Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт инженерной физики и радиоэлектроники
Институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
« 21 » 06 20 ___ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ПОДДЕРЖАНИЯ ЧИСТОТЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЕГО НАЗЕМНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

тема

16.04.01. «Техническая физика»
код и наименование направления

16.04.01.04. «Физические основы создания информационных спутниковых систем»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	ведущий инженер–конструктор АО «ИСС», д–р техн. наук, профессор	В.Е. Чеботарев
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		К.В. Садыкова
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	ведущий инженер–конструктор АО «ИСС»»	К.М. Трутнев
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Продолжение титульного листа МД по теме «Разработка комплексного метода поддержания чистоты при производстве космического аппарата на всех этапах его наземной эксплуатации»

Консультанты по разделам:

Основные сведения о чистых помещениях		В.Е. Чеботарев
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
Промышленная чистота на всех этапах наземной эксплуатации		В.Е. Чеботарев
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
Этапы наземной эксплуатации КА и требования к окружающим условиям		В.Е. Чеботарев
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
Источники загрязнений при работе с космическим аппаратом		В.Е. Чеботарев
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
Чистые зоны на космодроме и процесс подготовки КА к выведению на орбиту)		В.Е. Чеботарев
наименование раздела	подпись, дата	инициалы, фамилия
Нормоконтролер		Е.С. Сидорова
	подпись, дата	инициалы, фамилия

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт инженерной физики и радиоэлектроники
институт
Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
« 21 » 06 2017 г.

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме магистерской диссертации

Студенту Садыковой Ксении Васильевна.

Группа РФ 15-44М **Направление** (специальность) 16.04.01. «Техническая физика»

Тема магистерской диссертации (МД): Разработка комплексного метода поддержания чистоты при производстве космического аппарата на всех этапах его наземной эксплуатации.

Утверждена приказом по университету № 17892 от 01.12.2015г.

Руководитель МД: В.Е. Чеботарев, д.т.н., профессор, ведущий инженер-конструктор АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева».

Исходные данные для МД:

ГОСТ ИСО 14644-1-2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 1. Классификация чистоты воздуха.

ГОСТ Р ИСО 14644-2-2001 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия.

ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 3. Методы испытаний.

ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию.

ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация.

ГОСТ Р ИСО 14644-6-2010 Термины и определения.

ГОСТ Р ИСО 14644–7–2007 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 7. Изолирующие устройства (укрытия с чистым воздухом, боксы перчаточные, изоляторы и мини–окружения).

ГОСТ Р ИСО 14644–8–2008 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 8. Классификация молекулярных загрязнений в воздухе.

ГОСТ Р ИСО 14644–9–2013 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 9. Классификация чистоты поверхностей по концентрации частиц.

Перечень разделов МД:

1 Основные сведения о чистых помещениях.

2 Промышленная чистота.

3 Этапы наземной эксплуатации КА и требования к окружающим условиям.

4 Источники загрязнений при работе с КА.

5 Чистые зоны на космодроме и процесс подготовки КА к выведению на орбиту.

6 Разработка комплексного метода поддержания чистоты КА на всех этапах наземной эксплуатации.

Перечень графического материала:

Слайды презентации доклада:

1 Титульный лист

2 Актуальность.

3 Объект исследования.

4 Цель работы.

5 Задачи.

6 Этапы создания чистых помещений.

7 Классификация чистого помещения.

8 Чистые помещения на АО «ИСС».

9 Принципы испытания чистого помещения.

10 Периодичность испытания чистого помещения.

11 Номенклатура требований к ПЧ.

12 Источники загрязнений.

13 Источники загрязнений на космодроме.

14 Рекомендации по поддержанию чистоты.

15 Результаты исследования.

16 Научная новизна.

17 Практическая значимость.

18 Благодарю за внимание.

Руководитель МД	_____ подпись	В.Е. Чеботарев инициалы и фамилия
Задание принял к исполнению	_____ подпись	К.В. Садыкова инициалы и фамилия студента
		« ___ » _____20__ г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалифицированная работа по теме «Разработка комплексного метода поддержания чистоты при производстве космического аппарата на всех этапах его наземной эксплуатации» содержит 87 страниц текстового документа, 22 использованных источников.

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, ЧИСТОЕ ПОМЕЩЕНИЕ, КОСМИЧЕСКАЯ ОТРАСЛЬ, СТАНДАРТЫ ЧИСТОТЫ, ПРОМЫШЛЕННАЯ ЧИСТОТА, ЧИСТАЯ ЗОНА.

Объект исследования – чистые зоны при производстве космического аппарата.

Цель работы – разработка комплексного метода поддержания чистоты при производстве космического аппарата на всех этапах его наземной эксплуатации.

В процессе исследования был выполнен анализ предметной области и поставлена задачи на исследование:

– исследование общих понятий и стандартов чистоты (чистого помещения и чистой зоны);

– исследование причин необходимости применения чистых помещений для изготовления и успешной и долгой эксплуатации космического аппарата.

Результатами исследования является разработка ряда рекомендаций и предложений по совершенствованию существующей системы стандартов качества производства КА в части поддержания чистоты и определению целесообразности выбранных нормативов чистоты КА.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 10
1 Основные сведения о чистых помещениях 11
1.1 Чистое помещение 11
1.2 История развития чистых помещений 14
1.3 Этапы создания чистых помещений 16
1.4 Классификация чистых помещений. Основные типы 20
1.5 Принципы испытания чистого помещения 26
1.6 Периодичность измерений 29
1.7 Мониторинг чистого помещения 31
2 Промышленная чистота 33
3 Этапы наземной эксплуатации и требования к окружающим условиям 37
3.1 Этапы фукционирования космического аппарата 37
3.2 Климатические условия 38
3.3 Этап изготовления космического аппарата 39
3.4 Этап хранения 40
3.5 Общие требования по эксплуатации 41
4 Источники загрязнений при работе с космическим аппаратом 43
4.1 Одежда для чистых помещений 43
4.2 Источники и пути распространения инертных частиц 44
4.3 Особенности одежды для чистых помещений 45
4.4 Чистота транспортировочных средств 51
4.5 Упаковочные материалы 52
5 Чистые зоны на космодроме и процесс подготовки космического аппарата к выведению на орбиту 54
5.1 Общие сведения о промышленной чистоте на космодроме 54
5.2 Наземная эксплуатация космического аппарата 54

5.3 Особенности и требования для подготовки космического аппарата и его составных частей ……...56
5.4 Концепция по поддержанию чистоты в чистом помещении на космодроме ……..58
5.5 Условия подготовки и запуска космического аппарата……61
6 Анализ документации по поддержанию чистоты на всех этапах наземной эксплуатации……62
6.1 Обеспечение требований по чистоте на заводе изготовителе……...63
6.2 Обеспечение требований по чистоте при подготовке к запуску КА ….65
6.3 Анализ обеспечения требований по чистоте……..67
7 Разработка комплексного метода поддержания чистоты космического аппарата на всех этапах наземной эксплуатации ……..72
7.1 Этап 1. Идентификация источников загрязнения и путей переноса……72
7.2 Этап 2. Оценка степени опасности……..75
7.3 Этап 3. Определение способов защиты от источников загрязнения……75
7.4 Этап 4. Методы получения информации при мониторинге источников риска……..77
7.5 Этап 5. Разработка графика мониторинга с указанием «уровня тревоги» и «уровня действия» ……...78
7.6 Этап 6. Проверка и модификация систем контроля …….....79
7.7 Этап 7. Документация …….. 80
7.8 Этап 8. Обучение персонала…… 80
7.9 Этап 9. Особенности комплексного метода ……..82
Заключение 83
Список сокращений… …… 84
Список использованных источников……...85

ВВЕДЕНИЕ

Чистые помещения (ЧП) – одно из важнейших научных достижений человечества. Каждый из нас ежедневно – в той или иной форме сталкивается с достижениями прогресса.

Чаще всего мы даже не задумываемся о том, сколько сил и средств потрачено на изобретение очередной новинки – например, в области производства микроэлектронных схем, современного приборостроения, электроники или медицины, фармацевтики или точных наук. Так легко они приходят в нашу жизнь, обновляются, меняют её к лучшему.

Нельзя выбрать хорошее изделие из плохой партии. Нужно так построить технологию и организацию производства, чтобы невозможно было выпустить продукцию низкого качества и надежности. Это принципиальная основа современного подхода к обеспечению качества. Важной частью его является технология чистоты.

Одним из главных врагов чистоты являются вездесущие бактерии, борьба с которыми ведётся уже несколько веков. И один из главных вопросов всех времён и народов звучит так: как создать условия, пригодные для проведения высокоточных манипуляций и которые при этом абсолютно непригодные для существования микроорганизмов и бактерий? Какими должны быть территории, свободные от загрязнений?

1 Основные сведения о чистых помещениях

1.1 Чистое помещение

Чистые помещения (ЧП) — это помещения, в которых так называемая регистрируемая (т. е. поддающаяся учёту) концентрация механических частиц определённого размера и, при необходимости, количество жизнеспособных микроорганизмов, взвешенных в воздухе, поддерживается в заданных пределах.

Чистое помещение характеризуется непременно регистрируемой (исчислимой) концентрацией частиц — или, иначе, количеством частиц в единице объёма воздуха, причём количество таких частиц в отдельно взятой единице объёма воздуха чистого помещения не должна превышать установленных значений; кроме того, размеры частиц варьируются в пределах от 0,1 до 5,0 мкм. Это свойство отличает данные помещения от обычных, в которых чистота воздуха определяется исходя из массовой концентрации загрязнений в воздухе. Следуя этим критериям, формируются ключевые требования по поддержанию чистоты в чистой комнате и определения показателей чистоты, а также требования к контрольным приборам и счётчикам частиц в воздухе.

Под *частицей* понимается твердый, жидкий или многофазный объект или микроорганизм с размерами от 0,005 до 100мкм. На рисунке 1 представлена микрофотография полупроводникового прибора с находящейся на его поверхности загрязняющей частицей.

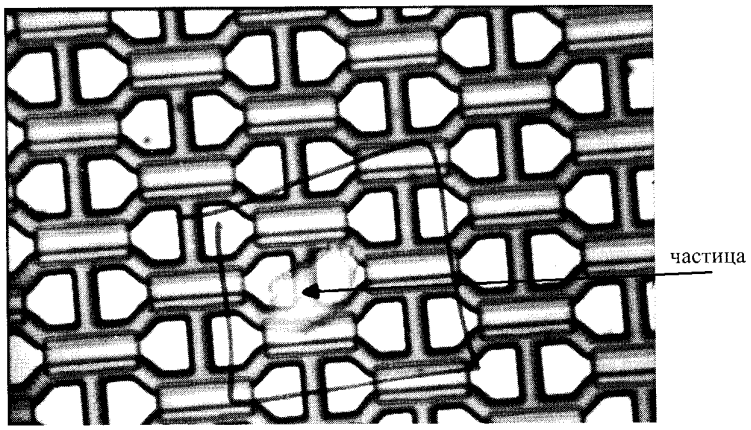


Рисунок 1 – Частица загрязнения на полупроводниковом приборе.

Ключевым фактором является то, что чистые помещения характеризуются именно *счетной концентрацией* частиц, т.е. числом частиц в единице объема воздуха, размеры которых равны или превышают определенную величину. Этим они отличаются от обычных помещений, в которых чистота воздуха оценивается по массовой концентрации загрязнений в воздухе. Отсюда вытекают особенности поддержания и определения показателей чистоты. Специфические требования к контрольным приборам, счетчикам частиц в воздухе и пр.

Необходимость применения чистых помещений продиктована тем, что персонал, технологическое оборудование и строительные конструкции в помещениях являются генераторами загрязнений, выделяя миллионы частиц. Чистая комната, созданная в соответствии с международными стандартами, позволяет контролировать распространение частиц и обеспечивает условия для производства продукции в чистой среде.

Применяются чистые помещения практически во всех отраслях, где наличие даже субмикронных посторонних частиц может нарушать функционирование изготовляемых изделий или снижать срок их службы.

Поэтому особое внимание следует уделять соблюдению требований, предъявляемых к уровню чистоты в конкретном помещении. Следует также понимать, что недостаточно создать собственно чистое помещение,

обеспечивающее требуемый класс чистоты, — необходимо одновременно применять оборудование, выделяющее минимум загрязнений, одеть персонал в «непыляющую» одежду, обучить персонал правилам работы в чистом помещении и установить контроль за поведением и гигиеной персонала. В противном случае затраты на чистое помещение не имеют никакого смысла.

Чистые помещения условно можно разбить на две большие группы: с однонаправленным потоком воздуха и турбулентно вентилируемые чистые помещения с неоднонаправленным потоком воздуха, в соответствии с рисунком 4. Отметим, что под однонаправленным потоком имеется в виду поток воздуха с постоянной скоростью и примерными параллельными линиями тока воздуха по всему поперечному сечению чистой зоны. Изначально чистые помещения с однонаправленным потоком относили к категории чистых помещений с т. н. «ламинарным потоком», что не вполне отвечает действующим в России стандартам ГОСТ Р ИСО 14644. Неоднонаправленный поток часто называют турбулентным потоком.

Система обеспечения воздухом, конструктивные особенности и требуемые затраты на создание чистого помещения в значительной степени зависят от характера потока воздуха. Различают три состояния чистого помещения:

– построенное: чистое помещение построено и функционирует, но без технологического оборудования, материалов и персонала.

– оснащённое: построено и функционирует, установлено и отлажено технологическое оборудование, но нет персонала.

– эксплуатируемое: функционирует в соответствии с заданными требованиями и с определённой численностью персонала, который работает по строго регламентированной документации.

Подобное разграничение имеет важное значение при всех стадиях проектирования, строительства, аттестации и эксплуатации чистых помещений. Во многих случаях оно учитывается системой классификации чистых помещений — например, Правилами производства лекарственных средств

Евросоюза — GMP ЕС, а также группой российских требований, изложенных в группе ГОСТов Р ИСО 14644.

1.2 История развития чистых помещений

Впервые о необходимости создания чистых помещений (чистых комнат) задумались хирурги еще в XIX веке. В 1860–е годы Лорд Листер добился значительного снижения инфекционных осложнений в своей операционной в Королевской больнице г. Глазго благодаря применению антисептического раствора (карболовой кислоты), убивающего бактерии. Этим раствором он обрабатывал инструменты, руки хирурга и хирургический разрез, и пытался предотвратить аэрозольное распространение инфекции путем распыления этого раствора в воздухе.

Предложенная Листером концепция снижения риска инфицирования при хирургическом вмешательстве представляла собой антисептический метод, поскольку он был основан на применении дезинфицирующего вещества, убивающего бактерии на бинтах, руках хирурга и в окружающей среде операционной. Один из его бывших ассистентов – сэр Вильям Мейсуон (William Macewan), который сменил Листера на посту профессора хирургии в университете г. Глазго, – вместе с хирургами Германии и США развил идеи Листера, перейдя к так называемым асептическим методам. Их асептический подход предусматривал не уничтожение проникших в хирургический разрез бактерий, а предупреждение возможности их проникновения в разрез. Тогда в практику вошло кипячение инструментов и перевязочных материалов, а хирурги и медицинские сестры стали следить за тщательной обработкой рук с целью удаления с них бактерий.

С 1900 г. стали использоваться хирургические перчатки, маски и халаты. Перед операцией их стерилизовали паром, хотя и при более низких температурах и давлении, чем это делается сейчас. Эти методы стали базой для разработки технологий, которые применяются и сегодня.

Открытие процессов ядерного расщепления, а также исследования в области разработки биологического и химического оружия, проводимые в период Второй мировой войны с 1939 по 1945 гг., стимулировали производство высокоэффективных воздушных фильтров HEPA (High Efficiency Particulate Air), необходимых для очистки воздуха от опасных микробиологических или радиоактивных аэрозольных загрязнений. Появление таких фильтров позволило обеспечить чистые помещения очень чистым воздухом и достичь низких уровней аэрозольного загрязнения.

Помещения с большими объемами хорошо очищенного воздуха, подаваемого через потолочные воздухораспределители, стали строиться в период с 1955 г. по 1960 г. Так, в начале 50–х годов компания Western Electric Corp в г. Уинстон–Салем, США, столкнулась с серьезной проблемой при производстве гироскопов для ракет: браковалось почти 99 гироскопов из 100. Было установлено, что главная причина брака – наличие пыли.

Было решено, что производственное помещение должно быть «обеспылено», и в 1955 г. компания AC Corporation закончила разработку и реализацию такого проекта. Его можно считать первым производственным помещением, отвечающим всем основным требованиям чистого помещения. Персонал был одет в халаты из синтетического материала и в шапочки; для смены одежды было отведено специальное помещение, оборудованное шкафами. Для ограждающих конструкций были выбраны строительные материалы, которые легко очищались и выделяли минимальное количество частиц. Щели и углы были сведены к минимуму, напольные покрытия на основе винила настилали с заведением на стены, а источники света устанавливались в утопленном варианте, чтобы свести к минимуму места скопления пыли.

Заметной вехой в истории чистых помещений стала разработка в 1961 году концепции вентиляции с «однонаправленным », или ламинарным потоком потоком воздуха, осуществленная в корпорации Sandia (г. Альбукерк, Нью–Мехико, США). Разработка велась группой специалистов, но наибольший вклад

принадлежал Уиллису Уитфилду. Ниже на рисунке 2 представлено фото разработанной им чистой комнаты. Помещение было небольшим, шириной 1,8 м, длиной 3 м и высотой 2,1 м.

Рисунок 2 – Чистая комната

Воздух подавался через ряд HERA–фильтров (вместо использования потолочных воздухораспределителей с последующим произвольным движением воздуха внутри помещения). Это обеспечивало однонаправленное движение воздуха от фильтров через все помещение и далее наружу через перфорированный пол [12] .

1.3 Этапы создания чистых помещений

1.3.1 Этап 1. Этап предпроектной подготовки

Целью данного этапа является:

– предварительное зонирование помещений по классам чистоты, исходя из технологического процесса, оборудования, требований нормативных документов и максимального использования принципа изолирующих технологий;

– предварительное определение параметров воздушной среды,

– определение состояния чистого помещения;

– определение «финансового коридора», необходимого для создания чистого помещения;

– определение «энергетического коридора»", необходимого для работы ЧП.

На этом этапе проводится предварительный анализ:

– технологии процесса;

– организационной структуры процесса;

– наличия и состава оборудования и особенностей его работы;

– требований к данному процессу нормативных документов.

1.3.2 Этап 2. Проектирование чистого помещения

Целью данного этапа является:

– разработка Рабочего проекта на комплекс технического оборудования для обеспечения заданных параметров воздушной среды (чистого помещения) для обеспечения параметров воздушной среды;

– разработка конструкторской и эксплуатационной документации ЧП;

– разработка документации, в которой определена методология проверки фактических параметров чистого помещения.

Работы проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 14644–4–2002 "Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию".

1.3.3 Этап 3. Изготовление и подготовка к монтажу

Целью данного этапа является:

– приобретение комплектующих изделий;

– изготовление узлов и элементов чистого помещения;

– складирование элементов чистого помещения.

На этом этапе производится изготовление элементов, а также сборка их в функциональные узлы, проверка, упаковка, маркировка.

1.3.4 Этап 4. Монтаж чистого помещения

Целью данного этапа является:

– проведение работ по монтажу чистого помещения с соблюдением требований к ГОСТу Р ИСО 14644–4–2002.

1.3.5 Этап 5. Приемо–сдаточные испытания чистого помещения

Целью данного этапа является документальное подтверждение достижения фактических параметров чистого помещения требуемым значениям согласно нормативным требованиям.

1.3.6 Этап 6. Аттестация чистого помещения

Целью данного этапа является:

– документальное соответствия ЧП всем требованиям.

Согласно ГОСТ Р ИСО 14644–4–2002 аттестация чистого помещения подразделяется на:

– аттестацию проекта;

– аттестацию построенного чистого помещения;

– аттестацию оснащенного чистого помещения;

– аттестацию эксплуатируемого чистого помещения.

Объем работ и собственно сама аттестация чистого помещения зависит от той отрасли производства, где конкретно применено чистое помещение. Наибольшие требования к аттестационным работам предъявляются в фармацевтической, микробиологической и других отраслях промышленности с повышенными требованиями к параметрам воздушной среды.

При применении чистых помещений, например в лечебно–профилактических учреждениях, аттестационные работы практически сводятся к приемо–сдаточным испытаниям.

Для проведения аттестационных работ должен быть разработан план, определяющий состав, методику, регламент и прочие условия проведения работ.

На рисунке 3 показана схема аттестации чистых помещений.

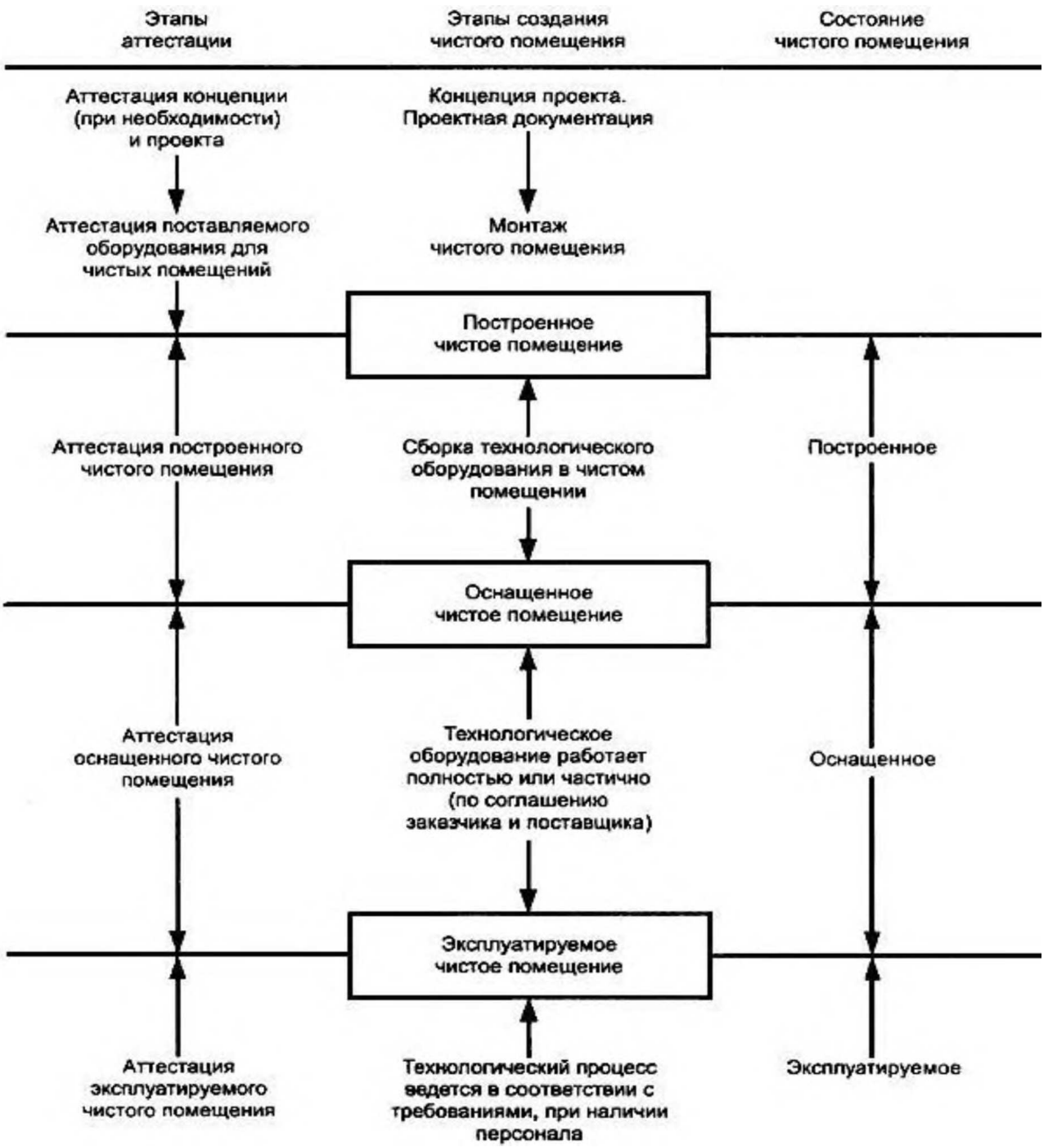


Рисунок 3 – схема аттестации чистого помещения

1.3.7 Этап 7. Техническое обслуживание и модернизация

Целью данного этапа является:

– обеспечение работоспособности и стабильности параметров ЧП;

– минимизация времени замены сменных элементов в системах ЧП и риска загрязнения чистого помещения при проведении замены;

– обеспечение возможности модернизации ЧП с минимальными затратами;

1.3.8 Этап 8. Утилизация чистого помещения

Целью данного этапа является:

– проведение работ по утилизации ЧП с наименьшими затратами;
– проведение работ с минимальным риском заражения работников;
– проведение работ с наименьшим риском загрязнения среды.

Утилизация чистого помещения должна быть проведена с минимальными издержками, без заражения работников и персонала, и без загрязнения окружающей среды.

1.4 Классификация чистых помещений. Основные типы

Важной характеристикой чистого помещения является его класс.

Класс чистоты помещения – это четко регламентированные требования по уровню содержания в воздухе различного рода примесей и частиц. Классы чистоты различаются по количеству частиц определенного размера на единицу объема.

Чистое помещение может содержать одну или несколько чистых зон. Чистые зоны могут быть и вне чистого помещения. Чистые зоны могут создаваться в локальных объемах: ламинарных шкафах, укрытиях, изоляторах.

Международная организация стандартизации разработали серию документов по созданию чистых помещений.

Они охватывают широкий спектр важных вопросов, такие как проектирование, испытания, эксплуатация и биозагрязненность чистых помещений.

Первым документом этой серии стал стандарт ГОСТ ИСО 14644–1 «Классификация чистоты воздуха».

Чистота по взвешенным в воздухе частицам обозначается классификационным числом N.

Максимально допустимая концентрация частиц C_n для каждого данного размера частиц D определяется из уравнения

$$C_n = 10^N \left(\frac{D_0}{D}\right)^{2,08}, \qquad (1)$$

где C_n – максимально допустимая концентрация (число частиц в кубометре воздуха) взвешенных в воздухе частиц, равных или больших чем данный размер частиц.

C_n округляется до ближайшего целого числа, при этом используется не более трех значащих цифр;

N – классификационное число ИСО, которое не должно превышать значения 9.

Промежуточные числа классификации ИСО могут быть определены с наименьшим допустимым приращением N, равным 0,1 мкм;

D – рассматриваемый размер частиц, мкм;

$D_{o=}$ 0,1 –константа, мкм.

При помощи уравнения (1) можно рассчитать максимально допустимую концентрацию аэрозольных частиц, т.е. предельные значения концентраций частиц любого заданного размера для каждого класса.

В таблице 1 показаны классы чистоты по взвешенным в воздухе частицам и соответствующие концентрации частиц размерами, равными и большими указанных размеров.

Таблица 1 – Классы чистоты по взвешенным в воздухе частицам для чистых помещений и чистых зон

Класс ИСО (Классификационное число N)	Пределы максимальных концентраций (частицы/м^3 воздуха) частиц размером, равным и большим приведенного выше (уравнение 1 в 1.4), мкм					
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0
Класс 1 ИСО	10	2	0	0	0	0
Класс 2 ИСО	100	24	10	4	0	0
Класс 3 ИСО	1 000	237	102	35	8	0
Класс 4 ИСО	10 000	2 370	1 020	352	83	0
Класс 5 ИСО	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
Класс 6 ИСО	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
Класс 7 ИСО	–	–	–	352 000	832 000	29 300
Класс 8 ИСО	–	–	–	3 520 000	832 000	29 300
Класс 9 ИСО	–	–	–	35 200 000	8 320 000	293 000

Примечание. Из–за неопределенности, связанной с процессом счета частиц, при классификации следует использовать значения концентрации, имеющие не более трех значащих цифр.

Классификация чистых помещений, используемых в различных отраслях:

Класс 1 ИСО. Производство микросхем с субмикронной геометрией.

Класс 2 ИСО. Фотолитография и другие критические зоны.

Класс 3 ИСО. Производство интегральных микросхем с расстоянием между проводниками менее 2 мкм.

Класс 4 ИСО**.** Асептическое производство инъекционных препаратов, требующее отсутствия микроорганизмов и частиц. Хирургические операции по имплантации или трансплантации органов.

Класс 5 ИСО. Производство оптических элементов высокого класса.

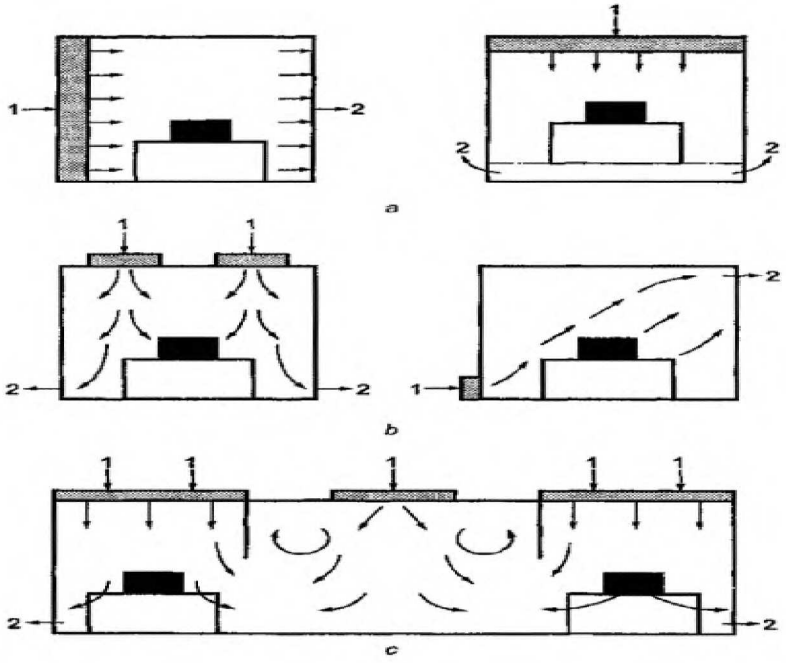
Класс 6 ИСО**.** Сборка прецизионного гидравлического и пневматического оборудования, клапанов с сервоприводами.

Класс 7 ИСО**.** Оптическое производство..

Класс 8 ИСО. Пластиковое и автомобильное производство.

Класс 9 ИСО. Вспомогательные помещения.

По способу построения архитектуры системы вентиляции и воздухоподготовки, чистые помещения условно можно разделить на три группы, показанных на рисунке 4.



a – однонаправленный поток воздуха; *b* – неоднонаправленный поток воздуха; *c* – смешанный поток воздуха; *1* – приточный воздух; *2* – вытяжной воздух

Рисунок 4 – Примеры потоков воздуха в чистых помещениях

1.4.1 Турбулентно вентилируемые чистые помещения

Их также называют чистыми помещениями с неоднонаправленным воздушным потоком или помещениями с обычной вентиляцией. Отличаются традиционным методом подачи воздуха – через воздухораспределители.

Принципы организации вентиляции в чистых помещениях этого типа такие же, как и в большинстве обычных помещений с кондиционированием воздуха, например, в офисах и магазинах.

Воздух в них подается системой кондиционирования через установленные на потолке воздухораспределители. Однако турбулентно вентилируемые чистые помещения отличаются от обычных помещений с кондиционированием воздуха некоторыми особенностями. Избыточное давление и решетки для прохода воздуха.

Для того чтобы исключить попадание воздуха в чистое помещение из смежных, более загрязненных участков, в нем должно быть создано избыточное давление воздуха по отношению к соседним, менее чистым помещениям.

Этого можно достичь, подавая в помещение больше воздуха, чем удаляется через вытяжную вентиляцию, или удаляя подаваемый воздух через смежные помещения.

Для обеспечения в блоке чистых помещений правильных перепадов давления и требуемого направления движения воздуха – от более чистых зон к менее чистым – решетки для прохода воздуха или демпфирующие устройства обычно устанавливают в нижней части дверей и стен.

Важным признаком, указывающим на то, что перед нами чистое помещение, является отделка его поверхностей. Материалы для отделки внутренних поверхностей должны легко поддаваться очистке и не являться источником частиц.

Поверхности должны быть выполнены таким образом, чтобы обеспечить доступ к ним во время уборки и исключить накапливание загрязнений в полостях и щелях, например, при использовании напольных покрытий или утопленных в нишах светильников.

Чистота воздуха в турбулентно вентилируемом помещении зависит от объема воздуха, подаваемого в помещение в единицу времени, и эффективности его перемешивания.

Вообще говоря, объема подаваемого в чистое помещение воздуха обычно хватает для того, чтобы обеспечить его хорошее перемешивание, и в итоге чистота воздуха будет зависеть только от его количества и качества.

Важно понимать, что в турбулентно вентилируемом помещении уровень чистоты зависит от количества подаваемого воздуха, а не от кратности воздухообмена.

Чистота воздуха также связана с генерацией аэрозольных загрязнений, выделяемых технологическим оборудованием и работающим в чистом помещении персоналом. Чем больше людей находится в помещении, чем активнее совершаемые персоналом действия и чем хуже качество используемой одежды, тем выше загрязненность воздуха в помещении.

1.4.2 Чистые помещения с однонаправленным потоком воздуха

Ранее употреблялся термин «ламинарный поток». Чистый воздух подается в помещение через систему высокоэффективных фильтров и проходит через помещение, сохраняя направление движения.

Однонаправленный поток воздуха используется в чистых помещениях в тех случаях, когда требуется обеспечить низкие концентрации частиц или микроорганизмов. Этот тип потока раньше был известен под названием «ламинарный».

Воздушный поток движется через весь объем помещения в одном направлении, горизонтальном или вертикальном, с равномерной скоростью, обычно равной 0,3 – 0,5 м/с.

Такой тип воздушного потока способен сразу удалять аэрозольные загрязнения, тогда как система с турбулентной вентиляцией основана на смешивании и разбавлении загрязнений поступающим воздухом.

В теоретически возможном случае – пустом помещении, где нет препятствий для движения воздуха, загрязнения можно быстро удалить и при скоростях потока, которые меньше указанных выше.

Однако в функционирующем чистом помещении установлено оборудование, препятствующее движению воздушного потока.

Препятствием является и перемещающийся около оборудования персонал. Преграды могут вызвать превращение однонаправленного потока в турбулентный, а вокруг естественных препятствий могут образоваться области локальной рециркуляции воздуха.

Перемещение персонала также способствует превращению однонаправленного потока воздуха в турбулентный.

В турбулентных участках концентрация загрязнений может повыситься, поэтому скорость воздушного потока в такой зоне необходимо поддерживать в диапазоне 0,3 – 0,5 м/с, что дает возможность быстро восстановить нарушенный однонаправленный воздушный поток и разбавить загрязнения в турбулентных участках вокруг препятствий.

1.4.3 Чистые помещения со смешанным потоком

Этот тип помещения представляет собой турбулентно вентилируемое чистое помещение, в котором критические производственные операции проводятся в условиях более высокого уровня чистоты воздуха, который обеспечивается устройством с однонаправленным воздушным потоком, например, лабораторным шкафом (боксом).

Помещения со смешанным потоком очень популярны, так как в них наилучшие условия обеспечиваются только там, где это необходимо, что приводит к существенному снижению стоимости помещения и эксплуатационных затрат.

1.5 Принципы испытания чистого помещения

Для подтверждения того, что чистое помещение работает в нормальном режиме, необходимо продемонстрировать соблюдение следующих принципов:

– воздух подается в чистое помещение в количестве, достаточном для разбавления или удаления образующихся в нём загрязнений;

– воздух внутри комплекса чистых помещений движется от чистых участков к менее чистым, в результате чего перемещение загрязнённого

воздуха сводится к минимуму. Воздух должен двигаться через дверные проёмы и другие элементы чистого помещения в правильном направлении;

– воздух, подаваемый в чистое помещение, такого качества, что он не увеличивает уровень загрязнения в чистом помещении;

– движение воздуха внутри чистого помещения должно гарантировать, что в чистом помещении не образуется зон с высокими концентрациями загрязнений.

Если эти принципы соблюдаются, то следует измерить концентрацию частиц и – если это необходимо – частиц–носителей микроорганизмов для определения соответствия чистого помещения требуемому классу чистоты.

1.5.1 Объёмы подаваемого и удаляемого воздуха

В случае турбулентно вентилируемого чистого помещения следует измерить расход подаваемого в чистое помещение и удаляемого из него воздуха.

В случае однонаправленного потока измеряется скорость воздушного потока.

1.5.2 Контроль движения воздуха между участками

Для подтверждения того, что воздушный поток между участками движется в правильном направлении, т. е. от чистого участка к менее чистому, необходимо убедиться в том, что:

– перепады давления между участками имеют правильную величину;

– воздух через дверные проёмы, люки и др. движется от чистого участка к менее чистому.

1.5.3 Контроль течей установленных фильтров

В процессе проверки высокоэффективного воздушного фильтра и системы его крепления необходимо убедиться в том, что содержащиеся в воздухе загрязнения не просачиваются в чистое помещение:

– через повреждённый фильтр;

– через уплотнения между корпусом фильтра и системой его крепления;

– через любой другой элемент фильтра и системы его крепления.

1.5.4 Контроль течей через ограждающие конструкции

Для того чтобы показать, что чистое помещение функционирует правильно, необходимо продемонстрировать отсутствие инфильтрации в него загрязнений из более загрязненных соседних помещений. Загрязнения в виде аэрозольных частиц могут поступать в чистое помещение извне через двери и люки, а также через отверстия и щели в стенах, потолке и в других структурных элементах чистого помещения.

Если давление в чистом помещении установлено правильно относительно всех соседних участков, то воздух из него будет вытекать в помещения с более низким давлением, и загрязнения в чистое помещение не попадут

1.5.5 Контроль движения воздуха внутри чистого помещения

Выбор методов контроля движения воздуха зависит от вида чистого помещения – является ли оно турбулентно вентилируемым или использует однонаправленный воздушный поток. В турбулентно вентилируемом чистом помещении необходимо убедиться в отсутствии зон с неудовлетворительным движением воздуха (застойных зон). В чистом помещении с однонаправленным воздушным потоком следует проверить соответствие скорости воздуха и направления его движения заложенным в проекте параметрам.

Концентрация аэрозолей и микроорганизмов

Если указанные выше тесты дали удовлетворительные результаты, можно перейти к заключительной части испытаний – определению концентрации частиц (и микроорганизмов, если это требуется), с тем чтобы подтвердить соответствие этих параметров значениям, которые заложены в проекте чистого помещения.

1.5.6 Дополнительные тесты

Помимо проведения перечисленных выше испытаний может возникнуть необходимость в том, чтобы чистое помещение соответствовало требованиям, предъявляемым к одному или более из следующих параметров:

– температуре;

– относительной влажности;

– возможности нагрева чистого помещения;

– возможности охлаждения чистого помещения;

– уровням шумов;

– уровням освещения;

– уровням вибрации.

Указанные дополнительные требования подробно не рассматриваются, так как необходимость в проведении измерений этих величин скорее может возникнуть в помещениях с кондиционированием воздуха, а не в чистых помещениях.

1.5.7 Зависимость измерений от типа чистого помещения

Выбор испытаний, проводимых в чистом помещении, зависит от вида примененного в нем воздушного потока: однонаправленного, турбулентного или смешанного (в последнем случае подразумевается турбулентно вентилируемое чистое помещение, в котором имеются ламинарные шкафы, рабочие места или изоляторы с однонаправленным воздушным потоком). Измерения могут проводиться в различных функциональных состояниях чистого помещения: в «построенном» состоянии, т.е, в еще пустом помещении; в «оснащенном» состоянии, когда технологическое оборудование смонтировано, но персонал отсутствует, и в «функционирующем» состоянии.

1.6 Периодичность измерений

На протяжении всего периода эксплуатации чистого помещения его рабочие параметры необходимо поддерживать на заданном уровне и контролировать соответствие помещения его классу чистоты.

Из таблицы 2 видно, что испытания чистого помещения надо проводить регулярно, причем в чистых помещениях более высокого класса измерения должны проводиться чаще.

ГОСТ ИСО 14644–2 задает максимальный период времени, в течение которого разрешена эксплуатация чистого помещения до проведения

следующих испытаний на соответствие его классу чистоты по ГОСТу ИСО 14644–1.

Величины этих максимальных интервалов приводятся в таблице 2 вместе с соответствующими типами испытаний.

Таблица 2 Периодичность испытаний чистого помещения на соответствие его классу

Контролируемые параметр	Класс чистоты	Максимальный период времени
Соответствие по концентрации частиц	≤ Класс 5 ИСО	6 месяцев
	> Класс 5 ИСО	12 месяцев
Дополнительные испытания		
Скорость воздуха или объемный расход	все классы	12 месяцев
Перепад давления воздуха	все классы	12 месяцев
Необязательные испытания		
Контроль течей установленных фильтров	все классы	24 месяца
Контроль движения воздуха внутри чистого помещения	все классы	24 месяца
Восстановление характеристик после кратко временного загрязнения	все классы	24 месяца
Контроль течей через ограждающие конструкции	все классы	24 месяца

Единственным обязательным измерением, которое надо проводить с целью подтверждения соответствия чистого помещения стандарту ИСО 14644–1, является контроль концентрации частиц. Максимальный период времени

между такими измерениями составляет 6 месяцев для чистых помещений пятого и более высоких классов чистоты по стандарту ИСО и 12 месяцев для чистых помещений более низких классов. Измерения концентрации частиц обычно проводятся в «оснащенном» состоянии чистого помещения, но могут быть проведены и в эксплуатируемом состоянии. Если в чистом помещении установлена система постоянного или периодического мониторинга концентрации частиц и перепада давления воздуха, то стандарт ИСО 14644–2 допускает увеличение интервалов между испытаниями.

В случае необходимости, определяемой спецификой проводимых в чистом помещении операций, для подтверждения соответствия классу чистоты возможно проведение так называемых «дополнительных» испытаний. Это измерения объемного расхода или линейной скорости воздуха, а также перепада давления. Максимально допустимый интервал между измерениями в этом случае составляет 12 месяцев, хотя при использовании постоянного или периодического мониторинга он может быть увеличен.

Стандарт ИСО 14644–2 также допускает проведение «необязательных» испытаний. Для таких измерений установлен максимальный период в 24 месяца. В результате таких испытаний требуется подтвердить:

– правильность установки фильтров;

– правильность движения воздуха в пределах чистого помещения;

– эффективность удаления загрязнений по результатам теста на восстановление характеристик ЧП после кратковременного загрязнения;

– правильность направления движения воздуха в комплексе чистых помещений (от чистого участка к менее чистому).

1.7 Мониторинг чистых помещений

Периодичность и типы испытаний, проводимых с целью подтверждения соответствия чистого помещения требованиям стандарта ИСО 14644–1, задаются стандартом ИСО 14644–2. В чистых, помещениях высокого класса,

где уровень чистоты – основной показатель жизнеспособности технологического процесса, могут понадобиться дополнительные измерения или мониторинг. Их результаты должны подтверждать, что в процессе производства в чистом помещении поддерживаются требуемые параметры чистоты и что они находятся под контролем. Стандарт ИСО 14644–2 предусматривает, что пользователь должен принимать решение о целесообразности мониторинга и периодичности измерений на базе оценки степени риска.

Наиболее часто для мониторинга выбираются следующие параметры:

– перепад давления;

– концентрация аэрозольных частиц;

– концентрация частиц–носителей микроорганизмов.

Перепад давления воздуха можно непрерывно измерять и регистрировать измерительными приборами. Эта мера может понадобиться в чистых помещениях высокого класса чистоты – класса 4 ИСО и более чистых. Если мониторинг проводится в чистом помещении более низкого класса, то периодичность измерений может быть равна суткам, неделе, месяцу, трём или шести месяцам; с повышением класса чистоты эти интервалы могут уменьшаться.

2 Промышленная чистота

Промышленная чистота это характеристика условий изготовления и испытаний машин и механизмов, определяющая влияние загрязнений на их надёжность.

Меры по обеспечению промышленной чистоты (ПЧ):

– обоснование, установление норм ПЧ в ходе научно–исследовательских работ и разработки продукции;

– обеспечение технологичности продукции;

– принятие мер по снижению продукции к загрязнению;

– выбор и применение технологий производства, эксплуатации и ремонта изделий, производства работ и услуг для обеспечения установленного уровня ПЧ;

– оснащение процессов разработки, испытания средствами контроля ПЧ;

– разработка и применение чистых помещений и чистых зон;

– обеспечение соответствия уровня ПЧ технологических сред на стадиях жизненного цикла (производство, транспортирование, хранение, заправка, эксплуатация) установленным требованиям;

– контроль за выполнением норм и требований ПЧ, поддержание соответствующей технологической дисциплины на всех стадиях жизненного цикла продукции, технологических сред;

– организационно–экономические меры, обеспечивающие необходимую квалификацию, информированность, заинтересованность и ответственность кадров за выполнение норм и требований ПЧ.

Номенклатура требований к промышленной чистоте включает:

– требования к ПЧ технологических и рабочих сред, при этом рабочими средами могут быть смазки, топлива, адсорбенты, а технологическими средами могут быть вещества, применяемые для обеспечения технологических процессов изготовления;

– требования к чистоте производственных помещений;

– особые требования в части организационно–технического обеспечения изготовления, сборки и испытаний, например требования к созданию служб ПЧ, приобретению спецоборудования ПЧ, созданию чистых помещений и т.д.

При производстве продукции норму ПЧ устанавливают по этапам:

– норма ПЧ продукции;

– норма ПЧ в сборе до заправки технологической средой;

– норма ПЧ деталей и сборочных единиц на этапах производства;

– норма технологических сред на различных стадиях цикла;

– нормы ПЧ технологической зоны;

– нормы ПЧ технологического оборудования.

Виды норм промышленной чистоты:

1) классы чистоты рабочих и технологических жидких сред – по ГОСТ 17216–71, характеризующие гранулометрический (размерный) состав загрязнителя до количеству частиц в 100 мл жидкости;

2) массовая характеристика загрязнителя по количеству загрязнителя на единицу объема (мг/л, кг/м^3 и т.п.);

3) гранулометрический состав загрязнителя на единицу площади поверхности, определяемый как количество частиц загрязнителя, определяемых размеров, на единицу площади (например, 5 частиц размером 10 мкм на 1 м^2 площади поверхности);

4) минимально–допустимое количество частиц определенных размеров в данном объеме или на данной площади поверхности (например, 250 частиц размером 25 мкм в объеме 50 м^3);

5) химический состав загрязнителя (например, наличие частиц из алюминиевых сплавов не допускается или допускается в количестве не более 40 мг на полный объем емкости);

6) гранулометрический состав загрязнителя в единице объема воздуха производственной зоны (для чистых помещений);

7) качественный состав загрязнителя, выражаемый коэффициентом измельчения, т.е. отношение числа частиц размерной группы 5–10 мкм к числу

частиц размерной группы 10 – 25 мкм.

Нормирование ПЧ включает в себя:

– систематизацию и классификацию загрязнителей для установления единства и совместимости норм ПЧ, методов их обеспечения и контроля;

– определение факторов, обусловливающих уровень и характер загрязнения продукции, уровень технологии производства, обслуживания и ремонта, для ориентации нормы ПЧ на более рациональные технические решения;

– определение влияния загрязнения на параметры, надежность и экономичность КА;

– разработку, обоснование и внедрение норм ПЧ.

При этом должны быть обеспечены:

– сквозное (во всем комплексе нормативной, организационной и технической документации) задание требований и норм ПЧ на всех этапах создания, производства и эксплуатации КА;

– своевременное и комплексное принятие мер по технологической подготовке производства и эксплуатации КА;

– определение необходимого уровня ПЧ комплектующих продукции, технологических сред для обеспечения требуемой надежности КА.

В технические условия на КА вносится раздел с требованиями по обеспечению ПЧ с указанием норм со следующими подразделами:

– требования к условиям производства в отношении его организационно–технического обеспечения (категория чистоты помещения, устанавливаемая стандартами предприятия, требования к испытательному (стендовому) оборудованию и средств технологической оснастки, оргоснастке);

– перечень тупиковых и застойных зон с концентраторами загрязнителей, под которыми понимаются полости (поверхности) без проточных каналов, труднодоступные для удаления загрязнителя;

– требования по защите и контролю концентраторов загрязнителей;

– перечень составных частей КА, к которым предъявляются требования по остаточной намагниченности с указанием её уровня;

– требования к ПЧ комплектующих изделий.

Требования к чистоте, установленные в технический условиях на проектируемые и изготавливаемые КА должны быть не ниже требований действующих стандартов, распространяющихся на данную продукцию.

В технических заданиях на разработку комплектующих изделий, а также в других документах, в той или иной мере регламентирующих требования к ним, также указываются требования к ПЧ с указанием конкретных норм и состояния поставки в т.ч. поставки габаритных макетов для использования при отработке ТП, сборке и т.п.

3 Этапы наземной эксплуатации космического аппарата. Требования к окружающим условиям

3.1 Этапы функционирования космического аппарата

Процесс эксплуатации космического аппарата (КА) имеет следующую последовательность этапов во времени: наземную, выведение на целевую орбиту, ввод в штатную эксплуатацию, штатную эксплуатацию по целевому назначению, выведение из целевого использования с различными для каждого из этапов окружающими условиями (факторами эксплуатации).

Этап наземной эксплуатации КА включает в себя: хранение КА после изготовления, его транспортирование на космодром, автономную подготовку к запуску и подготовку в составе средств выведения. На этом этапе проводятся зарядка аккумуляторных батарей и заправка рабочим телом двигательной установки.

Этап выведения КА на целевую орбиту начинается на стартовом комплексе после завершения всех подготовительных операций перед его запуском. На участке выведения вся аппаратура и приборы выключены и обесточены, тепловой режим КА поддерживается организацией пространственных разворотов разгонного блока на участке выведения. Этап характеризуется наличием значительных механических нагрузок, большой динамикой изменения параметров атмосферы Земли, наличием воздействия на КА набегающего атмосферного потока после сброса головного обтекателя РКН. Этап завершается формированием команды на его отделение.

Этап ввода КА в штатную эксплуатацию начинается после завершения процесса механического отделения КА от разгонного блока и реализуется в виде определенной последовательности операций, выполняемых с помощью часовых механизмов.

Этап вывода из целевого использования КА осуществляется при возникновении аварийных ситуаций, приводящих к кратковременному

нарушению целевого функционирования КА, а также после необратимых отказов, исключающих возможность целевого применения КА.

Работоспособность КА на различных этапах функционирования подтверждается расчетами (на этапе проектирования), наземными испытаниями КА и его составных частей (макетов и штатных образцов) в термобарокамерах, акустических камерах, на вибростендах, в ускорителях заряженных частиц, летными испытаниями КА на орбите.

3.2 Климатические условия

Климатические условия окружающей среды при наземной эксплуатации зависят от состояния атмосферы Земли и места нахождения КА в процессе его эксплуатации: вне или внутри помещения, в упаковке при хранении или транспортировании и т.д.

Земная атмосфера простирается на расстояния до нескольких сотен километров от поверхности Земли вплоть до нечетко выраженной границы космического пространства и характеризуются следующими параметрами: состав газовой среды, давление, температура, влажность, чистота.

На основе анализа климатических условий на территории нашей страны в зонах возможного нахождения КА (завод–изготовитель КА, космодром, маршруты транспортирования) для наземного этапа существования спутника сформулированы следующие граничные значения физических свойств окружающей его атмосферы: химический состав, процентное содержание по объему (весу): азота 78,09(75,51) %, кислорода 20,95 (23,15) %; давление (95,4…103,3) кПа; температура ±50 °С; относительная влажность до 100 % при наличии осадков в жидкой или твердой фазе.

При транспортировании КА на космодром самолетом в негерметичной кабине давление окружающей воздушной среды принимается равным атмосферному давлению для максимальной высоты полета (20,0 кПа) при температуре окружающего воздуха ±50 °С.

3.3 Этап изготовления космического аппарата

На этапе изготовления КА поддерживаются заданные в эксплуатационной документации климатические параметры: температура, влажность, чистота.

Изготовление КА информационного обеспечения осуществляется в помещениях, удовлетворяющих требованиям по чистоте класса Р8, при температуре от 15°С до 35°С и относительной влажности воздуха от 40% до 80% в зависимости от приборной комплектации КА. Нижняя граница по влажности ограничена появлением статического электричества, верхняя граница – сохранностью характеристик конструктивных элементов из углепластика. Для оптических приборов допустимый диапазон по влажности от 45 % до 65 %. Чтобы исключить выпадение росы, вводится ограничение на резкие изменения перепадов температур – не более 5…10°С за сутки.

Для обеспечения этих условий в помещениях организуются чистые технологические зоны, в которых организуется наддув воздуха от 5 до 20 Па с помощью приточной вентиляции с последующим его обогревом (охлаждением) и как минимум с двойной очисткой.

Составные части и КА в целом после сборки в чистой технологической зоне контролируются на соответствие требованиям по отсутствию любых частиц и неиспаряющегося остатка на поверхности материала, видимых нормальным невооруженным глазом.

Персонал, работающий в чистой технологической зоне, обеспечивается технологической одеждой и документацией, оформленной на непылящей бумаге. Технологическая одежда защищает чистые помещения от загрязнений, выделяемых персоналом и их одеждой. В комплект технологической одежды входят: куртка, брюки, халат, сменная обувь, бахилы, шапочка, перчатки, маска. Перчатки и маска используются при необходимости.

Контроль чистоты помещения осуществляется с периодичностью не реже 4 часа. Уборка помещения проводится не менее двух раз в смену с использованием пылесоса. По окончании работ поверхность КА или его

составных частей чистится, а затем хранится в зачехленном состоянии.

3.4 Этап хранения

В хранилищах КА находится в упаковке при температуре воздуха в пределах 5–35°С и относительной влажности до 80 %. Время хранения может доходить до 3–5 лет, поэтому периодически (1 раз в 1–2 года) проводится контроль состояния КА: внешний осмотр, электрические проверки и т. д.

Доставка на космодром осуществляется после принятия решения о запуске КА и проведения электрических испытаний. Для доставки используется автомобильный транспорт (до железнодорожного вокзала или аэропорта) с ограничением скорости и дальности транспортирования, далее железнодорожный или воздушный транспорт без ограничений скорости и дальности, затем опять автомобильный транспорт.

Для снижения неблагоприятного воздействия климатических факторов в процессе транспортирования КА помещается в специальную пылевлагонепроницаемую упаковку, обеспечивающую необходимые условия: : температура от минус 50°С до плюс 50°С, относительная влажность не более 80%. В настоящее время используется упаковка, в которой создается более узкий диапазон температур от плюс 5°С до плюс 35°С и влажности не более 60%.

Необходимый уровень влажности на этапе транспортирования КА поддерживается за счет использования осушителей и введения задержки при вскрытии упаковки для выравнивания внешних и внутренних температур.

На космодроме КА проходит полный цикл подготовки к запуску: автономно и в составе средств выведения. Объем и время подготовки КА к запуску минимизируется. Основная задача проверок КА – подтверждение сохранности характеристик после транспортирования и хранения.

В процессе транспортирования КА в пределах космодрома, в том числе в составе средств выведения, а также на стартовом комплексе в составе ракеты

космического назначения (РКН) обеспечивается поддержание аналогичных цеховым климатических условий с помощью специальных средств его нагрева или охлаждения (воздушные и жидкостные системы). В том числе обеспечиваются требования по влажности и чистоте окружающей КА среды.

3.5 Общие требования по эксплуатации

На всех этапах изготовления и наземной эксплуатации бортовой аппаратуры и систем КА, а также их КПА, в помещениях должна обеспечиваться окружающая КА среда со следующими условиями:

– температура от плюс 15°С до плюс 35°С;

– влажность не более 80%;

– давление от 945 до 1070 гПа (710 – 805 мм рт.ст.);

– освещенность на рабочих местах не менее 400 Лк на уровне 0,8 м от поверхности пола;

– класс чистоты: 8 ИСО; эксплуатируемое состояние; размеры частиц 0,5 мкм (3520000 частиц/м^3) по ГОСТ ИСО 14644–1–2002.

Транспортирование бортовой аппаратуры и систем КА, а также их КПА, должно осуществляться в упаковке, обеспечивающей требования по чистоте: класс чистоты: 8 ИСО; размеры частиц 0,5 мкм (3520000 частиц/м^3).

При наземной эксплуатации, конструкция КА должна осуществляться перевозкой железнодорожным, воздушным и автомобильным транспортом в соответствии с требованиями ОТТ 11.1.4–88 ч.1. КА и его составные части должны быть транспортабельными и допускать транспортирование без повреждений и нарушений технических характеристик:

– воздушным транспортом (самолетами типа ИЛ–76) в негерметизированных отсеках без ограничения расстояния, высоты и скорости;

– железнодорожным транспортом в спецконтейнерах (в комфортных условиях по вибрациям) на открытых транспортерах типа 11Т710 без ограничения расстояния со скоростями;

– автомобильным транспортом на расстояние до 1000 км со скоростью до 40 км/ч по шоссе и до 20 км/ч по грунтовым дорогам.

Транспортирование КА осуществляется в транспортировочном контейнере, обеспечивающем следующие условия внутренней среды:

– температура от плюс 5°С до плюс 35°С;

– относительная влажность не более 80%;

– избыточное давление от 0,40 до 1,7 кПа (0,0004 – 0,017 кгс/см^2);

– класс чистоты: 8 ИСО; эксплуатируемое состояние; размеры частиц 0,5 мкм (3520000 частиц/м^3) по ГОСТ ИСО 14644–1–2002.

При этом параметры окружающей среды транспортировочного контейнера с КА могут составлять:

– температура от минус 50°С до плюс 50°С;

– относительная влажность в течение транспортирования до 100% при наличии осадков в твердой или жидкой фазах.

Должна обеспечиваться регистрация температуры и влажности внутри контейнера, а также механических воздействий на КА при транспортировании, как авиационным, железнодорожным, так и автомобильным транспортом.

Транспортирование контейнера с КА в пределах космодрома производится в специальном ж/д агрегате.

Транспортирование КА в составе РКН ограничено по скорости (до 5 км/ч) и расстоянию (до 80 км). При этом КА находится в составе блока в горизонтальном положении.

4 Источники загрязнений при работе с космическим аппаратом

4.1 Одежда для чистых помещений

Персонал в чистых помещениях является источником большого количества загрязнений. Для того чтобы ограничить распространение частиц и микробиологических загрязнений, выделяемых людьми, во всех чистых помещениях носят особую одежду.

Персонал может выделять частицы:

– с кожи;

– с одежды, которую носят под одеждой для чистого помещения;

– непосредственно с одежды для чистых помещений;

– через рот и нос.

Распространение частиц осуществляется через следующие части одежды:

– ткань;

– неплотности в застежках на шее, лодыжках и запястьях;

– повреждения ткани (дырки и разрывы).

В тех случаях, когда в чистом помещении используются халаты любых конструкций, защитного барьера между ногами оператора и нижним краем халата нет, и загрязнения свободно распространяются из пододежного пространства.

Промышленность чистых помещений уделяет особенное внимание минимизации числа частиц, выделяемых одеждой, то есть использованию тканей с ограниченным отделением частиц и требованиям к чистоте одежды. Например, натуральные хлопчатобумажные ткани действительно выделяют недопустимо большое количество частиц, поэтому они никогда не используются (и никогда не должны использоваться) в чистых помещениях.

Одежда для чистых помещений производится из тканей, изготавливаемых из синтетических нитей, таких как полиэфирные или нейлоновые. При использовании одежды из этих тканей в чистых помещениях они редко рвутся

и, как установлено, их доля в общем количестве частиц, выделяемых персоналом, не более 5%, а основное количество частиц выделяется кожным покровом персонала или нижней одеждой.

4.2 Источники и пути распространения инертных частиц

Количество выделяемых частиц различно у различных людей: чем выше их активность, тем больше частиц они выделяют. Выделение частиц зависит от типа одежды и может быть от 10^6 до 10^7 частиц мкм за минуту для частиц размером > 0,5 мкм, т.е. достигать 10^{10} мкм частиц в день.

Кожа

С поверхности кожи человека в день отделяется приблизительно 10^9 кожных чешуек. Их размеры составляют примерно 33х44 мкм, и они находятся в чистом помещении либо целыми, либо в виде фрагментов

Одежда, надеваемая под одежду для чистых помещений

Та одежда, которую носят под одеждой для чистых помещений, оказывает большое влияние на количество распространяемых инертных частиц. Если нижняя одежда сделана из натуральных материалов (например, хлопчатобумажные блуза и джинсы или шерстяная одежда), то она является источником большого количества частиц. Причина заключается в том, что натуральные материалы состоят из коротких, легко разрушающихся волокон.

Рот и нос

Рот или нос человека могут являться источником частиц. Когда люди кашляют, чихают или разговаривают, они выделяют частицы. При «шмыгании» носом тоже выделяются частицы.

Ткань спецодежды

Хотя ткани, подобные представленной на рисунке 5, при повреждении выделяют мало частиц, они слабо препятствуют прохождению через них частиц. Поры на местах перекрещивания нитей в такой ткани имеют размеры от 80 мкм до 100 мкм. Это объясняется использованием монофиламентов

относительно большого диаметра и тем, что плетение ткани недостаточно плотное. Поэтому частицы, отделяемые от кожи или нижней одежды, легко проходят через такие отверстия. Таким образом, ткани такого типа нежелательно использовать для одежды чистых помещений. Ткань для использования в чистых помещениях должна быть изготовлена таким образом, чтобы она могла предотвращать проникновение частиц сквозь неё.

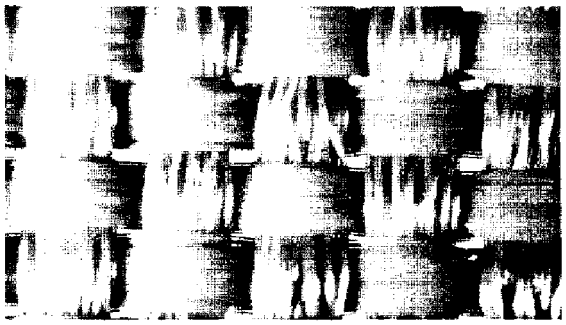


Рисунок 5 – Ткань, мало пригодная для изготовления одежды для чистых помещений, с большими порами между нитями (эквивалентный диаметр примерно 80 – 100 мкм)

4.3 Особенности одежды для чистых помещений

4.3.1 Типы одежды для чистых помещений

Наиболее эффективной для чистых помещений является одежда, которая полностью закрывает оператора. Такая одежда должна быть изготовлена из ткани, обладающей свойством эффективной фильтрации, и должна иметь надежные застежки на манжетах рукавов, воротнике и брюках. Однако одежда такого типа часто оказывается менее удобной и более дорогой.

Выбор одежды зависит от того, что производят в чистом помещении. Более низкий класс чистоты помещения допускает использование шапочки, халата (блузона), застегивающегося застежкой–молнией, и бахил указано на рисунке 6.

Для чистого помещения более высокого класса типичны комбинезон с застежкой–молнией, бахилы до колен и шлем, заправленный под воротник одежды рассмотрено на рисунке 7. Весь спектр существующих моделей для чистых помещений базируется на этих двух основных типах одежды.

Некоторые из лучших образцов одежды для чистых помещений могут стоить в 10 раз дороже, чем большая часть одежды аналогичного назначения. Однако покупка более дорогой, но качественной одежды для чистых помещений может оказаться более выгодной.

Рисунок 6 – Одежда для чистых помещений более низкого класса чистоты

4.3.2 Ткани для чистых помещений

Тип ткани – важный фактор при выборе одежды для чистых помещений. Ткани, из которых она изготавливается, должны быть устойчивыми к повреждениям и обладать минимальным ворсоотделением. Более важное свойство такой ткани – ее способность отфильтровывать загрязнения, генерируемые кожей и нижней одеждой. Эффективность ткани может оцениваться ее воздухопроницаемостью, способностью задерживать частицы и размерами пор.

Рисунок 7– Одежда для чистых помещений более высокого класса чистоты

Самый распространенный тип одежды изготавливается из синтетических тканей, из которых самые типичные – это полиэфирные. Этот тип одежды используется, затем обрабатывается в прачечной для чистых помещений и снова передается для использования. На рисунке 8 показана ткань для одежды чистых помещений, сделанная из более тонких полиэфирных монофиламентов и более плотно сотканная.

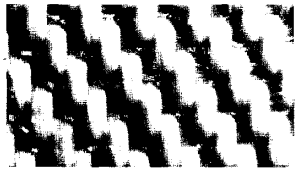


Рисунок 8 – Типичная структура ткани для чистых помещений используется в чистых помещениях

Перемещение человека вызывает повышение давления воздуха под тканью одежды: чем более плотная ткань, тем выше давление.

Это приводит к тому, что нефильтрованный воздух выталкивается наружу через застежки в одежде. Это значит, что застежки на воротнике, манжетах рукавов и в нижней части брюк должны быть надежными.

Количество естественных отверстий, а также дырок и разрывов на одежде должно быть минимальным. Если за этим не следить, то загрязнения от нижней одежды и кожи будут «вытекать» наружу через неплотности. Следовательно, одежду надо осматривать перед тем, как ее надевать.

В чистом помещении запрещается использовать любую одежду с повреждениями.

4.3.3 Особенности дизайна одежды

Для того, чтобы обеспечить хороший дизайн одежды для чистых помещений, рекомендуются следующие меры:

– чтобы предотвратить осыпание (пыление), срезы тканей должны быть закрыты или обметаны, либо заправлены;

– чтобы загрязнения были минимальными, срезанные края ткани следует закрыть в швах. Эти швы должны задерживать выход частиц в местах прокола иглой;

– для уменьшения загрязнения швейные нитки должны быть изготовлены из непрерывных синтетических нитей;

– чтобы свести к минимуму пыление, молнии, застежки и подошвы не должны крошиться, ломаться; они должны выдерживать многократную очистку;

– чтобы предотвратить скопление грязи, на одежде не должно быть карманов, складок, швов, острых застежек или застежек с крючками и ворсом;

– чтобы загрязнения были минимальными, манжеты должны быть выполнены с эластичной лентой.

4.3.4 Выбор одежды

Для работы в чистых помещениях могут применяться самые различные типы одежды. Информация о типах одежды, которая может быть использована

в чистых помещениях разных классов, изложена в рекомендациях IEST–RP–CC–003.2.

В таблице 3 даны предложения по комплектности одежды для чистых помещений разных классов.

Таблица 3 – Комплекты одежды для чистых помещений различных классов чистоты

Вид одежды	Класс 7 и 8 (класс 100000 и 10000)	Класс 6 (класс 1000)	Класс 5 (класс 100)	Класс 4 и 3 (класс 10 и 1)
Халат	р	с	С (НР*)	НР
Костюм из 2 предметов	с	с	с	С
Комбинезон	с	р	р	р
Бахилы	р	с	С (НР*)	НР
Обувь	с	р	р	р
Специальная обувь	с	с	с	с
Шапочка для волос	р	р	р	р
Шлем	с	с	р	р
Лицевая маска	с	с	р	р
Шлем с отсосом	с	с	с	с
Тканые перчатки	с	с	с	НР
Барьерные перчатки	с	с	с	р
Нижняя одежда	с	с	с	р
Р— рекомендуется, С – применение в специальных случаях, НР — не рекомендуется, (НР*) — не рекомендуется в неоднонаправленном воздушном потоке.				

4.3.5 Обработка одежды для чистых помещений

В процессе использования одежда загрязняется и должна заменяться свежей. Если используется одноразовая одежда, она просто выбрасывается, хотя некоторые ее типы можно несколько раз обработать.

Если это одежда многоразового пользования, ее обычно очищают в «чистой» прачечной.

В чистой прачечной можно проводить и другие операции, например, антистатическую обработку, дезинфекцию или стерилизацию одежды.

4.3.6 Хранение одежды

Для поддержания уровня чистоты многоразовой одежды следует организовать ее правильное хранение или размещение.

При хранении может потребоваться физическое разделение различных элементов одежды.

Для предотвращения перекрестных загрязнений могут использоваться одноразовые или многоразовые пакеты, допускающие обработку.

Для хранения могут использоваться:

– закрытые шкафы с вешалками для одежды;

– стационарные или портативные вешалки с использованием плечиков;

– крючки (с защелками или без них) на стенах или специальных рамах в комнатах переодевания персонала в одежду для чистых помещений. Они могут быть расположены в шкафах или в помещениях;

– контейнеры или люки для одежды.

Площадь помещения для хранения одежды персонала, работающего в чистых помещениях, зависит от его численности и периодичности замены одежды.

4.4 Чистота транспортировочных средств

Транспортирование КА и его комплектующих элементов с завода–изготовителя на космодром может производиться следующими видами транспорта при температуре воздуха от минус 50°С до плюс 50°С и относительной влажности в течение транспортирования до 100% при наличии осадков в твердой или жидкой фазах:

– авиационным, в негерметичной кабине без ограничения расстояния, скорости и высоты полета;

– автомобильным – на специальном грузовом транспортном агрегате;

– железнодорожным – в транспортировочном контейнере;

При транспортировании КА в транспортировочном контейнере обеспечиваются следующие параметры внутренней среды:

– температура воздуха от плюс 5°С до плюс 35°С;

– относительная влажность не более 55% при температуре плюс 20°С;

– избыточное давление от 40 гПа до 196 гПа (30 – 147 мм рт.ст.);

– чистота воздуха: класс 8 ИСО.

Порядок проведения работ при транспортировании КА

При необходимости, проводится очистка от грязи вся наружная поверхность автомобиля с полуприцепом, помывка водой, продувание сжатым воздухом.

Проводится контроль чистоты наружной поверхности полуприцепа на наличие видимого загрязнения (грязи, снега).

Проводится предварительная очистка всей наружной поверхности контейнера.

По окончании очистки проводится контроль чистоты наружной поверхности контейнера.

Перед вскрытием контейнера, при необходимости, проводится окончательная очистка наружной поверхности контейнера.

По окончании очистки проводится контроль чистоты наружной поверхности контейнера.

4.5 Упаковочные материалы

Упаковка предметов, производимых для чистых помещений, должна не только защищать их от повреждений, но также сводить к минимуму возможные загрязнения.

Если какой–либо предмет поместить в картонную коробку и доставить его в чистое помещение, то снаружи он окажется загрязненным древесными волокнами. Даже если предмет перед тем, как положить в картонную коробку, поместили в чистый пластиковый пакет, а уже пакет – в картонную коробку, то древесные волокна останутся на наружной поверхности пакета. В дальнейшем будет очень трудно открыть пакет так, чтобы волокна не попали на само изделие. Эту проблему можно решить, если упаковка изготовлена их чистых материалов и многослойна.

Для упаковки чаше всего используют полимерные материалы – либо в виде пленки, либо в виде заготовки определенной формы. Полимерная упаковка генерирует меньше загрязнений в виде частиц, волокон и химических соединений по сравнению со многими другими материалами. Но это еще не означает, что полимерные материалы вообще не генерируют загрязнения. Количество загрязнений будет зависеть от типа используемого пластика, а также от способа его производства и тары, поэтому пригодность пластика для чистых помещений следует проверять.

Некоторые пластики склонны к накоплению электростатического заряда, представляющего опасность для продукции. Существуют пластики, рассеивающие электростатический заряд. Это является дополнительным преимуществом, поскольку снижается вероятность притяжения к пластику частиц и, следовательно, он будет чище. Некоторые упаковочные материалы из пластика, например, поливинилхлоридные (ПВХ), не рекомендуется применять,

если проблемой для чистого помещения является выделение летучих соединений.

Если упаковка используемого в чистом помещении предмета состоит из нескольких слоев, то потом можно удалять упаковку послойно по мере продвижения этого объекта к чистому помещению. Это дает гарантию того, что компоненты будут поступать в чистое помещение незагрязненными. Очистка пылесосом и влажная протирка упаковки – весьма полезный метод, особенно на первых этапах продвижения предмета к чистому помещению.

Особенности требований к чистоте упаковки КА, проведение мероприятий:

– очистка всей наружной поверхности упаковок (ящиков);
– контроль чистоты наружной поверхности упаковок;
– обезжиривание наружной поверхности контейнера;
– очистка наружной поверхности контейнера;
– контроль чистоты наружной поверхности контейнера;
– очистка внутренней поверхностей контейнера;
– контроль чистоты внутренней поверхности контейнера;
– проведение очистки всей поверхности блока хранения;
– проведение мониторинга воздушной среды в течение всего времени подготовки изделия, до стыковки головного обтекателя (ГО).

5 Чистые зоны на космодроме и в процессе подготовки космического аппарата к выведению на орбиту

5.1 Общие сведения о промышленной чистоте на космодроме

Космодро́м — территория, на которой размещается комплекс сооружений, предназначенный для запуска космических аппаратов в космос.

Космодромы занимают большую площадь и находятся на удалении от густонаселенных мест, чтобы отделяющиеся в процессе полета ступени не навредили жилым территориям или соседним стартовым площадкам.

Требования по обеспечению чистоты, которым должны удовлетворять зоны при подготовке и перемещении КА установлены техническим заданием:

– температура в интервале 15 – 35°С;

– влажность в диапазоне 35 – 60%;

– класс чистоты ИСО 8.

Проектирование чистого помещения проводится с учетом его назначения и функциональных свойств. И в первую очередь, необходимо представить физические характеристики загрязнений, которые являются объектом очистки и их размеры.

Размещение чистого помещения на площадке выполнено в условиях действующего производства и проведения работ с другими объектами.

5.2 Наземная эксплуатация космического аппарата

Наземная эксплуатация служит для поддержания КА в работоспособном состоянии для его нормального функционирования на орбите по целевому назначению.

Наземная эксплуатация – это совокупность работ, проводимых с КА после его изготовления и подготовке КА на космодроме, и включает

следующие этапы:

– хранение;

– транспортирование;

– подготовку КА на космодроме к запуску.

Подготовка КА на космодроме – это этап, обеспечивающий заправку двигательных установок компонентами топлива, окончательную сборку космического аппарата, проведение заключительных операций и оценки готовности КА к запуску.

Модель эксплуатации КА не предполагает длительного хранения до запуска. КА могут храниться до 2–х лет с учетом доставки на космодром и подготовки к запуску.

Хранение КА будет осуществляться на подставке под чехлом в специально отведенном помещении.

Условия хранения КА:

– температура воздуха от плюс 5°С до плюс 35°С;

– относительная влажность воздуха до 60%;

– давление от 900 до 1100 гПа (675–825 мм рт.ст.);

– чистота воздуха в соответствии с ГОСТ ИСО 14644 – 1– 2002: класс 8 ИСО.

Для обеспечения требуемых условий хранения будут предусмотрены:

– плановые уборки помещений, поверки измерительной аппаратуры;

– периодический контроль температуры и относительной влажности воздуха в помещении для хранения КА;

– периодический контроль чистоты в помещении для хранения КА;

– периодический визуальный контроль отдельно хранящихся составных частей КА.

Периодичность указанных выше мероприятий будет определена в документации.

Для поддержания работоспособности КА, а также сохранности технических и эксплуатационных характеристик, будет проводиться техническое обслуживание КА.

Техническое обслуживание КА будет проводиться в помещениях, отвечающим следующим требованиям:

– температура воздуха от плюс 15°С до плюс 35°С;

– относительная влажность до 60% при температуре плюс 20° С;

– атмосферное давление от 900 до 1100 гПа (675–825 мм рт.ст.);

– чистота воздуха в соответствии с ГОСТ ИСО 14644 – 1 – 2002: класс 8 ИСО.

Контроль параметров, указанных выше, будет проводиться ежедневно в соответствии с требованиями документации.

После окончания хранения будет проводиться подготовка КА к отправке на космодром.

Подготовка КА будет проводиться в помещениях, отвечающих следующим требованиям:

– температура воздуха от плюс 15°С до плюс 35°С;

– относительная влажность до 60% при температуре плюс 20° С;

– атмосферное давление от 900 до 1100 гПа (675–825 мм рт.ст.);

– чистота воздуха в соответствии с ГОСТ ИСО 14644 – 1 – 2002: класс 8 ИСО.

5.3 Особенности и требования для подготовки космического аппарата и его составных частей

Высокая степень чистоты воздушной среды в ЧП обеспечивается выполнением требований к их конструкции на стадии проектирования, "чистого" монтажа и соблюдения условий эксплуатации. Ограждающие конструкции (стены, перегородки, потолок, пол) должны отвечать следующим требованиям:

– обладать теплоизолирующими свойствами, если требуется обеспечение стабильности температуры и влажности;

– поверхности ограждающих конструкций должны быть ровными, гладкими, без выступов и углублений;

– стыки элементов и конструкций перегородок, чистого потолка должны быть герметичными;

– места примыкания стен к потолку и полу должны быть скругленными (наличие радиуса в месте примыкания стен к потолку не столько повышает чистоту воздуха, сколько требует затраты на них).

– полы должны иметь монолитное, полимерное, наливное покрытие из износостойких антистатических материалов, быть удобными для проведения уборки и удаления загрязнений различными способами;

– разводку технологических трубопроводов, систем обеспечения технологического процесса.

Специфика ЧП предъявляет жесткие требования не только к конструкциям, но и, что следует особенно подчеркнуть, к материалам, из которых они изготовлены. Данные материалы должны обладать следующими свойствами:

– не должны образовывать зазоры и трещины, которые могут быть источником пыли;

– быть долговечными и стойкими к периодическим тепловым воздействиям;

– обладать влагостойкостью и влагонепроницаемостью;

– не создавать статических зарядов;

– загрязнения должны легко удаляться с поверхности;

– должны легко поддаваться обработке;

– материалы должны легко поддаваться замене и ремонту;

– иметь равномерно–распределенные характеристики;

– должны быть грибостойкими;

– не должны выделять токсических веществ;

– быть разрешенными к применению Минздравом РФ;

При проектировании ЧП для проведения подготовительных работ следует учитывать существенные особенности, значительно отличающихся от стандартных требований:

– работы с КА проводятся в больших помещениях, высотой до 26 м;

– необходимость наличия в ЧП громоздкого технологического оборудования (стед–кантователь, площадки обслуживания и прочее оборудование не отвечающее требованиям размещения в ЧП);

– большие габариты вносимых контейнеров и изделий, требующих предварительной очистки от загрязнений перед внесением в ЧП;

– частое транспортирование и перемещение объектов в ЧП и из него, что влечет раскрытие ЧП и сообщение его пространства с общим залом, как следствие – значительное увеличение привносимых загрязнений, что приведет к соответствующим выдержкам при проведении технологических операций с КА;

– работа в зоне ЧП мостовых кранов, используемых для подъема КА в процессе сборки.

5.4 Концепция по поддержанию чистоты в чистых помещениях на космодроме

1. Не вносить загрязнений (контроль условий введения в ЧП персонала и предметов):

– внутри помещения должно быть избыточное давление;

– рабочему персоналу допускается входить в помещение только после переодевания и прохождения тамбур–шлюза;

– материалы, оборудование и приборы допускается вносит в помещение после их очистки;

2. Не выделять загрязнений (контроль применяемых материалов, гтов и ограничение перемещений):

– персонал должен находиться в специальной, непылящей одежде;

– при конструкции ЧП не использовать пылящих материалы;

– устранить ненужные движения (перемещения) персонала, изделий и оборудования;

– запрещается ввоз посторонних предметов;

3. Не накапливать загрязнений:

– ограждающие конструкции (стены и потолок) должны иметь герметизацию стыковых соединений;

– не создавать ЧП и оборудование, трудно поддающееся очистки от пыли;

– в помещении довести до минимума открытые трубопроводы и другие технологические системы;

4. Удалять загрязнения**:**

– создать необходимую систему воздухообмена для удаления, возникающих загрязнении;

– рецикл воздуха располагать в местах расположения пылеотделяющих изделий;

– создать поток воздуха, устраняющий налипание загрязнений к изделиям и другим предметам.

– выполнять очистку ЧП от загрязнений, согласно технологической инструкции по поддержанию чистоты в ЧП.

5.4.1 Источники загрязнений при работе с космическим аппаратом:

– железнодорожный вагон, платформы;

– контейнеры транспортные;

– операции по раскрытию, вышеуказанного оборудования;

– поверхность защитных пленок изделий;

– технологическое оборудование и оснастка (стенд – кантователь, мостовой, корсет, подставка и т.д.);

– гидравлические и пневматические приспособления для проверки проведения испытаний;

– инструмент ручной и механизированный;

– обслуживающий персонал.

5.4.2 Требования к технологическому оборудованию, инструменту и оснастке:

Технологическое оборудование, инструмент и оснастка, размещаемые в ЧП должны обладать и иметь:

– высокой стойкостью к коррозии и изготавливаться из материалов с низким поверхностным электрическим сопротивлением;

– обтекаемые формы и высококачественную отделку внутренних и наружных поверхностей;

– у движущегося оборудования оптимальные имеются кинематические характеристики;

– скорость поступательных и качательных движений оборудования и его частей, контактирующих с атмосферой рабочего объема ЧП, не должна превышать скорость воздушного потока в ЧП;

– внешние покрытия должны подбираться и оцениваться по следующим параметрам: цвет, светостойкость, вибростойкость, износостойкость, гладкость, химическая стойкость, твердость, коррозионная стойкость;

– как правило, в оборудовании должны использоваться химически нейтральные, пожаробезопасные, малоиспаряющиеся рабочие жидкости (масла, смазки, герметики и пр.);

– инструмент необходимо подвергать очистке от загрязнений путем промывки, протирки, обдува, вакуумирования в сроки предусмотренные технологическими инструкциями;

– покрытие изделий и материалы должны быть высокопрочными и не генерирующими пыли (анодирование, хромирование или химическое никелирование и т.д.);

Все приборы (оборудование, спецоснастка и т.д.) перед установкой в ЧП должны подвергаться очистке по специально разработанным технологиям:

– удаление масляно–жировых загрязнений;
– удаление водорастворимых загрязнений;
– отсасывание (вакуумирование) нерастворимых частиц;
– обдув очищенным сухим воздухом.

5.5 Условия подготовки и запуска космического аппарата

Унифицированное рабочее место подготовки КА размещено в «чистом» помещении и обеспечивает следующие условия эксплуатации:

– температуру от плюс 15° С до плюс 35°С;
– относительную влажность до 60% при температуре плюс 20° С;
– атмосферное давление от 900 до 1100 гПа;
– чистоту среды в соответствии с ГОСТ ИСО 14644–1–2002;
– класс 8 ИСО;
– освещенность на уровне 0,8 м от пола не менее 400 ЛК.

Оборудовано следующими системами, обеспечивающими необходимые условия для подготовки КА и эксплуатации оборудования:

– приточно–вытяжной вентиляции;
– кондиционирования воздуха;
– энергоснабжения;
– газоснабжения;
– противопожарной сигнализацией и системой пожаротушения;
– общим контуром заземления;

Чистота воздуха достигается за счет применения двухступенчатой системы очистки воздуха от механических примесей (предварительной и окончательной) с тонкостью фильтрации – 5мкм.

6 Анализ документации по поддержанию чистоты на всех этапах наземной эксплуатации космического аппарата

В техническом задании на создание КА присутствуют требования по обеспечению промышленной чистоты на всех этапах наземной эксплуатации КА. В обеспечение этих требований разработан стандарт предприятия изготовителя КА СТП154–162–2008, который распространяется на чистые помещения (чистые зоны), предназначенные для изготовления и испытаний КА.

Термин – чистое помещение: Помещение, в котором контролируется концентрация взвешенных в воздухе частиц, построенное и используемое так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц внутри помещения, и позволяющее, по мере необходимости, контролировать другие параметры, например, температуру, влажность и давление.

Термин – чистая зона совпадает понятием чистое помещение.

При этом, чистая зона может быть открытой или замкнутой и находится как внутри, так и вне чистого помещения.

Термин чистая технологическая зон*а*: Чистой технологической зоной (ЧТЗ) называется пространство, в котором находится чистое помещение (чистая зона), разработанное, оборудованное, поддерживаемое и контролируемое таким образом, что допустимая степень чистоты может быть обеспечена.

Стандарт СТП154–162–2008 устанавливает:

– требования к чистым технологическим зонам;
– классификацию чистых технологических зон;
– создание чистых технологических зон;
– организацию работ в чистой технологической зоне;
– контроль;
– состояние чистой технологической зоны.

6.1 Обеспечение требований по чистоте на предприятии изготовителе

На предприятии изготовителе КА созданы следующие чистые помещения:

– цех общей сборки КА;

– стапеля электрических испытаний КА;

– сборка крупногабаритных антенн;

– безэховые камеры;

– участок бортовых кабелей;

– комплексно–модулирующий стенд.

Изготовление и испытание космического аппарата учитывает требования к чистоте помещений в соответствии с требованиями СТП154–162–2008.

В СТП154–162–2008 представлена поэтапная система создания и эксплуатации чистых помещений, которая предусматривает периодические аттестации ЧП с оформлением протоколов.

С момента аттестации построенного ЧП:

– вводится паспорт с указанием параметров, методики контроля параметров, сроков очередной аттестации, ответственных за промышленную чистоту;

– вводится журнал состояния, в который каждые 8 часов вводятся результаты текущего контроля параметров.

С момента аттестации построенного ЧП включается система обеспечения чистоты, действующая на последующих этапах при оснащении ЧП, его эксплуатации и обслуживании.

С момента аттестации построенного ЧП и в периоды между аттестациями и во время аттестации проводится текущий контроль параметров с малой периодичностью один раз в 8 часов.

Контроль проводится ответственным исполнителем аттестованными приборами. Результаты измерений заносятся в журнал состояния чистой технологической зоны.

В ЧП контролируются следующие параметры:

– счётная концентрация аэрозольных частиц по классу 8 ИСО;

– общая освещенность не менее 200 лк;

– наддув от 5 до 20 Па, если нет других требований;

– температура от 15°С до 35°С, если нет других требований;

– относительная влажность воздуха от 40% до 80%, если нет других требований.

– все поверхности ЧТЗ и оборудования поддерживаются в состоянии «чистый на вид по пыли» и «чистый на вид по неиспаряющемуся остатку».

Текущий контроль счётной концентрации аэрозольных частиц в чистом помещении (чистой зоне) проводится в ключевых точках: точке отбора проб, в которой значения разности между счётной концентрацией аэрозольных частиц в точке отбора проб и счётной концентрацией аэрозольных частиц в чистом помещении (чистой зоне) минимальна.

Для каждой ЧТЗ разработан следующий комплект документов:

– паспорт чистого помещения (чистой зоны);

– журнал контроля состояния чистого помещения (чистой зоны);

– технологическая инструкция по обслуживанию ЧТЗ;

– технологическая инструкция по обслуживанию оборудования Главного энергетика (обеспечивающего оборудования);

– технологическая инструкция по обслуживанию оборудования Главного механика.

При работе в ЧТЗ техническая документация должна оформляться на непылящей бумаге для ксерокопирования плотностью 0,08 кг/м² (80 г/м²).

Технологическая одежда изготавливается из ткани типа «Вектрон»,

«Арника», «Аралка», 8С40–КВ, «Премьер 210А», Барьерная.

Находиться в технологической одежде вне ЧТЗ запрещается.

Технологическая одежда постоянного персонала (мастера, слесаря и др.), работающего с изделием, должна состоять из комплекта 1: куртка, брюки, сменная обувь, шапочка, перчатки, маска.

Временный персонал использует комплект 2: халат, сменная обувь, бахилы, шапочка, перчатки, маска, при этом может надевать бахилы на очищенную собственную обувь.

Приборы для контроля параметров ЧТЗ:

– измерение счётной концентрации аэрозольных частиц в воздухе ЧТЗ проводить счётчиками аэрозольных частиц АЗ–10.

– измерение температуры и относительной влажности воздуха проводить прибором типа ИВА 6.

– измерение наддува проводить микроманометром многопредельным с наклонной трубкой ММН–240 .

– измерение освещённости проводить люксметром типа «Аргус – 07».

6.2 Обеспечение требований по чистоте при подготовке космического аппарата к запуску

Работы по обеспечению и контролю чистоты воздушной среды, в которой находится КА, охватывают период подготовки на техническом комплексе до завершения работ по стыковке головного обтекателя, а также процесс очистки поверхностей технологического оборудования, баков двигательных установок и контейнеров для транспортирования КА и его составных частей (СЧ).

КА поставляется с завода–изготовителя в транспортном контейнере, обеспечивающем требуемую чистоту класса 8 ИСО 0,5 мкм и 5,0 мкм по ГОСТ ИСО 14644–1–2002, температуру и влажность.

В процессе подготовки КА осуществляется контроль параметров воздуха в ЧП с помощью размещаемой в ЧП стационарной системы контроля чистоты воздуха. Мониторинг контроля чистоты воздуха проводить с дискретностью не

реже 1 часа, в течение всего времени подготовки КА в ЧП, а при открытии ворот – непрерывно.

Если чистота окружающей среды ЧП не соответствует заданным требованиям, рекомендуется вывести персонал из зоны работ и сделать временную выдержку до восстановления требуемых параметров.

Чистота наружных поверхностей наземного технологического оборудования, с помощью которого осуществляется подготовка изделия и его СЧ, а также контейнеров для транспортирования изделия и его СЧ, перемещаемых в ЧП, контролируется на соответствие требованиям «чистые на вид» по частицам и «чистые на вид» по неиспаряющемуся остатку.

Транспортный контейнер с КА и его СЧ, ввозимые в ЧТЗ, проходят два этапа очистки.

Предварительная очистка, состоит из:

– обработки наружной поверхности пылесосом бытовым в пазах и углублениях, с использованием волосяной щетки из комплекта пылесоса;

– протирки наружной поверхности тканью упаковочной, смоченной дистиллированной (озонированной) водой и отжатой.

Окончательная очистка, состоит из:

– обработки наружной поверхности пылесосом, в пазах и углублениях, с использованием волосяной щетки из комплекта пылесоса (при наличии крупных частиц);

– протирки наружных поверхностей салфетками, смоченными нефрасом (при наличии масляных пятен);

Используемое наземное технологическое оборудование и инструмент для работы с КА и его СЧ подготавливается:

– обработкой промышленным пылесосом, в пазах и углублениях, с использованием волосяной щетки из комплекта пылесоса;

– протиркой салфетками, смоченными нефрасом (при наличии масляных пятен), и протиркой салфетками, смоченными спиртом.

В процессе подготовки КА в ЧП обеспечивается:

– проведение ежедневных малых уборок до начала работ, включающих влажную протирку технологического оборудования, используемого в работе, и полов в ЧП;

– проведение еженедельных генеральных уборок до начала работ, включающих влажную протирку полов, стен на высоте до 1,5 м, дверей, а также всех наружных поверхностей технологического оборудования, рабочих мест.

Для снижения риска загрязнения КА заправка баков двигательной установки осуществляется автономно с последующей подготовкой к установке на КА.

После завершения работ по стыковке головного обтекателя окружающая КА зона является изолированной от внешней среды и может обновляться только с целью поддержания заданных комфортных условий продувкой воздухом требуемого качества.

6.3 Анализ обеспечения требований по чистоте

Существующая номенклатура стандартов:

– ГОСТ ИСО 14644–1–2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 1. Классификация чистоты воздуха.

– ГОСТ Р ИСО 14644–2–2001 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия.

– ГОСТ Р ИСО 14644–3–2007 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 3. Методы испытаний.

– ГОСТ Р ИСО 14644–4–2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию.

– ГОСТ Р ИСО 14644–5–2005 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация;

– ГОСТ Р ИСО 14644–6–2010 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 6.Термины и определения;

– ГОСТ Р ИСО 14644–7–2007 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 7. Изолирующие устройства (укрытия с чистым воздухом, боксы перчаточные, изоляторы и мини–окружения);

– ГОСТ Р ИСО 14644–8–2008 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 8. Классификация молекулярных загрязнений в воздухе;

– ГОСТ Р ИСО 14644–9–2013 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 9. Классификация чистоты поверхностей по концентрации частиц.

Общие требования к промышленной чистоте (ОСТ 92–0300–92) внедрены на предприятии с 2008 г.

На базе этих государственных стандартов разработан стандарт предприятия СТП 154–162–2008, который распространяется на чистые помещения (чистые зоны), предназначенные для изготовления продукции, в технических условиях которой имеются требования к помещениям с заданным классом чистоты по ГОСТ ИСО 14644–1–2002.

СТП 154–162–2008 устанавливает:

– требования к чистым технологическим зонам;

– классификацию чистых технологических зон;

– создание чистых технологических зон;

– организацию работ в чистой технологической зоне;

– контроль;

– состояние чистой технологической зоны.

Документация на разработку КА и его составных частей содержит указания по выполнению требований по чистоте в соответствии с СТП 154–

162–2008 для этапа изготовления и на серию ГОСТ ИСО 14644 на всех этапах наземной эксплуатации.

Сформированы общие требования по обеспечению и контролю промышленной чистоты (ПЧ) КА и его составных частей в процессе производства. Конкретные требования к ПЧ зависят от требований, предъявляемых к надежности изделий, и их составных частей, агрегатов, систем, деталей, сборочных единиц (СЕ).

Определена номенклатура требований к ПЧ:

– требования к ПЧ технологических и рабочих сред, при этом рабочими средами могут быть смазки, топлива, адсорбенты и т.п, а технологическими средами могут быть вещества, применяемые для обеспечения технологических процессов изготовления;

– требования к чистоте производственных помещений;

– особые требования в части организационно–технического обеспечения изготовления, сборки и испытаний, например требования к созданию служб ПЧ, приобретению спецоборудования ПЧ, созданию чистых помещений и т.д.

Полнота требований к ПЧ определяется этапом проектирования.

В соответствии с требованиями ресурса, качества и надежности нормы оптимизируют экономически.

Выявление и решение технологических проблем, связанных с назначением норм ПЧ и определением экспериментальных работ по их подтверждению, следует проводить на каждом этапе с упреждением на время реализации мероприятий.

На этапе рабочего проекта выбранные нормы уточняют, дифференцируют и вносят в КД в следующем порядке:

а) нормы ПЧ изделия – в техническое условие (ТУ) на изделие;

б) нормы ПЧ СЕ и систем (а также рабочих сред) – в ТУ на системы, чертежи на СЕ, монтажные схемы;

в) нормы ПЧ сборочных единиц – в чертежи общих видов;

г) нормы ПЧ деталей – в чертежи деталей или технические условия на

их изготовление.

Определены нормы ПЧ к приборным блокам и конструкции, расположенные на наружной поверхности КА: они должны отвечать требованиям «чистые на вид» по частицам и «чистые на вид» по неиспаряющемуся остатку.

Нормирование ПЧ должно сводиться к следующему:

а) изучению влияния загрязнителя на надежность работы изделия и СЕ;

б) определению наиболее чувствительных к загрязнителям элементов изделий и СЕ;

в) определению минимально–допустимых норм загрязнителя с их качественными и количественными характеристиками;

г) технико–экономическому обоснованию норм ПЧ;

д) экспертизе целесообразности назначения норм ПЧ службой ПЧ предприятия, сравнению их с мировыми и отечественными нормами для однотипных изделий.

В ТУ на изделие должен быть раздел с требованиями по обеспечению ПЧ с указанием норм.

Требования к чистоте, установленные в ТУ на проектируемые и изготавливаемые изделия должны быть не ниже требований действующих стандартов, распространяющихся на данную продукцию и не должны противоречить стандартам на исходную продукцию.

В техническом задании (ТЗ) на разработку комплектующих изделий (КИ), а также в других документах, в той или иной мере регламентирующих требования к КИ, необходимо указывать требования к ПЧ с указанием конкретных норм и состояния поставки в т.ч. поставки габаритных макетов для использования при отработке, сборке и т.п.

На основании проведенного анализа по разработке комплексного метода, необходимо вести с учетом обеспечения:

1 Совместимости требований по промышленной чистоте на всех этапах;

2 Совместимости свойств окружающей среды на переходе к следующему этапу.

3 Унификации методов контроля промышленной чистоты и используемых измерительных средств.

4 Введения требований по чистоте к КА в целом и к его составным частям, не ниже требований действующих стандартов, распространяющихся на данную продукцию и не противоречат стандартам на исходную продукцию.

Предлагается в проектную документацию на КА внести сформулированный комплексный подход к обеспечению решения задачи поддержания промышленной чистоты на всех этапах наземной эксплуатации КА.

7 Разработка комплексного метода поддержания чистоты на всех этапах наземной эксплуатации

Методы защиты от загрязнений и поддержания чистоты включают следующие поэтапные анализы:

1. Определение источников загрязнения в чистом помещении. Составление диаграммы или диаграмм риска, где показаны эти источники и пути переноса загрязнений.

2. Оценка важности этих источников и то, представляют ли они опасность, требующую защиты от неё.

3. Определение возможных методов борьбы с этой опасностью.

4. Определение обоснованных методов получения информации (методов измерений) для мониторинга источников риска или методов защиты, а при необходимости – для того и другого.

5. Составление графика мониторинга с указанием «уровня тревоги» и «уровня действия» и перечнем соответствующих мер при превышении этих уровней.

6. Проверка эффективности работы системы защиты от загрязнений, сопоставляя количество бракованных изделий с результатами мониторинга и методами защиты, модифицируя последние в случае необходимости.

7. Разработка и ввод в действие соответствующей документации.

8. Обучение персонала.

7.1 Этап 1. Идентификация источников загрязнений и путей их переноса

Источники загрязнений:

– загрязнённые участки, смежные с чистым помещением;

– подача нефильтрованного воздуха;

– воздушная среда чистого помещения;

– персонал;

– работающее оборудование;

– сырьё и комплектующие, обрабатываемые материалы;

– контейнеры (ёмкости);

– упаковка.

Участки, смежные с чистым помещением, как правило, являются менее чистыми по сравнению с производственными чистыми помещениями; в процессе различных действий, проводимых на этих участках, будут загрязняться воздушный шлюз для передачи материалов и зона переодевания, при этом загрязнения в наружных коридорах и помещениях приточной вентиляции могут не контролироваться.

Источником загрязнений является воздух, подаваемый в чистое помещение, если он плохо отфильтрован. Воздушная среда чистого помещения также будет источником загрязнений, если она содержит загрязнения, распространяемые такими источниками, как персонал и оборудование.

Примерами других источников загрязнений являются пол, стены, потолок и другие поверхности; в свою очередь, источниками их загрязнений являются контакты персонала с этими поверхностями или загрязнения, осаждающиеся из воздуха. Эти же поверхности могут быть источниками загрязнений, если при строительстве чистого помещения использовались конструкционные элементы низкого качества, которые, разрушаясь, выделяют волокна, частицы древесины, штукатурки и др.

Спецодежда для чистого помещения, перчатки и маски – это другой пример поверхностей, которые загрязняются носящим их персоналом или при соприкосновении с другими поверхностями в чистом помещении. Находящийся в чистом помещении персонал может распространять загрязнения, источником которых являются кожные покровы, рот и одежда. Такие загрязнения могут переноситься на изделие по воздуху или при контакте с руками или одеждой.

Оборудование – ещё один источник загрязнений, так как оно может генерировать загрязнения при движении собственных конструктивных

элементов; возможно также выделение загрязнений тепловыми, электрическими и другими способами. Сырьё, комплектующие, контейнеры и упаковка, вносимые или транспортируемые в чистое помещение, тоже могут быть загрязнены и должны рассматриваться как потенциальные источники загрязнений.

Воздушные и контактные пути переноса загрязнений.

Кроме выявления источников загрязнений в чистом помещении нужно отслеживать и пути переноса этих загрязнений.

Два основных способа переноса – это воздушный поток и контакты.

Загрязнения могут попадать в воздух из всех указанных основных источников и переноситься на продукцию. Небольшие частицы могут переноситься по воздуху в другие части чистого помещения, а крупные – типа волокон, стружек или осколков, будут оставаться недалеко от тех мест, где они появились, и могут оседать прямо внутрь изделия или на его поверхность.

Загрязнение контактным способом происходит, когда оборудование, контейнеры, упаковка, сырьевые материалы, комплектующие, перчатки, спецодежда вступают в прямой контакт с продукцией. Контактное загрязнение может возникать несколькими путями: один из них – когда персонал производит ручные операции с изделием; другой – когда продукция входит в контакт с загрязненными контейнерами или упаковкой.

7.1.1 Составление диаграммы рисков

Составление «диаграммы рисков» позволяет понять механизмы возникновения загрязнений в источниках и переноса их на продукцию. Механизм загрязнения продукции зачастую трудно представить, а составление диаграммы позволяет лучше понять его. Диаграмма риска должна показывать вероятные источники загрязнения, основные пути их переноса и методы защиты от этого переноса. Может возникнуть необходимость составления нескольких графиков, если проводимый технологический процесс сложен или необходимо контролировать различные виды загрязнений, например, инертные частицы, частицы–носители микроорганизмов или молекулярные загрязнения.

Пути переноса загрязнений в чистом помещении могут быть очень сложными, поскольку теоретически в чистом помещении всё что угодно может быть загрязнено всем чем угодно. Однако на практике следует рассматривать лишь основные источники загрязнений и основные пути их переноса.

7.2 Этап 2. Оценка степени опасности

После того, как все возможные источники загрязнения в чистом помещении и маршруты перемещения загрязнений выявлены, следующая задача – оценка степени риска. Это называется также анализом опасности или анализом рисков. При этом устанавливается, какие источники загрязнений наиболее опасны, т.е. представляют ли они опасность, и их относительное влияние или степень риска.

Зачастую довольно трудно определить, какие же источники загрязнения наиболее опасны. Это особенно трудно в том случае, если чистое помещение новое и ещё не пущено в эксплуатацию, когда могут быть получены первые полезные результаты мониторинга. Тем не менее, отсутствие данных мониторинга не должно исключать проведения предварительной оценки, так как на более поздней стадии (этап 6) можно будет вернуться к этим предварительным заключениям, переосмыслить и, если необходимо, скорректировать их.

7.3 Этап 3. Определение способов защиты от источников загрязнений

Когда все опасные источники загрязнений в чистом помещении выявлены и оценена степень их опасности, необходимо обсудить методы защиты от них. Важность разработки эффективного метода защиты определяется полученной оценкой степени риска: чем выше риск, тем эффективнее должен быть способ защиты. Необходимо также убедиться, что выбранный метод защиты достаточно эффективен. Если же эффективность оказалась невысокой, то

следует попытаться применить этот метод в другой точке или в другом месте либо выбрать иной, более эффективный, способ защиты.

Для предупреждения проникновения любых загрязнений вместе с подаваемым в чистое помещение воздухом можно использовать HEPA или ULPA–фильтры. Однако нефильтрованный воздух может проходить через проколы и дефекты в повреждённых фильтрах или через уплотнения при неудачной конструкции системы крепления фильтра.

Проникновение воздушных загрязнений в чистое помещение с участков, находящихся за пределами чистого помещения, например, из наружных коридоров или помещений приточной вентиляции, можно предотвратить, обеспечив движение воздуха из чистого помещения наружу, т.е. от чистого участка к менее чистому. Этого можно добиться с помощью воздушных шлюзов или движения воздуха через каскад дверных проёмов. Использование липких ковриков или покрытий в чистом помещении, а также снятие грязной обуви или надевание поверх неё бахил предотвращает перенос загрязнений с поверхностей в чистое помещение.

Воздух в чистом помещении является не только средой, по которой переносятся загрязнения, но и их источником. Воздушные источники загрязнений можно свести к минимуму, используя систему турбулентной вентиляции, которая обеспечивает разбавление загрязнений, либо применяя однонаправленный поток воздуха, удаляющий загрязнения из помещения, либо используя изоляторы или минизоны, которые ограждают продукцию физическим барьером.

Возможность переноса загрязнений с полов, стен и потолка снижается за счёт уборки, а любое загрязнение, которое переносится по воздуху, можно уменьшить за счёт вентиляции.

Рот, волосы, одежда и кожные покровы персонала являются источниками загрязнений. Их распространение можно уменьшить, используя одежду для чистых помещений и перчатки, а неконтролируемые загрязнения (например,

выделяемые одеждой персонала) минимизируются с помощью системы вентиляции.

Загрязнения, источником которых является оборудование, можно свести к минимуму за счёт оптимального проектирования установок или за счёт применения систем местной вытяжки воздуха, удаляющих загрязнения. Для предотвращения загрязнения оборудования рекомендуется его очистка.

В качестве сырья для производства или сборки изделий, а также для контейнеров и упаковки рекомендуются материалы, не генерирующие загрязнений. Желательно, чтобы они изготавливались в среде, гарантирующей минимальную концентрацию загрязнений на них или внутри них. Они должны правильно упаковываться, чтобы предотвратить их загрязнение во время транспортировки и при распаковке на входе в чистое помещение. Недостаточно чистые материалы потребуют очистки, а если они жидкие – фильтрации.

7.4 Этап 4. Методы получения информации при мониторинге источников риска и способов защиты от загрязнений

Теперь нужно определить методы получения информации, позволяющие подтвердить, что загрязнения в ходе технологического процесса находятся под контролем. Если в качестве примера взять воздух, то можно использовать хорошо отработанные методы измерения частиц и микроорганизмов, приведенные в ИСО 14644–1. Но если источником опасности является персонал, выполняющий ручные операции с продукцией, а способом защиты является использование перчаток, то мониторинг должен заключаться в проверке наличия проколов и разрывов на перчатках или в измерении концентрации частиц и микроорганизмов на поверхностях.

Этап 4 системы анализа риска загрязнений требует обоснованного метода получения информации (метода измерений). Термин «обоснованный» может быть определён как «заведомо пригодный для данных целей или

эффективно работающий при данных условиях применения». Применительно к мониторингу это означает необходимость продемонстрировать:

– эффективность информации, получаемой с помощью измеряющих приборов или инструментов;

– калибровку приборов или инструментов;

– анализ степени опасности данного вида загрязнений и обоснование необходимости мониторинга;

– обоснование того, что используемый метод измерений является наилучшим для прямого контроля фактора риска или метода защиты от него.

7.5 Этап 5. Разработка графика мониторинга с указанием «уровня тревоги» и «уровня действия»

Некоторые системы мониторинга работают в непрерывном режиме, например, системы регистрации частиц в чистых помещениях высоких классов, но, с другой стороны, отдельные несущественные источники загрязнений, такие как потолки, не контролируются. Периодичность контроля должна устанавливаться для каждого отдельного взятого чистого помещения применительно к каждому потенциальному источнику загрязнения или способу защиты от него. График должен составляться с учётом опасности источника загрязнения: чем выше риск, тем чаще надо проводить измерения.

Необходимо также решить, какие меры следует принимать, когда результаты мониторинга свидетельствуют о том, что опасность вышла из–под контроля. В этом случае эффективный подход заключается в установлении условий «уровень тревоги» и «уровень действия»; эти категории называются также уровнями «предупреждения» и «опасности». В чистом помещении считается правилом рассматривать только верхние пределы и игнорировать нижние, так как низкие уровни загрязнения не опасны. «Уровень тревоги» необходимо установить для демонстрации того, что концентрации загрязнений выше ожидаемых, но всё ещё остаются в пределах нормы. В случае

превышения «уровня тревоги», как правило, ничего не предпринимают, это служит лишь предупреждением о том, что данный источник в будущем может создать проблемы. Превышение величины «уровня действия» означает, что следует провести необходимое исследование. Нужно выяснить, не является ли сигнал ложным, не обусловлен ли он естественным отклонением, ошибкой при сборе данных, либо всё–таки сигнал соответствует реальности. Если анализируемые результаты считаются «реальными», то необходимо исследование по заранее установленной методике с тем, чтобы определить, приемлем данный результат или нет, и если нет, то какие меры следует принять, чтобы поставить ситуацию под контроль.

Анализ результатов текущего контроля и определение значений «уровня тревоги» и «уровня действия» – это достаточно сложная задача, если при этом используется статистический подход. Однако можно использовать простой подход, выбрав соответствующие показатели из имеющихся данных или приобретя у поставщиков контрольно–измерительной аппаратуры прибор для контроля загрязнений.

7.6 Этап 6. Проверка и модификация системы контроля

Теперь надо реализовать метод на практике и проверить эффективность работы предложенной системы контроля загрязнений. Показателем эффективности системы может служить доля бракованных изделий – пока она удовлетворительна, система может считаться нормально работающей. В это время можно также попытаться повысить выход годной продукции, введя дополнительные методы защиты от загрязнений.

Проверка эффективности системы контроля загрязнений может также заключаться в измерении уровней содержания частиц или микроорганизмов в образцах готовых изделий. В некоторых случаях рекомендуется такой метод, как моделирование процесса, например, заполнение контейнеров микробиологической средой и определение микробиологических загрязнений.

Одним из методов проверки эффективности способов защиты является проверка и оценка результатов мониторинга.

Теперь можно:

– заново оценить важность различных источников загрязнений;

– провести переоценку необходимости защиты и методов защиты от этих источников;

– провести переоценку эффективности методов защиты;

– внести изменения в графики мониторинга;

– оценить необходимость уменьшения или увеличения величин «уровня тревоги» и «уровня действий».

7.7 Этап 7. Документация

Эффективная система защиты от загрязнений предусматривает документальное обоснование методов, описанных в предыдущих разделах этой главы, процедур мониторинга и результатов мониторинга. Первые две группы документов должны регулярно корректироваться с целью внесения изменений.

Необходимо периодически выпускать отчёты с анализом результатов мониторинга и всех отклонений от ожидаемых результатов. В отчёты должны включаться все случаи превышения «уровня действий». Документированию подлежат также меры, предпринимаемые с целью корректировки отклонений, или объяснение причин отказа от реализации таких мер. Необходимо также указывать случаи превышения «уровня тревоги», особенно в случае их неоднократного повторения или необычного происхождения.

7.8 Этап 8. Обучение персонала

Все усилия, направленные на защиту от загрязнений, будут напрасными, если персонал не имеет чёткого представления о том, как работает чистое

помещение и как надо вести себя в чистом помещении, чтобы свести загрязнения к минимуму.

Персонал должен проходить обучение, связанное со всеми аспектами загрязнений как при поступлении на работу, связанную с чистыми помещениями, так и регулярно в течение всей служебной деятельности.

В программу обучения следует включить следующие разделы:

– принцип работы чистого помещения (проектные решения, потоки воздуха и фильтрация воздуха);

– стандарты по чистым помещениям;

– источники загрязнений;

– гигиена персонала;

– порядок уборки;

– порядок переодевания;

– порядок технического обслуживания;

– порядок контроля и мониторинга чистых помещений;

– порядок поведения и работы в чистом помещении;

– технологические процессы и оборудование;

– техника безопасности и поведение в аварийных ситуациях.

Документация по обучению.

Прохождение обучения персоналом и индивидуальный уровень подготовки каждого работника, связанного с эксплуатацией и техническим обслуживанием, следует оформлять документально. Система документации должна быть полной и, по возможности, краткой. Необходимо определять обязанности и ответственность каждого работника. Система документации должна быть доступной для пользования и периодически пересматриваться. Основой системы должны быть программы обучения, данные о персонале, сроки обучения и аттестации, а также графики повторного обучения на последующий период времени.

7.9 Особенности комплексного метода

Чтобы обеспечить реальные возможности исключения загрязнения КА на всех этапах его наземной эксплуатации необходимо исключить риски этих загрязнений при изготовлении КА и, особенно, при переходе КА от одного этапа эксплуатации к другому.

Для этого предлагается обеспечить:

– требования по чистоте должны выставляться к КА в целом и к его составным частям, должны быть не ниже требований действующих стандартов, распространяющихся на данную продукцию и не должны противоречить стандартам на исходную продукцию;

– совместимость требований по промышленной чистоте на всех этапах;

– совместимость свойств окружающей среды на переходе к следующему этапу;

– унификацию методов контроля ПЧ и используемых измерительных средств.

– предлагается в проектную документацию на КА внести сформулированный комплексный подход к обеспечению решения задачи поддержания промышленной чистоты на всех этапах наземной эксплуатации КА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Проведены исследования причин необходимости применения чистых помещений для изготовления и успешной и долгой эксплуатации космического аппарата и исследована номенклатура требований к промышленной чистоте.

2 Проведен анализ методов поддержания промышленной чистоты на всех этапах наземной эксплуатации КА и сформулирован комплексный подход к обеспечению решения этой задачи:

– совместимость требований по промышленной чистоте на всех этапах;

– совместимость свойств окружающей среды на переходе к следующему этапу;

– унификация методов контроля промышленной чистоты и используемых измерительных средств;

– требования по чистоте должны выставляться к КА в целом и к его составным частям, должны быть не ниже требований действующих стандартов, распространяющихся на данную продукцию и не должны противоречить стандартам на исходную продукцию.

3 Проведен анализ документации по обеспечению требований по промышленной чистоте. На основании проведенного анализа подтверждается соответствие комплексным требованиям.

4 Предлагается в проектную документацию на КА внести сформулированный комплексный подход к обеспечению решения задачи поддержания промышленной чистоты на всех этапах наземной эксплуатации КА.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Сокращения	– Детальная расшифровка
КА	– Космический аппарат
КД	– Конструкторская документация
КИ	– Комплектующие изделия
ПЧ	– Промышленная чистота
РКН	– Ракета космического назначения
СЕ	– Сборочная единица
СЧ	– Стандарт чистоты
ТЗ	– Техническое задание
ТУ	– Технические условия
ЧЗ	– Чистая зона
ЧТЗ	– Чистая технологическая зона
ЧП	– Чистое помещение

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 ГОСТ Р ИСО 14644–1–2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха. – Введ. 01.04.2004. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 20 с.

2 ГОСТ Р ИСО 14644–2–2001 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия. – Введ. 01.01.2003. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 4 с.

3 ГОСТ Р ИСО 14644–3–2007 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы испытаний. – Введ. 01.10.2008. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 22 с.

4 ГОСТ Р ИСО 14644–4–2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию. – Введ. 01.04.2003. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 34 с.

5 ГОСТ Р ИСО 14644–5–2005 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация. – Введ. 01.01.2006. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 30 с.

6 ГОСТ Р ИСО 14644–6–2010 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 6. Термины. – Введ. 01.12.2011. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 19 с.

7 ГОСТ Р ИСО 14644–7–2007 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 7. Изолирующие устройства (укрытия с чистым воздухом, боксы перчаточные, изоляторы и мини–окружения). – Введ. 29.06.2007. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 41 с.

8 ГОСТ Р ИСО 14644–8–2008 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 8. Классификация молекулярных загрязнений в воздухе. – Введ. 18.12.2008. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 32 с.

9 ГОСТ Р ИСО 14644–9–2013 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 9. Классификация чистоты поверхностей по концентрации частиц. – Введ. 22.11.2013. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 23 с.

10 Иванова, А.И. Чистые помещения и технологические среды/ А.И. Иванова // Чистые помещения. – 2011. – № 1(37). – с. 2–7.

11 Иванова, А.И. Чистые помещения и технологические среды/ А.И. Иванова // Чистые помещения. – 2010. – № 3(35). – с. 3–9.

12 История создания чистых помещений: «ГК «Термоинженеринг»// ЗАО Группа компаний Термоинженеринг [сайт]. – Москва, 2013. – [Режим доступа]: http:// www.thermo.ru/articles/3.html.

13 Калечиц, В.И. Компьютерные системы контроля параметров чистых производственных помещений чистоты [Электронный ресурс]: сборник стандартов / В.И. Калечиц. – Москва: Асинком, 2003.– [Режим доступа: http]://www.gmpua.com/CleanRoom/Monitoring/FMS.pdf.

14 Конструкционные материалы и защитные покрытия для чистых помещений: справочная информация: ООО «ВенПроектМонтаж»// ООО ВенПроектМонтаж [сайт]. – Нижний Новгоров, 2011. – [Режим доступа: http:// http]://protonos.ru/taxonomy/term/9.

15 Контроль параметр чистых помещений: сборник. – Москва: изд–во Клинрум, 2008. – 228 с.

16 Концепция «чистых помещений»: справочная информация: «ГК «Мир климата»// ООО Группа компаний Мир климата [сайт]. – Москва,1999.– [Режим доступа]: http:// www.mir–klimata.com/archive/number09/.

17 Проектирование чистых помещений: сборник. – Москва: изд–во Клинрум, 2004. – 360 с.

18 Техническое предложение. Дооборудование чистого помещения: пояснительная записка. – Москва: изд–во Озон–11.– 9 с.

19 Уайт, В. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации: учебное пособие / В. Уайт. – Москва: изд–во Клинрум, 2002. – 304 с.

20 Федотов, А.Е. Чистые помещения. Второе издание, переработанное: учебное пособие / А.Е. Федотов. – Москва: Асинком, 2003. – 576 с.

21 Федотов, А.Е. Обеспечение промышленной чистоты [Электронный ресурс]: сборник стандартов / А.Е. Федотов. – Москва: Асинком, 2008.– [Режим доступа]: http://www.asincom–group.ru/st1.htm.

22 Чеботарев, В.Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учеб. пособие / В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко: Сиб. гос. аэрокосмич. ун–т. – Красноярск, 2011. – 488 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт инженерной физики и радиоэлектроники
Институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
«21» 06 20 ___ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ПОДДЕРЖАНИЯ ЧИСТОТЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЕГО НАЗЕМНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

тема

16.04.01. «Техническая физика»
код и наименование направления

16.04.01.04. «Физические основы создания информационных спутниковых систем»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель _____ ведущий инженер–конструктор АО «ИСС», д–р техн. наук, профессор — В.Е. Чеботарев
подпись, дата — должность, ученая степень — инициалы, фамилия

Выпускник _____ — К.В. Садыкова
подпись, дата — инициалы, фамилия

Рецензент _____ ведущий инженер–конструктор АО «ИСС»» — К.М. Трутнев
подпись, дата — должность, ученая степень — инициалы, фамилия

Красноярск 2017