ССД305;
- малый исследовательский модуль (МИМ1) «Поиск»: 7 светильников общего освещения ССД305;
- малый исследовательский модуль (МИМ2) «Рассвет»: 3 светильника общего освещения ССД305, 2 переносных светильника ССД305.

Перспективные системы освещения на МКС

Следующим шагом для облегчения адаптации экипажа к условиям нахождения на РС МКС является разработка светодиодных светильников с изменяемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками освещения. Это позволит моделировать искусственное освещение модулей, ориентируясь на земные сутки.

Такая система освещения, имитирующая естественный суточный ритм, оснащенная новым светильником ССД311, после тестирования для дальнейшего исследования будет установлена на российском сегменте МКС в малом исследовательском модуле (МИМ1) «Поиск».

Изменение освещения на МКС в «суточном ритме» считают перспективным и в США. Подобные работы ведут специалисты в американском аэрокосмическом агентстве NASA. В настоящее время в американском сегменте тестируются доставленные на МКС светильники (рис. 4). В NASA считают, что чередование «день–ночь» позволит улучшить общее состояние организма астронавтов.



Рис. 4. Светильник американского сегмента МКС

Разработка перспективной СВО

Количественные и качественные характеристики работоспособности космонавта, находящегося в искусственной среде обитания, сильно зависят от освещенности и спектрального состава источника излучения, его близости к солнечному спектру. Излучение с определенным спектральным распределением характеризуется координатами цветности. Искусственное излучение в ПКА должно иметь координаты цветности, максимально приближенные к координатам цветности излучения Солнца.

Для создания комфортной среды обитания экипажа в рабочих объемах модулей РС МКС требуется создать обновленную СВО. Для моделирования светотехнической обстановки за эталонный источник излучения принимается естественный источник – солнечный свет.

Спектральное распределение излучения каждого комплекта светильников модулей РС МКС с использованием люминесцентных ламп – фиксированное, и его координаты цветности не совпадали с координатами цветности солнечного излучения.

До недавнего времени изменять спектральный состав источников оптического излучения было затруднительным. С появлением светодиодов управление спектрально-энергетическими характеристиками излучения стало возможным и реальным, так как светодиоды способны излучать в заданных спектральных диапазонах с различным спектральным составом.

Учитывая достижения в области разработки и технологии производства светодиодов с различными техническими характеристиками, появилась возможность разработать светильники с варьируемыми спектрально-энергетическими параметрами, создав для этого программируемые микропроцессорные контроллеры для управления и моделирования процессов, аналогичных изменяющимся параметрам суточного цикла солнечного излучения. Первоначальной задачей была разработка светильника с варьируемыми спектрально-энергетическими характеристиками, аналогичными солнечному излучению. Таким устройством освещения, выполненным на основе светодиодов, стал светильник с варьируемыми спектрально-энергетическими характеристиками ССД311 (светильник светодиодный варьируемый) (рис. 5). По условиям эксплуатации он соответствует требованиям ОСТ 92–5100 и ГОСТ Р 50804 [2].



Рис. 5. Светильник светодиодный варьируемый ССД311

Специальное программное обеспечение (СПО) светильника ССД311 устанавливается на многофункциональный пульт-индикатор (МПИ) (рис. 6а, 6б). На РС МКС МПИ расположены в модулях МИМ1 и МИМ2 (МПИ модернизированный). Планируется их размещение в МЛМ. Количество подключаемых светильников к одному МПИ в модуле МИМ1 не более 15. Управление спектрально-энергетическими характеристиками излучения светильника (режимами работы) производится СПО по последовательному интерфейсу RS-485 от МПИ. При этом МПИ является контролером в системе, а ССД311 – оконечными устройствами.

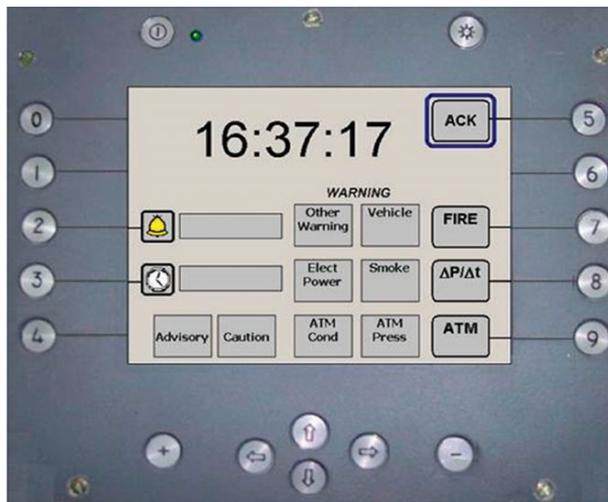


Рис. 6а. Многофункциональный пульт-индикатор для МИМ1



Рис. 6б. МПИ модернизированный для МИМ2

Спектрально-энергетические характеристики излучения светильника ССД311 соответствуют задаваемым «Протоколом информационно-логического взаимодействия многофункционального пульта-индикатора (МПИ) с комплектом светильников РС МКС».

Работа светильника ССД311

На рис. 7 представлена электронная схема светильника ССД311.

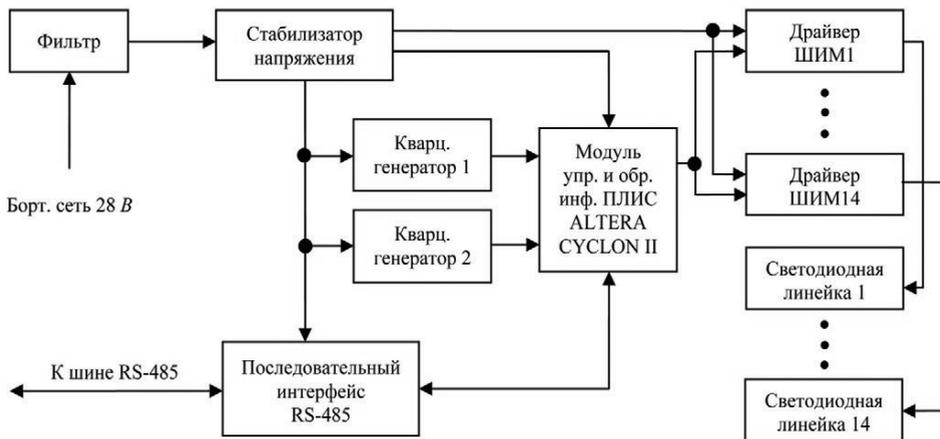


Рис. 7. Электронная схема светильника ССД311

Напряжение бортовой сети $+28\text{ В}$ подается на входной фильтр, затем на стабилизатор напряжения. Стабилизатор формирует необходимые напряжения для питания всех структурных элементов схемы. Сигналы управления, обеспечивающие управление режимами работы светильника, через последовательный интерфейс RS-485 поступают на модуль управления и обработки информации. Модуль управления и обработки информации выполнен на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) ALTERA CYCLON II и формирует управляющие сигналы, которые поступают на входные цепи драйверов ШИМ1, ..., ШИМ14. Драйверы ШИМ1, ..., ШИМ14 обеспечивают необходимые токи питания светодиодных линеек, на которых установлены светодиоды с различной цветовой температурой свечения.

Монтаж системы управления светильниками ССД311

Отладка системы управления светильниками (СУС) ССД311 проводилась на рабочем месте оператора (РМО) модуля МИМ1 из состава ТКРС МКС, где на III плоскости (потолок) был произведен монтаж семи светильников ССД311 (рис. 8).

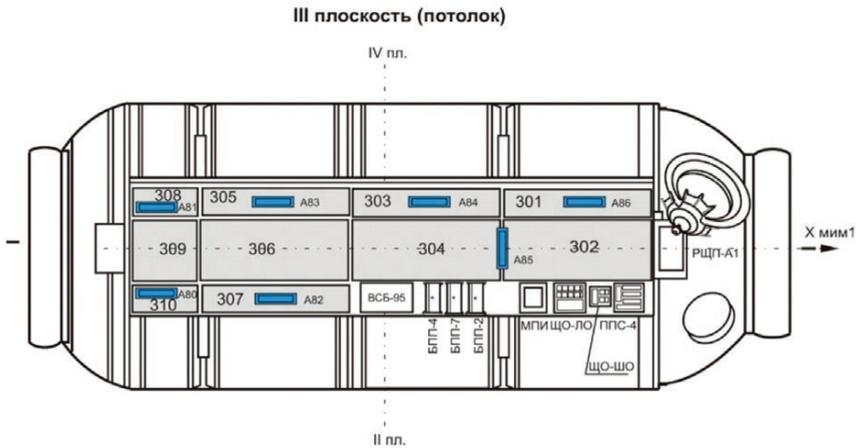


Рис. 8. Схема размещения светильников ССД311 на МИМ1

Для проверки работоспособности светильников ССД311 и отладки СУС была собрана схема (рис. 9). Роль контролера МПИ выполнял переносной компьютер (ноутбук) с установленным на него СПО. Обмен информацией между элементами схемы производится по последовательному интерфейсу RS-485.

Привязка светильника к месту его расположения на учебно-тренировочном макете (УТМ) МИМ1 выполнялась заданием адреса с помощью перемычек, установленных в ответной части разъема каждого светильника.

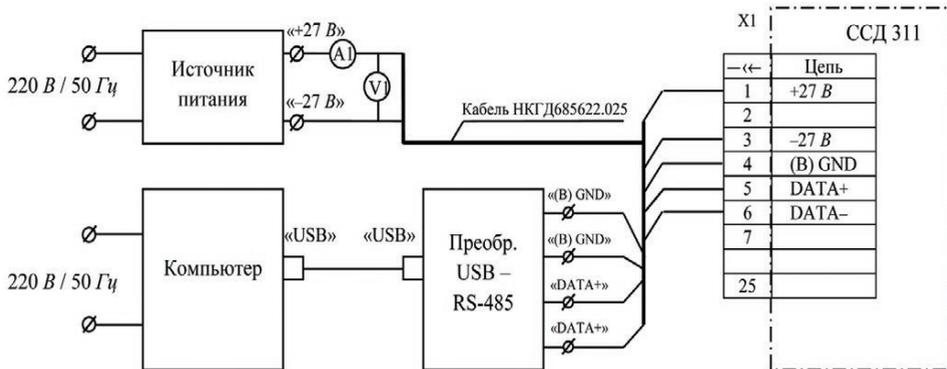


Рис. 9. Схема экспериментальной отработки СУС

Монтаж цепей шины RS-485 [GND, N(+), N(-)] производится витой парой в экране. Экран соединяется с GND в одной точке.

Светильник ССД311 обеспечивает спектрально-энергетические характеристики излучения в стандартных режимах работы, предусмотренные техническим заданием на его разработку (таблица 1).

Таблица 1

Режим	Цветовая температура, K	Сила света, $кд$
Рассветные сумерки	2300 ± 300	100 не менее
Утро	4000 ± 400	150 не менее
Солнечный день	5000 ± 500	150 не менее
Облачный день	7400 ± 740	150 не менее
Вечер	4000 ± 400	150 не менее
Вечерние сумерки (закат)	2300 ± 300	100 не менее
Ночь лунная	2200 ± 220	15 не менее
Стационарный режим (отсутствие команд управления)	5000 ± 500	150 не менее

В соответствии с принятой методикой проведения операций экспериментальной отработки, основным критерием отладки СУС считается, что «... система управления светильниками считается работоспособной и отлаженной, если существует возможность устанавливать стандартные режимы работы светильника и при этом при переключении режимов работы светильника наблюдается свечение, а измеренные токи потребления не превышают допустимые значения».

Отработка системы управления светильниками ССД311

Методика и последовательность отработки функционирования системы управления светильниками ССД311 состоит в следующем.

Для управления работой системы внутреннего освещения с варьируемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками излучения светильников ССД311 на переносном компьютере загружается СПО, которое разработано на основе использования данных проведенных исследований по закономерностям и характеристикам изменения цветовой температуры и яркости свечения в зависимости от времени суток.

С помощью программного обеспечения светильников ССД311 были реализованы все заданные режимы работы с различной цветовой температурой: $2300 K$, $4000 K$, $5000 K$ и $7400 K$. Проведены три режима измерений: утро, день, ночь.

Отлаженная система управления позволяет запустить программу автономного режима освещения: суточного цикла светового режима дня. В качестве примера для 15 мая на средних широтах данные представлены на рисунке 10.

По всей поверхности внутреннего интерьера модуля МИМ1 обозначены 126 точек для замера освещенности параметра освещения – коррелированной цветовой температуры (КЦТ). Замеры КЦТ освещенности проводились в контрольных точках на поверхности панелей интерьера, внутренней поверхности модуля, поверхностях других элементов модуля, а также вдоль

продольной центральной оси модуля как на поверхностях интерьера, так и за панельным пространством. Особое внимание уделено зонам затемнения: выдвижные полки, рабочие зоны проведения научных экспериментов, места размещения оборудования, зоны стыковочных узлов (конус, сфера).

Результаты измерения освещенности в интерьере модуля МИМ1 приведены на рисунке 11.

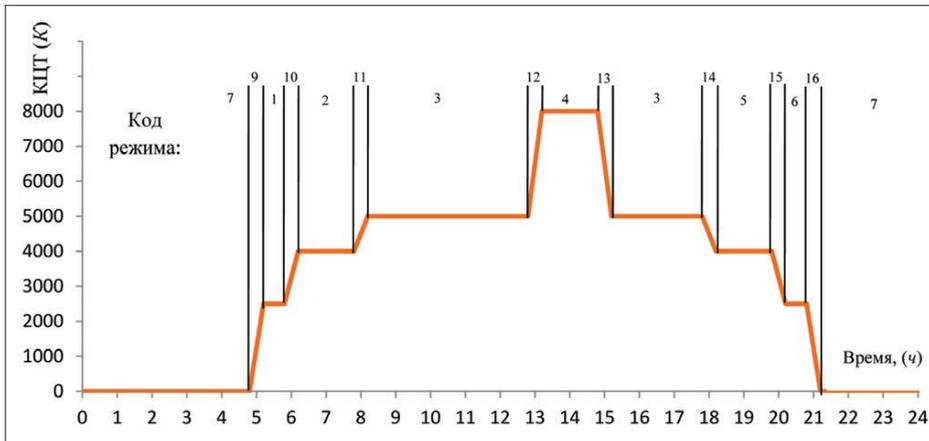


Рис. 10. Запрограммированный суточный цикл светового режима дня для 15 мая на средних широтах

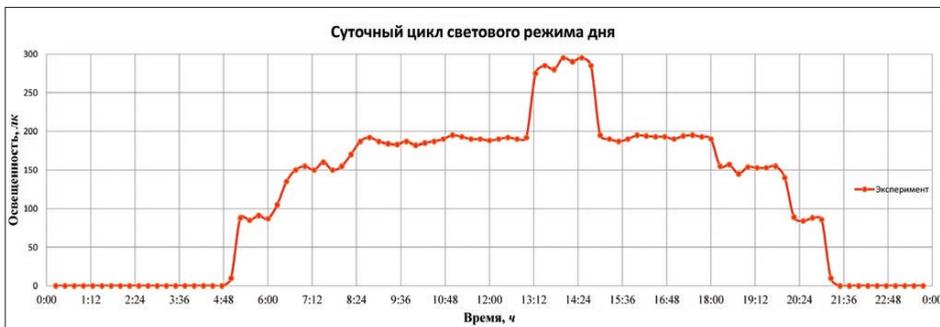


Рис. 11. Полученный суточный цикл светового режима в модуле МИМ1

Каждой контрольной точке был задан свой номер. Нумерация и расположение точек приведены в таблице 2.

На каждой точке замер проводился по три раза. Результаты заносились в таблицу измерений средних значений освещенности в модуле МИМ1 для дальнейшей обработки и анализа. Освещение измерялось прямым способом в плоскости, совпадающей с участком поверхности, на которой выбрана контрольная точка. Центр фотометрического датчика располагался на расстоянии не более 25 мм в любую сторону от заданной контрольной точки.

Таблица 2

Контрольные точки	Расположение точек
1–12	На внутренней поверхности сферической обечайки, прилегающей к АСА
13–16	На внутренней поверхности сферической обечайки, прилегающей к АСП
21–28, 31–37, 41–48, 51–58, 61–68	На панелях интерьера. Первая цифра в номере обозначает шпангоут, в плоскости которого находится контрольная точка (напр., 21–28 – в плоскости шпангоута 2а и т.д.)
71–78	На панелях интерьера. Контрольные точки находятся в плоскости поперечного сечения модуля, равноудаленного от плоскостей шпангоутов 4а и 5а
101, 102 и т.д.	Дополнительные контрольные точки

Таблица 3

Время начала режима	Длительность (ч)	Режим	Цветовая температура (К)
5:00	1	Рассветные сумерки (восход)	~2500
	0,5	Переход от рассветных сумерек к утру	↓
6:00	2	Утро	~4000
	0,5	Переход от утра к солнечному дню	↓
8:00	5	Солнечный день	~5000
	0,5	Переход от солнечного к облачному дню	↓
13:00	2	Облачный день	~8000
	0,5	Переход от облачного к солнечному дню	↓
15:00	3	Солнечный день	~5000
	0,5	Переход от солнечного дня к вечеру	↓
18:00	2	Вечер	~4000
	0,5	Переход от вечера к вечерним сумеркам	↓
20:00	1	Вечерние сумерки (закат)	~2500
	0,5	Переход от вечерних сумерек к ночи	↓
21:00	8	Ночь	
	0,5	Переход от ночи к рассветным сумеркам	↓

В таблице 3 приведены реализованные характеристики автономного режима системы управления светильниками ССД311.

Из вышеперечисленного, а также после обработки и анализа результатов световых измерений наблюдаем следующее:

- система управления светильниками ССД311, смонтированная на МИМ1, отлажена и работоспособна;
- реально создаваемый суточный цикл светового режима СВО в МИМ1 в точности воспроизводит запрограммированный характер светового режима;
- реализованы автономный и стандартный режимы работы, при этом токи потребления системы соответствуют установленным требованиям;
- измеренные токи потребления при всех режимах работы не превышают значения $0,75 A$;
- отлаженная СУС ССД311 пригодна для проведения дальнейших испытаний.

Уровни освещенности, обеспечиваемые светильниками ССД311, смонтированными в МИМ1, находятся в диапазонах, соответствующих нормативным требованиям для рабочих поверхностей и вспомогательных помещений по ГОСТ Р 50804–95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования». В соответствии с этим светильники ССД311 могут обеспечить реализацию предложенной обновленной СУС на РС МКС и в космических тренажерах.

Выводы

До недавнего времени изменение спектрального состава источников освещения на пилотируемых космических аппаратах являлось трудноразрешимой задачей. С появлением светодиодных светильников с управляемым изменением спектрально-энергетических характеристик их излучения стало возможным и реализуемым на практике, что подтверждено экспериментальными исследованиями.

Светильники типа ССД311 позволяют СВО гибко адаптировать экипажи при работе в замкнутых пространствах и ограниченных объемах (космические, глубоководные и другие аппараты искусственной среды обитания).

Внедрение СУС ССД311 в космические тренажеры позволит использовать ее для наземного моделирования космических экспериментов при исследованиях проблем медико-биологического обеспечения экипажей во время длительных пилотируемых полетов.

СУС ССД311 позволит устранить недостатки и ограничения существующих осветительных средств на РС МКС, расширит функциональные возможности СВО в части адекватности моделирования условий освещения внутренних объемов ПКА и повысит качество операторской деятельности экипажей при выполнении полетных миссий.

Использование СУС ССД311 на ТКРС МКС повысит обучающую эффективность тренажеров.

Использование перспективного освещения с возможностью управления спектрально-энергетическими характеристиками излучения, подобного

СУС ССД311, позволит расширить возможности ее использования применительно к тем областям, где необходимо улучшить условия труда и повысить эффективность работы операторов сложных автоматизированных систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Леонов А.В., Беляев Р.И. Оптимизация параметров внутреннего освещения орбитальных космических станций. – Светотехника. – 2007. – № 4. – С. 41–44.
- [2] ГОСТ Р 50804–95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования.

REFERENCES

- [1] Leonov A.V., Belyaev R.I. Parameter optimization of the internal illumination of orbital space stations // Light & Engineering. – 2007. – No 4. – pp. 41–44.
- [2] ГОСТ Р 50804–95 (All-union standard 50804–95). The living space for cosmonauts in a manned spacecraft. General medical and technical requirements.