

# Светотехническое оборудование пилотируемых космических аппаратов

Л. П. ВАРФОЛОМЕЕВ

E-mail: galeo.varfol@yandex.ru

## Аннотация

Представлена ретроспектива достижений отечественных научных, проектных и производственных предприятий во главе с ВНИСИ по созданию осветительных и облучательных приборов для пилотируемых космических аппаратов.

**Ключевые слова:** космос, пилотируемый космический аппарат, светильник, облучатель, ВНИСИ.

Всё связанное с освоением космоса долгие годы в СССР считалось секретным, и первой открытой публикацией по «космической светотехнике» явилась статья [1]. Чтобы её опубликовать, пришлось привлечь космонавта Ю. П. Артюхина, отлетавшего 15 дней на станции «Салют-3». В статье в самом общем виде были сформулированы основные задачи освещения космических объектов, предназначенных для длительных полётов.

Станции «Салют» (начиная с «Салюта-3») — первые космические объекты, осветительное оборудование которых было полностью разработано и изготовлено во ВНИСИ. До этого для освещения пилотируемых космических аппаратов (ПКА) использовались ЛН и светильники СЛ-3 (с ЛЛ типа ЛБ4—2ВУ), разработанные в ОКБ Лётно-испытательного института им. М. М. Громова. В светильнике использовались две ЛЛ мощностью 4 Вт со световым потоком по 90 лм, причём одновременно обе лампы могли работать не более 3 ч в сутки. И понятно, что освещённость рабочих поверхностей была на уровне подсобных помещений (не выше 30 лк).

Первые научные успехи в определении требуемых условий освещения ПКА связаны с работами С. М. Залкинд из ГосНИИ Гражданской авиации, по которым она в 1972 г. защитила диссертацию. Результаты последней легли в основу отраслевых норм Министерства общего машиностроения, согласованных с Минздравом СССР, и впервые были реализованы

именно на станции «Салют». С точки зрения СНиП и других регламентирующих документов эти нормы совершенно не удовлетворяли требованиям к обеспечению нормальных условий жизнедеятельности людей, тем более в тяжелейших условиях длительного космического полёта. Освещённость на рабочих поверхностях и в местах отдыха должна была достигать до 100 лк, а освещённость вспомогательных помещений — до 30 лк. Регламентировался тип источника света — ЛЛ белого света, а неравномерность распределения яркости в поле зрения и другие параметры освещения не регламентировались никак.

Чем вызывались столь низкие требования к условиям освещения? Прежде всего, баснословной ценой электроэнергии на ПКА и вывода на орбиту полезного груза. По американским источникам за 1970 г., стоимость подъёма 1 кг груза на орбиту составляла \$2200, стоимость 1 кВт мощности солнечных батарей — \$25000 [2]. На всю систему внутреннего освещения станции «Салют-5» при проектировании выделялось 250 Вт среднеуточной мощности и суммарная масса 14 кг. Надо сказать, что первая часть этих требований была выполнена, а вторая — нет (суммарная масса системы внутреннего освещения составила около 24 кг).

Важная особенность освещения ПКА — в том, что единственный источник электроэнергии на них — солнечные батареи с подзаряжаемыми от них аккумуляторами. Суммарная площадь солнечных батарей на МКС составляет около 2000 м<sup>2</sup>, а их мощность — 110 кВт. В российском сегменте традиционно используется напряжение 28 В, в американском — 124 В, а в японском — 28, 50 и 124 В. Наличие только постоянного напряжения затрудняет использование ЛЛ, так как во избежание катодореза они могут работать только на переменном токе. Поэтому обязательным элементом светильников с ЛЛ является преобразователь постоянно-

го напряжения в переменное. ЛН могут одинаково успешно работать как на постоянном, так и на переменном токе, создают проблему стабилизации напряжения. Дело в том, что бортовое напряжение имеет очень широкий разброс (плюс 7 — минус 4 В при номинале 27 В). Параметры ЛН, в первую очередь срок службы и световой поток, очень сильно зависят от напряжения, и потому неперенным узлом всех светильников с ЛН является стабилизатор напряжения.

Первым ПКА с приемлемыми условиями освещения был «Союз-19», созданный для советско-американской космической программы «ЭПАС» (Экспериментальная программа «Аполлон-Союз»). Специально для неё в короткий срок были разработаны светильники рабочего и местного освещения СД1—5М и СД1—6, а для освещения при телерепортажах — светильник СГ2—9. Первые два светильника — с U-образной амальгамной ЛЛ мощностью 8 Вт, а третий — с ГЛН мощностью 27 Вт. По конструкции светильники с ЛЛ одинаковы, но при этом СД1—6 — первый в мире «космический» светильник с регулируемым световым потоком (осевая сила света варьируется от 1 до 40 кд). По требованию ВНИИ телевидения, ответственного за телередачу с орбиты, в этих светильниках использовались ЛЛ «ЛДЦ», обеспечивающие лучшее по сравнению с ЛЛ «ЛБ» качество цветопередачи.

Освещённость рабочих мест в «Союзе-19» составляла около 200 лк и могла плавно снижаться космонавтами до 2—5 лк в зависимости от характера выполняемой работы. Освещённость при чёрно-белых телерепортажах достигала 300 лк, при цветных — около 100 лк и обеспечивала телерепортажи и киносъёмки вполне приемлемого качества. Надо сказать, что первое впечатление от освещения на «Союзе» у прибывших в Звёздный городок на тренировки американских астронавтов — потрясение, так как освещение «Аполлона» в то время было значительно хуже, а о возможности светорегулирования светильников с ЛЛ они даже не подозревали.

Светильники СД1—5М и СД1—6 (рис. 1) состоят из двух блоков — жёстко устанавливаемого на борту корабля блока питания и съёмного светового блока. Световой блок изготовлен из самого ударопрочного пластика — по-



Рис. 1. Светильник СД1–5М (СД1–6): а – в сборе; б – световой блок с тыльной стороны; в – блок питания

ликарбоната. Электрическое соединение блоков осуществляется разъёмом РС 10Б, а фиксация светового блока на блоке питания – откидными замками. Такая конструкция светильников была использована и в последующих разработках, показав высокую надёжность и удобство в эксплуатации в многочисленных полётах и многолетней работе на станциях «Салют» и «Мир» и на МКС.

В связи с явно недостаточными уровнями освещения по действовавшим в то время нормам, во ВНИСИ с привлечением специалистов из ИМБП, ГОИ, КБ общего машиностроения им. В.П. Бармина, Института авиационной и космической медицины (ИКМ) и НИИ технической эстетики (ИТЭ) в 1977–80 гг. была выполнена крупная НИР («Исследование путей создания рациональной осветительной установки для замкнутых экологических объектов»), результаты которой частично опубликованы [3–9]. Для проведения длительных экспериментов были разработаны и созданы две уникальные осветительные установки.

В сурдобарокамере ИКМ были смонтированы четыре светильника с шестью ЛЛ мощностью 18 Вт в каждом. Питание ламп осуществлялось током высокой частоты (20 кГц), с возможностью независимого регулирования светового потока из двух мест – изнутри и снаружи камеры. В двух светильниках использовались ЛЛ «ЛБ» и в двух – ЛЛ «ЛДЦ». Участники эксперимента, работавшим внутри камеры, предоставлялась возможность самим устанавливать желаемый уровень освещённости рабочих мест в диапазоне 0–350 лк, а также желаемый спектр излучения ламп. Ограничений по потребляемой мощности не было. Экспериментаторы-операторы занимались непрерывной трёхсуточной операторской работой,

очень близкой к реальной деятельности космонавтов в полёте. Для имитации невесомости операторы находились в ортостатическом положении (лёжа на спине с наклоном оси тела на 6° головой вниз). У всех операторов замерялись физиологические параметры – артериальное давление и частота сердечных сокращений. Зрительная работоспособность и состояние зрительного анализатора определялись методами корректурных проб, ахроматической адиспараметрии, контрастной чувствительности и критической частоты слияния мельканий. Без определённой периодичности по несколько раз в сутки регуляторами снаружи камер устанавливались уровни освещённости, отличные от выбранных операторами внутри камер, с тем, чтобы они вновь устанавливали желаемый уровень.

В другой экспериментальной установке определялась желаемая освещённость мест отдыха (уровень, равномерность распределения яркости, насыщенность помещения светом, цветность излучения, цветовая отделка помещений). Для этого в полномасштабных макетах реальных помещений были смонтированы установки карнизного освещения с использованием стандартных ЛЛ «ЛБ», «ЛЕ» и «ЛДЦ», а также специально для этого разработанных цветных ЛЛ (красных, зелёных и синих) мощностью по 36 Вт. Как и в светильниках для сурдобарокамеры, ЛЛ питались током высокой частоты и могли регулироваться. Экспериментаторы по своему желанию устанавливали уровни освещённости и спектр излучения при разной цветовой отделке стен помещения, обеспечивающие наиболее комфортные условия для отдыха.

В результате этих экспериментов (послуживших основой диссертаций О.И. Окары (1980) и Т.С. Леоновой (1982)) было установлено:

- Уровень освещённости, обеспечивающий комфортные условия для работы при длительном пребывании в замкнутых экологических объектах, составляет около 200 лк с ЛЛ «ЛДЦ» и около 270 лк с ЛЛ «ЛБ».

- ЛЛ «ЛДЦ» с точки зрения зрительной работоспособности и утомления оказались не хуже, чем ЛЛ «ЛБ» (по-видимому, это связано с отсутствием пульсаций светового потока при высокочастотном питании ламп).

- Для создания комфортных условий работы система освещения должна обеспечивать возможность регулирования уровней освещённости, а для отдыха – и спектра излучения.

- Для снижения неблагоприятного влияния длительного пребывания операторов в небольшом замкнутом пространстве в зонах отдыха желательно обеспечивать светоцветовую динамику.

Для реализации этих требований во ВНИИИС по заданию ВНИСИ была разработана серия восьмиваттных ЛЛ, устойчивых к воздействию высоких механических и климатических нагрузок (ЛЛ «ЛБ», «ЛЕ» и «ЛДЦ» ЛЛ красных, зелёных и синих), а также эритемных и бактерицидных ртутных ламп НД. На базе всех этих ламп во ВНИСИ были созданы светильники, уже более тридцати лет успешно функционирующие в космосе и до сих пор являющиеся основными средствами освещения российских модулей МКС.

Указанные специальные ЛЛ, созданные в начале 80-х гг., до сих пор остаются на уровне лучших мировых образцов (так, световая отдача красных и зелёных ЛЛ – 75 лм/Вт, ЛЛ «ЛБ» – 55 лм/Вт; их гарантированный срок службы (с вероятностью безотказной работы 0,95) – 5000 ч.

ЛЛ ЛБ8–4 и ЛДЦ8 продолжают оставаться основными источниками света для российских модулей МКС,

Рис. 2. Светильник СД1-8 (СД1-7)



Рис. 3. Светильник СПР-1 (переносной репортажный)



Рис. 4. Светильник СР-2



и с ними разработаны светильники СД1-7, СПР-1 и СР-2 (рис. 2-4).

Светильник СД1-7 был основным средством освещения на станции «Мир» [10], на котором стационарно устанавливалось 17 таких светильников с двумя ЛЛ ЛБ8-4 или ЛДЦ8. Лампы работали от одного преобразователя напряжения и могли включаться раздельно. Частота выходного напряжения – 20 кГц, что полностью исключает пульсации светового потока ламп и акустические помехи от светильника. По конструкции светильник аналогичен названным выше светильникам СД1-5М и СД1-6: жёстко закреплённый на борту блок питания и съёмный световой блок из поликарбоната, фиксируемый откидными замками. Плавная регулировка светового потока не предусматривалась. Позднее был разработан светильник СД1-8, полностью совпадавший с СД1-7 по конструкции, но позволявший регулировать световой поток в пределах (100-1)%. Однако

по указанным ниже причинам работа над этим светильником завершилась на этапе создания опытного образца, и в реальных космических полётах он не участвовал.

Для освещения при телерепортажах и кинофотосъёмках на станции «Мир» был разработан светильник СПР-1 (рис. 3). Он выполнен в виде моноблока с шестью 8-ваттными ЛЛ, для защиты которых выходное отверстие светильника перекрыто пластиной из особо прочного ПММА – СО 140, толщиной 4 мм. На торцевых сторонах корпуса – две ручки (для удобства переноски и работы). Таких светильников на станции было четыре. Они могли легко крепиться в любом месте станции не только с помощью кронштейнов, прикрепляемых к специальной площадке с тыльной стороны корпуса невыпадающими винтами, но и с помощью наклеек из «ворсовой молнии». Светильники СПР-1 использовались космонавтами очень широко не только при телерепортажах

и киносъёмках, но и всегда, когда требовалась повышенная освещённость.

Ещё один «космический» светильник – СР-2 (рис. 4) – по электрической схеме и параметрам аналогичен светильнику СПР-1, но крепится стационарно. Светильники СР-2 и сегодня успешно работают в российских модулях МКС.

Наконец, был разработан и дополнительный вариант универсального светильника, пригодного как при освещении репортажей и съёмки, так и для рабочего освещения – СР-3 (рис. 5). Светильник содержит три съёмных световых блока, унифицированных с основным светильником рабочего освещения СД1-7, которые крепятся к общему блоку питания откидными замками. Каждый блок может включаться независимо от других, что делает осветительную установку с такими светильниками достаточно гибкой. Как и переносной репортажный светильник СПР-1, светильник СР-3 рассчитан на разные способы его крепления и переноски.

К сожалению, распад СССР и последовавшее за ним разрушение единой ракетно-космической отрасли промышленности не позволили полностью реализовать создание комфортной рабочей среды в ПКА. Тем не менее с июля 1997 г. начал действовать ГОСТ [11], регламентирующий некоторые параметры освещения, полученные в результате НИР 1977–80 гг. Он создан без участия ВНИСИ (раздел по освещению создан ИМБП по результатам указанной НИР), и потому с светотехнической точки зрения местами не вполне корректен. В табл. 1 приведены нормируемые в нём требования к освещению.

При этом:

- в обитаемых отсеках должны предусматриваться следующие виды освещения: общее (рабочее); дежурное; аварийное; для обеспечения телерепортажей и кинофотосъёмки; переносное для ремонтных работ; переносное с автономным питанием;

- в техническом обоснованных случаях допускается совмещать виды освещения. При отключении дежурного освещения автоматически должно включаться аварийное. Должны быть предусмотрены: местное освещение, включение рабочего освещения у спальных мест космонавтов и возможность полного выключения освещения, в том числе дежурного;

– в обитаемом отсеке должны быть исключены: образование бликов на отражающих поверхностях приборов, иллюминаторов, приборных досок; слепящее действие на космонавтов; затемнение рабочего оборудования при выполнении рабочих операций космонавтами; воздействие прямых солнечных лучей на глаза космонавта;

– освещённость при аварийном освещении должна составлять не менее 20 % от значений, указанных в табл. 1, но не менее 20 лк;

– для обеспечения оптимальных условий восприятия информации с приборов должно предусматриваться управление освещением средств индикации. Средства освещения обитаемых отсеков должны обеспечивать плавную регулировку освещённости от 300 до 50 лк.

При выполнении космической программы «Буран» (аналога американской «Space-Shuttle») для освещения негерметичной погрузочно-разгрузочной площадки был разработан светильник СГ2–12 (рис. 6), с ГЛН. Такой выбор источника света обусловлен невозможностью работы разрядных ламп, в том числе ЛЛ, в заданном интервале температур, а светодиодов, по сути, тогда ещё не было. В светильнике использована ГЛН мощностью 40 Вт: КГСМ27–40. Поскольку бортовое напряжение имеет широкий разброс, светильник включается через стабилизатор напряжения (на рис. 6 слева). Как известно, советский орбитальный корабль «Буран» совершил единственный беспилотный космический полёт, а его макет сейчас демонстрируется на ВДНХ.

По требованию Заказчика освещение для телерепортажей из спускаемых ПКА, в которых космонавты находятся во время выведения корабля на орбиту и спуска с неё, должно осуществляться только ЛН. По программе «ЭПАС» для этого был разработан светильник СГ2–9 с ГЛН КГМ27–27. Позже он был модифицирован и уже как светильник СГ2–14 летал на многих советских и российских «Союзах». Благодаря специально рассчитанному отражателю из алюминия с электрохимическим полированием поверхности светильник создаёт равномерную освещённость порядка 300 лк в круге диаметром 1 м с расстояния 1 м, что вполне обеспечивает высокое качество репортажей. С одним общим блоком питания, стабилизирующим бор-

Рис. 5. Светильник СР-3



Рис. 6. Светильники СГ2–12



Рис. 7. Светильник СГ2–14



товое напряжение, работают четыре таких светильника (рис. 7).

Кроме осветительных приборов ВНИСИ в содружестве с ИМБП был создан и доставлен на «Солют-7» бор-

товой УФ облучатель «БУФ», предназначенный для компенсации УФ недостаточности, а точнее – профилактики нарушений кальциевого обмена<sup>1</sup> [12]. Облучатель содержит 6

<sup>1</sup> С проблемой «солнечного голодания» космонавты столкнулись тогда, когда длительность полётов стала составлять несколько месяцев. Как известно, витамин D<sub>3</sub>, регулирующий кальциевый обмен организма, практически не усваивается из пищи и образуется при облучении кожи УФ излучением с длиной волны около 365 нм. Недостаток этого витамина ведёт к вымыванию кальция из костей со всеми негативными последствиями этого (истончение и хрупкость костей, остеопороз и т.п.).

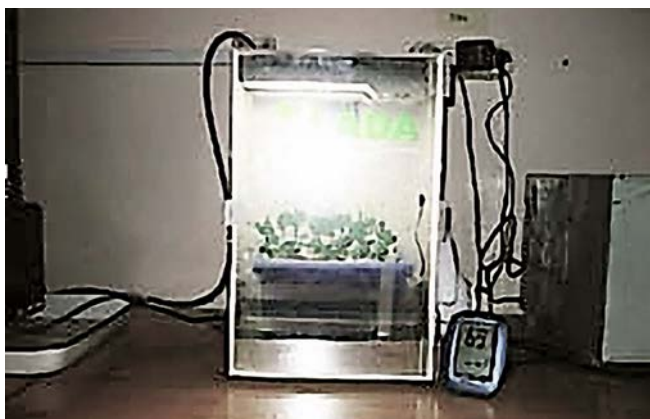
Рис. 8. Облучатель «БУФ»



Рис. 9. Светильник со светодиодами для замены светильников с ЛЛ в американских модулях МКС [14]



Рис. 10. Космическая оранжерея «Лада»



эритемных ЛЛ ЛЭ8, разработанных ВНИИС. Большой проблемой оказался выбор материала для перекрытия выходного отверстия, так как ни поликарбонат, ни ПММА, ни другие достаточно ударопрочные пластики совершенно не пропускают УФ излучение нужного диапазона. В результате изучения спектральных характеристик пропускания десятков материалов был выбран политрифторхлорэтилен (фторопласт-3) в виде плёнки толщиной 0,4 мм. Защиту ламп и плёночного перекрытия обеспечивала металлическая решётка (рис. 8).

ИМБП были разработаны методические указания для космонавтов по работе с облучателем «БУФ». Для их выполнения в облучателе имел-

ся встроенный таймер, позволявший устанавливать требуемое время облучения: от 5 до 45 мин. Облучатель устанавливался над тренажёром «беговая дорожка». Такой же облучатель работал и на станции «Мир».

Далее, что касается освещения модулей американского сегмента МКС. Оно осуществляется в соответствии с документом [13]. Соответствующие требования к этому освещению приведены в табл. 2, из которой видно, что они заметно выше, чем по ГОСТ [11], и в основном согласуются с рекомендациями, полученными в результате выполнения НИР 1977–80 гг.

<sup>2</sup> Проблема нарушения циркадных ритмов и возможности управления ими с помощью света изучалась в СССР ещё в 70-е гг. (ВНИСИ, ИМБП, ИКМ), но технические средства того времени не позволяли реализовать результаты исследований.

Для освещения американских модулей МКС до сих пор также используются ЛЛ, но уже известно о намерении НАСА перейти на светодиоды (рис. 9) [14]. Одной из причин этого названо нарушение циркадных ритмов и хроническое недосыпание космонавтов (известно, что во время полётов космонавты ежедневно недосыпают примерно по 2 ч). Поскольку светодиоды могут излучать свет практически любой цветности и легко регулироваться, с ними можно моделировать циркадное изменение световой среды не только по освещённости, но и по цветности излучения, что может способствовать поддержанию нормальных суточных ритмов у космонавтов<sup>2</sup>. Осуществить замену ЛЛ на светодиоды планировалось уже в 2016 г.

Ещё один важный объект применения светотехники в ПКА – «космические оранжереи». Эксперименты по выращиванию растений в условиях невесомости начались со станции «Салют» (1971 г.), на борту которой имелась небольшая оранжерея «Оазис». Для освещения растений в ней использовался светильник СД1–4 с двумя ЛЛ мощностью по 4 Вт. По отзыву летавшего на этой станции космонавта Ю.П. Артюхина «Оазис» был самым светлым местом на станции, и космонавты проводили близ него значительную часть свободного времени. Кстати, светильник СД1–4 – первый светильник разработки ВНИСИ, побывавший в космосе. Позже появились оранжереи «Малахит» и другие, которые показали возможность выращивания на ПКА высших растений по полному циклу (от семени до семени). С 1996 г. на станции «Мир» работала полностью автоматическая оранжерея «Свет», созданная в ИМБП. Светильник для неё, с двумя ЛЛ мощностью по 8 Вт, был разработан в Болгарии. В оранжерее выращивали пшеницу, листовые овощные культуры и редис. Космонавты собирали их на определённой стадии развития, фиксировали в специальных растворах, а затем на Земле биологи изучали анатомию и морфологию отобранного материала.

На МКС опыты по выращиванию высших растений проводятся как

Требования к освещённости рабочих поверхностей элементов обитаемых отсеков ПКА [11, таблица 13]

Место освещения	Оптимальная освещённость, лк, не менее	Примечания
1. Рабочий стол	150	Применяют лампы белого света Равномерность освещения, не менее: 1:3 – для приборных досок и рабочих мест 1:5 – для отдельных надписей и обозначений на пультах 1:10 – для пультов в центральной и периферической части поля зрения
2. Приборная доска (щиток)	200	
3. Места отдыха космонавта	100	
4. Места установки радио и специальной аппаратуры	40	
5. Вспомогательные отсеки	50	В зоне АСУ, умывальной кабины, душа допускается уменьшение до 30 лк
6. Места сна космонавтов	10	Постоянное дежурное освещение с использованием синего фильтра
7. Средства индикации с необходимостью различения деталей размером: до 1 мм до 10 мм	200 75–100	Для средств индикации особо важных параметров – увеличение яркости относительно основных элементов на 40 % (в том числе для пультов управления, тренажёров для физических тренировок)

в российском, так и в американском сегментах. В российском сегменте работала оранжерея «Лада», в которой выращивали листовую салат, карликовые помидоры, карликовый горох, ячмень, редис и пшеницу (рис. 10).

Для освещения (точнее, для облучения) растений использовались ЛЛ. Оранжерея «Лада» вышла из строя в 2010 г. В декабре 2016 г. её должна была заменить автоматическая оранжерея «Лада-2», в которой используются светодиоды (белые, красные и синие в оптимальном для роста растений сочетании). Однако транспортный корабль «Прогресс», который должен был доставить оранжерею на МКС, не вышел на орбиту и разрушился.

В американском сегменте МКС с апреля 2014 г. работает сборно-разборная оранжерея «Veggie» («Овощ»). По площади посадки (30×36 см) это сейчас самая большая космическая оранжерея, и в ней используется блок из красных, синих и зелёных светодиодов. В этой оранжерее выращиваются салат и другие овощные культуры, а также впервые в условиях космического полёта выращены цветы циннии.

Об освещении японского, канадского и европейского сегментов МКС никаких сведений в доступных источниках информации, включая Интернет, обнаружить не удалось.

Таблица 2  
Требования к освещению интерьеров модулей американского сегмента МКС

Зона МКС или вид деятельности	Освещённость, лк, не менее
Общее	100
Проходы	50
Люки	100
Поручни	100
Лестницы	100
Рабочее место	320
Техобслуживание	270
Органы управления	200
Сборка	320
Ведение записей	540
Заполнение таблиц	540
Ремонт	320
Панели	50
Чтение	540
Ночное освещение	20

Для световой сигнализации на российских ПКА используются только ЛН. На беспилотных аппаратах применяются поисковые маяки с импульсными ксеноновыми лампами. ВНИСИ были разработаны и выпу-

скались несколько типов габаритных и сигнальных огней для ПКА [15, 16].

Отдельно следует сказать о прожекторах для освещения стыковочных узлов. Прожекторы устанавливаются на всех модификациях ПКА типа «Союз»

Рис. 11. Комплекс СМИ-4



\*\*\*

и используются при ручной стыковке ПКА со станцией. В связи с этим был разработан прожектор СМИЗ-3 с ГЛН типа КГМ27-100, имеющей рекордную для ГЛН световую отдачу — 33 лм/Вт. Однако из-за большого разброса бортового напряжения и значительного падения напряжения на проводах (до 5 В) лампы часто работали при напряжении ниже номинального, что приводило к заметному ухудшению светотехнических параметров прожектора.

Для устранения этого недостатка в конце 80-х гг. был разработан новый осветительный комплекс СМИ-4 (рис. 11). В прожекторах комплекса использованы новые ГЛН, КГМ12-100, созданные во ВНИИИС. Импульсный стабилизатор напряжения, собранный по оригинальной схеме и имеющий КПД более 92 %, расположен рядом с лампами, и потому при любых колебаниях бортового напряжения на лампы поступает ровно 12 В. Габариты тела накала ламп — всего 2×3 мм, что позволило при достаточно малых размерах отражателей получить угол излучения 4° и осевую силу света более 10000 кд. Комплекс СМИ-4 содержит три прожектора: два с углом излучения 4° для освещения непосредственно стыковочного узла и один с углом излучения 20° для общего освещения и обзора станции. При стыковке работает один из «четырёхградусных» прожекторов, а другой служит резервным, включаясь автоматически при отказе первого. Это обеспечивает исключительную надёжность комплекса. Но надо отметить, что за многолетнюю историю его не было ни одного случая отказа основного прожектора. Попытки применения МГЛ вместо ГЛН не привели к успеху из-за очень широкого диапазона рабочих окружающих температур (от — 150 до + 100 °С).

Очевидно, светодиоды открывают совершенно новые возможности как во внутреннем освещении ПКА, так и в световой сигнализации и освещении стыковочных узлов. С их помощью достаточно легко можно организовать свето- и цветодинамичную световую среду, обеспечивать все рекомендуемые параметры освещения, и притом с меньшими энергозатратами и с лучшими массогабаритными параметрами.

Между тем «по независимым обстоятельствам» работы по космической светотехнике во ВНИСИ несколько лет назад были прекращены. По неофициальным данным, сегодня они ведутся в Зеленограде.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюхин Ю. П., Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С., Мотыльков В. А., Окара О. И., Чернышёв В. П., Шталтовный Н. А. Проблемы внутреннего освещения пилотируемых космических аппаратов // Светотехника. — 1980. — № 7. — С. 6–8.
2. Информационные листки «Ракетная и космическая техника». ГОНТИ-1, 1973–76.
3. Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С., Окара О. И., Чернышёв В. П. Выбор оптимальных режимов освещения операторских помещений ограниченного объёма // Светотехника, 1981. — № 6. — С. 6–8.
4. Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С. О выборе люминесцентных ламп для операторских помещений // Светотехника. — 1983. — № 5. — С. 9–11.
5. Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С. Освещение малых изолированных помещений, предназначенных для активного отдыха // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». — 1981. — Вып. 3 (69). — С. 1–2.
6. Леонова Т. С. Освещение операторских помещений в замкнутых экологиче-

ских объёмах // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». — 1981. — Вып. 4 (70). — С. 2.

7. Леонова Т. С. Об оценке комфортности световой среды в замкнутых экологических объёмах // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». — 1981. — Вып. 5 (71). — С. 2.

8. Больинов В. А., Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С. Цветодинамическая осветительная установка // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». — 1982. — Вып. 2 (74). — С. 2.

9. Окара О. И. О динамике световой среды операторских помещений // Светотехника. — 1978. — № 11. — С. 12–14.

10. Варфоломеев Л. П., Гусев В. Г., Магивев Г. В. Освещение пилотируемого космического комплекса «Мир» // Светотехника. — 1995. — № 4–5. — С. 33–34.

11. ГОСТ Р 50804–95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования».

12. Варфоломеев Л. П. Компенсация ультрафиолетовой недостаточности у космонавтов на станции «Мир» // Светотехника. — 1997. — № 5. — С. 29–30.

13. Спецификация систем для международной космической станции. Тип 1. Контракт № NAS15–1000 CDRL № M G 02.

14. НАСА: светодиоды помогут обитателям МКС бороться с бессонницей // Светотехника. — 2013. — № 1. — С. 17.

15. Барышников В. Г., Водоватов Б. М., Жильцов В. П., Коньков В. Е., Магивев Г. В. Развитие светосигнальных средств для визуального поиска с воздуха // Светотехника. — 1977. — № 2. — С. 1–4.

16. Леонидов А. В. Определение оптимальных энергетических параметров светового маяка как элемента системы визуальной сигнализации // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». — 1982. — Вып. 5 (77). — С. 1–2.



**Варфоломеев Леонид Петрович**, кандидат техн. наук. Окончил в 1959 г. МЭИ по специальности «Светотехника и источники света». Многие годы руководил одной из

научных лабораторий ООО «ВНИСИ». Член редколлегии журнала «Светотехника»