

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ И
ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСА СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖЕЙ ПИЛОТИРУЕМЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ**

Д. В. Каширин

Экспериментальная отработка и оценка комплекса систем жизнеобеспечения (СЖО) является одним из основных этапов создания пилотируемых космических аппаратов (ПКА). Для качественного проведения таких работ требуются длительные сроки, большой объем экспериментов и необходимость создания сложной экспериментальной базы. Поэтому задача совершенствования методов испытаний систем жизнеобеспечения и комплекса СОЖ ПКА в целом остается актуальной.

Анализ существующих руководств и методик по испытаниям комплекса СОЖ показывает, что они, в основном, обеспечивают проведение испытаний и оценку его систем. В них определен типовой порядок и условия проведения испытаний, их объем, основные параметры, подлежащие измерениям и оценке, показаны нештатные ситуации и основные правила безопасности при проведении экспериментов.

Однако комплекс СОЖ непрерывно развивается. Опыт эксплуатации и испытаний подтверждают необходимость совершенствования как организационных, так и методических документов. Для повышения качества наземной экспериментальной отработки СОЖ ПКА, как показывает опыт, целесообразно установить следующий порядок ее проведения:

1. Конструкторская отработка и автономные испытания элементов и систем комплекса СОЖ с целью доводки их характеристик до требований ТЗ (ТУ).

2. Предварительные испытания комплекса и его систем с целью решения следующих задач:

- проверки правильности монтажа систем и их устойчивой работы;
- получения номинальных характеристик комплекса и его систем в установившихся режимах функционирования;
- оценки логики и алгоритмов управления, диагностики и контроля систем на различных режимах работы;
- оценки возможности и удобства выполнения работ по эксплуатации, ремонту и техническому обслуживанию;
- оценки работоспособности систем в расчетных нештатных ситуациях;
- оценки пригодности комплекса и систем для предъявления на межведомственные (государственные) испытания.

3. Автономные испытания отдельных систем с целью оценки их характеристик на соответствие требованиям ТЗ (ТУ) и допуска для эксплуатации в составе комплекса СОЖ.

4. Комплексные и межведомственные испытания.

Наземные комплексные и межведомственные испытания КСОЖ, как правило, совмещаются. Наземные комплексные испытания проводятся на экспериментальной установке в соответствии со штатной программой космического полета с участием экипажа испытателей.

Межведомственные комплексные испытания, как правило, проводятся в 3 этапа:

- 1 этап: эксперименты по определению основных характеристик системы в составе комплекса, а также параметров обитаемости экспериментального изделия для подтверждения возможности и безопасности проведения испытаний КСОЖ с участием испытателей. На этом этапе проводятся оценки систем вентиляции, обеспечения температурно-влажностного режима, кислородообеспечения, очистки воздуха от углекислого газа и вредных микропримесей в обитаемом отсеке;
- 2 этап: испытания КСОЖ по штатной программе полета с экипажем различной численности и имитация расчетных нештатных ситуаций.

Производится оценка эффективности работы всех систем жизнеобеспечения. Основными задачами являются выявление и устранение недостатков, которые могут повлиять на безопасность и работоспособность членов экипажа, оценка характеристик среды обитания. В ходе этапа выявляется необходимость доработок систем, интерьера, документации;

- 3 этап: испытания с экипажем разной численности на борту экспериментального изделия. Выполняется отработка бортовой документации, оценивается работоспособность и энергетические характеристики отдельных изделий и систем. Также оценивается работоспособность членов экипажа и правильность их действий в штатных и нештатных ситуациях.

5. Комплексные испытания и исследования КСОЖ с применением методов математического моделирования.

Математические модели СЖО разрабатываются на основе детального описания блоков системы жизнеобеспечения и их взаимосвязи с учетом метода массоэнергетического баланса.

В исследованиях оценивается возможность модульного (поблочного) построения СЖО, возможность замены блоков в полете и их совершенствования с целью улучшения производительности, эффективности отказобезопасности элементов и систем, повышения автоматизации процессов управления системами.

Особой проблемой при проведении испытаний и исследований СЖО является определение сроков и объема испытаний для долговременных пилотируемых космических аппаратов, например, орбитальных космических станций (ОКС).

Проведенные исследования зачетного количества экспериментов с участием бортовых операторов позволили ограничить их продолжительность 90 сутками из расчета:

- 30 суток на первый этап испытаний;
- 30 суток на второй этап испытаний;
- 30 суток на третий этап испытаний.

На основе экспериментальных исследований установлено, что минимальное время оценки работы системы в стационарном режиме и выдачи заключения о пригодности условий в объекте для продолжительного полета должны составлять около 6 суток. С учетом необходимости определения характеристик комплекса СОЖ в расчетных нештатных ситуациях, переходных режимах и имитации аварийных ситуаций, продолжительность комплексных испытаний СОЖ должна быть не менее 90 суток. Это время устанавливается из расчета:

- в течение первых 45-50 суток организм человека адаптируется к условиям жизнедеятельности в замкнутом пространстве с искусственной газовой атмосферой;

- в течение указанного времени гарантированно выходят на установившийся режим работы все системы комплекса СЖО, большая часть параметров среды обитания, а также показатели состояния членов экипажа, как главного звена эколого-технической системы ОКС;

- варьируя на указанном временном участке продолжительностью испытаний, численностью экипажа испытатели, с учетом предполагаемой программой космических полетов, определяют ожидаемый ресурс работы технических систем и возможности человека при работе в космосе.

В программе комплексных испытаний должны быть учтены все переходные режимы в работе систем и все нештатные расчетные ситуации, предусмотренные бортовой инструкцией по эксплуатации. Время проведения экспериментов по проверке работоспособности систем определяется циклограммой работы, режимом труда и отдыха (РТО) членов экипажа.

При проведении комплексных испытаний необходимо имитировать следующие аварийные ситуации:

- полное отключение систем обеспечения газового состава (СОГС) до достижения максимально допустимого парциального давления углекислого газа;

- полное отключение системы терморегулирования (СТР) до достижения максимально допустимых температуры и влажности газовой среды;

- наличие утечек и контроль работы средств обнаружения и выявления скорости разгерметизации.

Наземные комплексные испытания систем жизнеобеспечения проводятся с целью:

- определения соответствия комплекса СЖО ПКА и создаваемых им в обитаемых отсеках условий жизнедеятельности в соответствии с требованиями ТЗ (ТУ) и ГОСТ;

- оценки возможности КСОЖ обеспечить безопасность экипажа при возникновении нештатных расчетных и аварийных ситуациях;

- оценки рекомендованного для испытателей режима труда и отдыха;

- оценки штатных бортовых инструкций по эксплуатации комплекса СОЖ.

Цели испытаний для конкретного объекта уточняются техническим заданием и программой испытаний.

В общем виде наземные комплексные испытания включают:

- испытания системы обеспечения газового состава;

- испытания системы обеспечения питанием;

- испытание системы водообеспечения;

- оценку санитарно-гигиенического обеспечения;

- оценку системы обеспечения теплового режима и влажности;

- оценку системы наддува и разгерметизации, утечек и натеканий;

- оценку средств измерений и контроля;

- оценку средств обеспечения безопасности экипажа.

Как правило, комплексные испытания СОЖ проводятся по программе наземных межведомственных испытаний.

В основу методики комплексных испытаний СЖО положен натурный эксперимент. Объем и продолжительность испытаний определяются программой испытаний и зависят от степени доводки испытываемых изделий

и испытательных установок. Для орбитальной космической станции «Мир» и служебного модуля «Звезда» эти данные приведены в таблице.

Таблица

Данные о комплексной экспериментальной отработке комплекса СОЖ орбитальной космической станции «Мир» и служебного модуля «Звезда» международной космической станции (МКС)

Период проведения	Установка	Этапы испытаний	Продолжительность, сутки	Численность экипажа	Состав систем, подлежащих оценке	Цели и задачи испытаний
1	2	3	4	5	6	7
1988-1989 гг.	ЭУ734/367 КСОЖ ОКС «Мир» с модулем дооснащения М77КСД	Монтаж установки. Предварит. испытания. 1 этап 2 этап 3 этап	150 120 45 90 30	- - - 2÷6 2÷6	Системы и средства жизнеобеспечения ОКС «Мир» в штатном исполнении	Отработка, доводка комплекса СОЖ. Комплексная оценка характеристик КСОЖ. Определение пригодности КСОЖ к летно-космическим испытаниям
1999-2000 гг.	ЭУ1020 изд.17КС № 128. СМ «Звезда»	Монтаж установки. Предварит. испытания. 1 этап	150 10	- -	Системы и средства жизнеобеспечения изд.17КС в штатном и опытном исполнении Технические эксперименты по проверке работоспособности систем «Воздух», «Электрон-ВМ», вентиляции. Технический подъем.	Отработка систем комплекса СОЖ изд17КС на ЭУ 1020 Определение основных технических характеристик СОЖ и их соответствия ТЗ и ТУ
		2 этап	30	2÷6	Системы и средства жизнеобеспечения после устранения замечаний и недостатков, выявленных на 1 этапе	Оценка работоспособности систем и деятельности экипажа, при штатной эксплуатации
		3 этап	30	2÷6	Системы и средства жизнеобеспечения после устранения замечаний и недостатков, выявленных на 2 этапе	Оценка работоспособности систем, возможности поиска и устранения неисправностей в нештатных ситуациях, оценка деятельности экипажа в нештатных ситуациях

Проведение комплексных испытаний и их результаты подтверждают их необходимость и важную роль в отработке СОЖ.

Анализ испытаний КСОЖ ПКА различного поколения («Союз», «Мир», «Звезда») показывает, что продолжительность испытаний систем жизнеобеспечения на экспериментальных установках в основном

определяется степенью доведенности систем и их надежностью. Главным образом это относится к предварительным испытаниям и первому этапу испытаний.

При проведении работ на 1 этапе межведомственных испытаний определяется свободный газовый объем обитаемых отсеков, уровень акустических шумов, скорость воздушных потоков. Технические эксперименты по проверке работоспособности систем «Воздух», «Электрон-ВМ», системы сбора микропримесей, системы регенерации воды, системы водообеспечения проводятся на 2 и 3 этапах испытаний при их работе в штатном режиме.

Время определения характеристик комплекса систем в расчетных нештатных ситуациях определяется циклограммой работы экипажа. С учетом необходимости оценки функционирования систем КСОЖ в переходных режимах и имитации аварийных ситуаций время 3 этапа составляет 30 суток. Последнее обстоятельство важно с точки зрения предварительной оценки ресурса всей системы обеспечения жизнедеятельности комплекса.

Практика комплексных испытаний показывает, что большое число замечаний и недостатков, выявленных в процессе испытаний, объясняется недостаточной отработкой систем, методики испытаний и бортовой документации. Это особенно относится к наиболее сложным системам комплекса СОЖ, таких как СКО «Электрон-ВМ», СОА УГ «Воздух», СРВ, СТР. Отработка этих систем должна выполняться на этапах автономных испытаний.

На продолжительность комплексных испытаний влияет также большой объем работ, выполняемых экспериментаторами в обитаемых отсеках, таких как:

- работы по подготовке отсеков и размещения дополнительного оборудования;
- санитарная обработка отсеков;
- отбор проб воздуха на химический анализ;
- проверка исходного состояния бортовых систем;

- медицинские обследования испытателей;
- контроль герметичности др.

Объем этих работ определяется программой МВИ.

Исходными данными для разработки программы испытаний и моделирования является циклограмма функционирования КСОЖ и деятельности экипажа. Типовая циклограмма режима труда и отдыха для 3-х и 6-и членов экипажа ОКС представлена на рис. 1, 2.

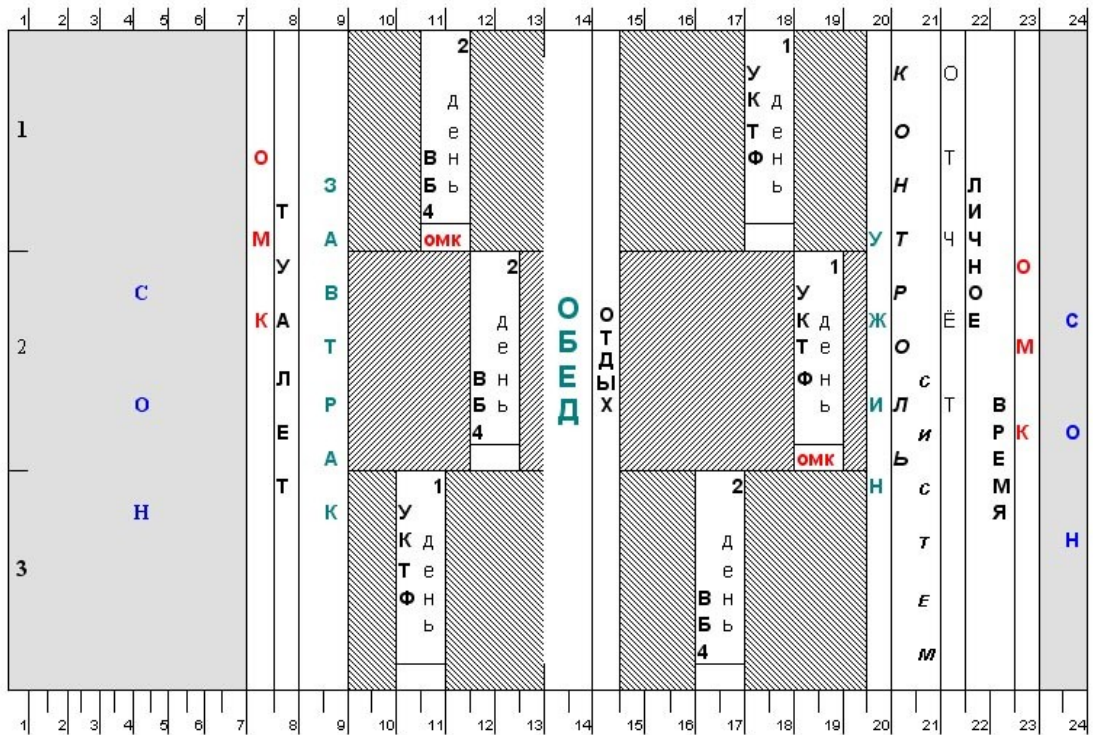


Рис. 1. Суточная циклограмма основного экипажа

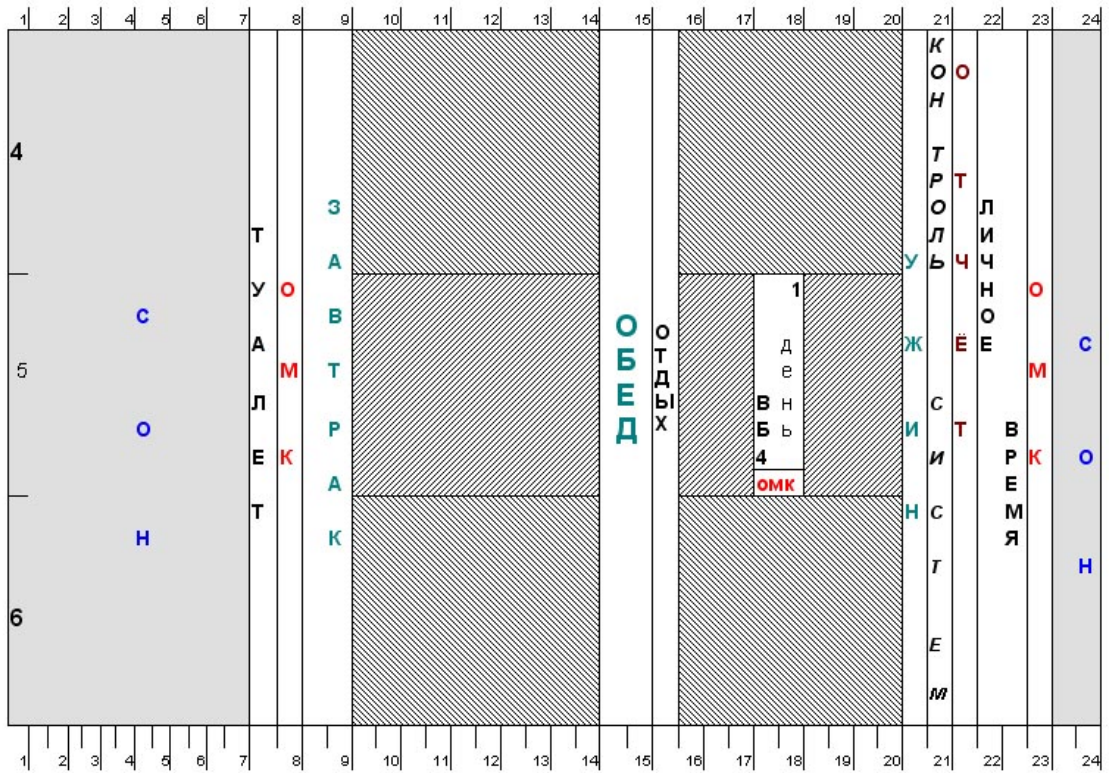


Рис. 2. Суточная циклограмма экипажа посещения

В последнее время уделяется большое внимание разработке и применению методов математического моделирования и планирования экспериментов. Однако применительно к системе кислородобеспечения «Электрон-ВМ», системе очистки атмосферы от углекислого газа «Воздух» и ряду других систем, входящих в КСОЖ в силу нелинейности протекающих в них процессов и зависимости от многих изменяющихся нелинейно параметров, чисто математическим моделированием получить реальные характеристики в полном диапазоне работы не представляется возможным. Этого можно добиться лишь за счет комбинированного использования, как математического моделирования, так и натурных экспериментов.